AFRICA
soil health
consortium

Manual de maneio integrado da fertilidade dos solos

Editado por Thomas Fairhurst

Africa Soil Health Consortium: ***Manual de maneio integrado da fertilidade dos solos***

André Bationo (AGRA), Thomas Fairhurst (TCCL), Ken Giller (WUR), Valerie Kelly (MSU), Rodney Lunduka (CABI), Abdoulaye Mando (IFDC), Paul Mapfumo (SOFECSA), George Oduor (CABI), Dannie Romney (CABI), Bernard Vanlauwe (IITA), Lydia Wairegi (CABI), Shamie Zingore (IPNI).

Editado por Thomas Fairhurst

© CAB International 2014

Esta publicação deve ser citada da seguinte forma: Fairhurst, T. (ed.) (2014) *Manual de maneio integrado da fertilidade dos solos*. Africa - Soil Health Consortium, Nairobi.

Esta publicação está sujeita à **Licença "Creative Commons" – Atribuição 3.0 Não Adaptada**.

É permitido:

- Partilhar – copiar, distribuir e divulgar a obra;
- Recombinar – adaptar a obra; e
- Fazer uso comercial da obra.

Nas seguintes condições:

- **Atribuição** – Deve-se atribuir a autoria da obra da forma especificada pelo autor ou pela entidade que concedeu a licença (mas não de modo a sugerir que estes concedem qualquer aval a si ou ao seu uso da obra).

No entendimento de que:

- **Renúncia** – Qualquer das condições acima referidas pode ser renunciada, se se obtiver permissão prévia do titular dos direitos autorais.
- **Domínio público** – Quando a obra ou qualquer dos seus elementos se encontrar no domínio público, nos termos da lei aplicável, esse estatuto não é de forma alguma afectado pela licença.
- **Outros direitos** – Nenhum dos seguintes direitos são, de modo algum, afectados pela licença:
  - Direitos de finalidade lícita ou de utilização justa, ou outras excepções e limitações aplicáveis no âmbito dos direitos de autor;
  - Direitos morais dos autores;
  - Direitos de outras pessoas envolvidas na própria obra ou na forma como a obra é usada, tais como os direitos de publicidade ou de privacidade.
- **Aviso** – Para qualquer reutilização ou distribuição desta obra, devem esclarecer-se os termos da licença, http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/).

Limites de responsabilidade

Embora os autores tenham feito todo o esforço para garantir que os conteúdos deste livro estejam correctos no momento da impressão, é impossível abranger todas as situações. As informações são distribuídas numa base de "tal como se apresentam", sem garantia de sucesso de aplicação. Nem os autores nem o editor serão responsáveis por quaisquer prejuízos ou danos que possam ter sido causados, pelo seguimento directo ou indirecto das orientações constantes neste livro.

Sobre o editor

A missão do Africa Soil Health Consortium (ASHC) é melhorar as condições de vida dos pequenos agricultores através da adopção de abordagens de maneio integrado da fertilidade dos solos (MIFS) que levem a uma optimização da eficácia na utilização de fertilizantes.

Os livros do ASHC podem ser adquiridos com descontos especiais para compras que envolvam grandes quantidades. Edições especiais, traduções para língua estrangeira e excertos podem ser solicitados.

ISBN (e-book): 978 1 78064 285 7

ISBN (paperback): 978 1 78064 291 8

Composição de Thomas Fairhurst, com SPi, Pondicherry, India

Índice

1 Introdução 8

1.1 Introdução 9
1.2 O que é o maneio integrado da fertilidade dos solos (MIFS)? 9
1.3 Como surgiu o manual? 9
1.4 A quem se destina este manual? 10
1.5 Colaboradores 11

2 A necessidade do MIFS 12

2.1 Introdução 13
2.2 O contexto 13
2.3 Desenvolvimento de sistemas de produção na África Subsariana (ASS) 14
2.4 Definição de tecnologias: desde as soluções 'milagrosas' até às 'mais ajustadas' 15
2.5 Conclusões 16
2.6 Bibliografia 16

3 Princípios do MIFS 19

3.1 Introdução 20
3.2 Historial de abordagens do maneio da fertilidade dos solos na ASS 20
3.2.1 O foco na utilização de fertilizantes minerais 21
3.2.2 Métodos de baixa utilização de factores de produção na melhoria da fertilidade dos solos 22
3.2.3 Uso integrado de fertilizantes e materiais orgânicos 24
3.3 Definição do MIFS 24
3.3.1 Utilização de fertilizantes minerais 26
3.3.2 Utilização de materiais orgânicos 27
3.3.3 Utilização de germoplasma melhorado 27
3.3.4 Efeito combinado dos fertilizantes, materiais orgânicos e germoplasma 27
3.3.5 Importância de adaptação local 29
3.3.6 Optimização da eficiência agronómica 30
3.3.7 Princípios agronómicos importantes 32
3.3.8 Princípios económicos importantes 33
3.4 Conclusões 34
3.5 Bibliografia 34

4 Práticas de maneio da fertilidade dos solos 38

4.1 Introdução 39
4.2 Uso de materiais orgânicos 39
4.2.1 Materiais orgânicos como fontes de nutrientes 39
4.2.2 O papel da matéria orgânica na fertilidade do solo 40
4.2.3 Vantagens e desvantagens dos materiais orgânicos 41
4.3 Uso de fertilizantes minerais 42
4.3.1 Fertilizantes 42
4.3.2 Correctivos do solo 46
4.4 Eficiência da utilização de fertilizantes 47
4.5 Os "4 Cs" da utilização eficiente de fertilizantes 49
4.5.1 Tipo de fertilizante "certo" 50
4.5.2 Taxa de aplicação "certa" 50
4.5.3 Momento "certo" de aplicação 52
4.5.4 Modo de colocação "certo" do fertilizante de fundo 53
4.5.5 Um quinto "certo" para a utilização de fertilizante em ASS: identificação das opções mais remunerativas 53
4.6 Utilização de fertilizantes e o meio ambiente 54

Publicado por Africa Soil Health Consortium

4.6.1 Utilização de fertilizantes e a sustentabilidade ... 54
4.7 Minimização das perdas de nutrientes adicionados ... 54
4.7.1 Erosão hídrica e eólica ... 55
4.7.2 Lixiviação ... 55
4.7.3 Perdas gasosas por desnitrificação e volatilização ... 56
4.7.4 Gestão dos resíduos das culturas ... 56
4.8 Uso de germoplasma melhorado ... 56
4.8.1 Potencial genético do rendimento ... 57
4.8.2 Resistência a pragas e doenças ... 57
4.8.3 Eficiência na utilização de nutrientes ... 57
4.8.4 Disponibilidade e qualidade de materiais de sementeira e plantação ... 58
4.8.5 Procura e selecção de germoplasma melhorado para utilização no MIFS ... 58
4.9 Aproveitamento dos benefícios das leguminosas que fixam o Nitrogénio ... 58
4.9.1 Componentes de uma simbiose bem sucedida para a fixação do Nitrogénio ... 59
4.9.2 Necessidade de inoculação com Rhizobium ... 60
4.9.3 Contribuição das leguminosas para a fertilidade do solo ... 61
4.10 Uso de inoculantes de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) ... 62
4.11 Outras práticas do maneio da fertilidade dos solos ... 63
4.11.1 Agricultura de conservação (AC): uma solução “milagrosa”? ... 64
4.12 Agricultura orgânica ... 65
4.13 Adaptabilidade das intervenções ... 65
4.14 Análise ecónomica ... 66
4.15 Conclusões ... 68
4.16 Bibliografia ... 68

5 Definição das opções do MIFS ... 80

5.1 Introdução ... 81
5.2 Análise dos sistemas de produção agrícola (ASP) ... 81
5.2.1 Histórico de actividades ... 84
5.2.2 Recolha de dados biofísicos ... 85
5.2.3 Identificação de sistemas de produção agrícola dominantes em cada domínio agrícola ... 85
5.2.4 Agrupamento de agricultores ... 85
5.2.5 Rácio “terra:mão-de-obra” ... 86
5.2.6 Avaliação de riscos ... 87
5.3 Análise dos sistemas de produção agrícola ... 87
5.3.1 Inspecção de campo ... 87
5.3.2 Avaliação das lacunas de produção ... 88
5.3.3 Frequência e programação das visitas de campo ... 88
5.3.4 Manutenção dos registos das actividades agrícolas ... 88
5.3.5 Utilização de um calendário agrícola ... 89
5.3.6 Utilização de orçamentos participativos ... 89
5.4 Avaliação da fertilidade dos solo ... 89
5.4.1 Fluxo de recursos dentro e entre explorações agrícolas ... 91
5.4.2 Sintomas de deficiências nutricionais ... 92
5.4.3 Plantas indicadoras ... 92
5.4.4 Recolha de amostras de solos ... 93
5.5 Mercados e outros impulsionadores socio-económicos ... 94
5.5.1 Contexto político e o papel dos governos ... 94
5.5.2 Mercados ... 96
5.6 Desenvolvimento de mercados ... 100
5.7 Análise “ex ante” do desempenho da tecnologia de MIFS ... 101
5.7.1 Eficiência Agronómica (EA) ... 103
5.7.2 Incentivos económicos ... 103
5.7.3 Desempenho do mercado ... 104
5.7.4 Dados necessários para uma análise “ex ante” ... 105
5.8 Testes de tecnologias de MIFS nas explorações agrícolas ... 108
5.9 Análise “ex post” do desempenho de tecnologias de MIFS ... 108

Publicado por Africa Soil Health Consortium

5.10 Ampliação e expansão da adopção de soluções de MIFS ... 108
5.10.1 Desenvolvimento de uma estratégia de comunicação ... 109
5.11 Desenvolvimento de materiais de extensão rural ... 110
5.11.1 Comunicação directa com os agricultores ... 110
5.11.2 Fornecedores de serviços de extensão rural ... 110
5.11.3 Tipos de meios de comunicação social ... 111
5.12 Utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) ... 111
5.12.1 Telemóveis ... 112
5.12.2 Computadores para aceder à Internet ... 113
5.12.3 Vídeo ... 114
5.12.4 Armazenamento de dados ... 115
5.13 Conclusões ... 115
5.14 Bibliografia ... 115

6. Solo e produção agrícola: introdução ... 125

6.1 Introdução ... 126
6.2 Função e qualidade do solo incluindo os indicadores de qualidade ... 126
6.2.1 Funções básicas do solo ... 126
6.2.2 Fertilidade do Solo ... 127
6.3 Solo como uma fonte de água e nutrientes para a produção agrícola ... 127
6.3.1 Fracção mineral ... 128
6.3.2 Fracção orgânica ... 130
6.4 Função dos nutrientes na produção de plantas ... 131
6.4.1 Macronutrientes ... 131
6.4.2 Micronutrientes ... 133
6.5 Definição de fertilidade do solo ... 134
6.6 Avaliação da fertilidade do solo ... 135
6.7 Conclusões ... 136
6.8 Bibliografia ... 136

7. Tabelas e informações de referência ... 138

7.1 Introdução ... 139
7.2 Amostragem de solos ... 139
7.3 Determinação da densidade aparente do solo ... 140
7.4 Determinação da textura do solo no campo ... 141
7.5 Análise de sistemas de produção ... 143
7.6 Maneio da fertilidade dos solos ... 147
7.7 Nutrição de culturas ... 151
7.8 Utilização de fertilizantes ... 156
7.9 Aspectos agronómicos do cultivo ... 161
7.10 Economia da exploração agrícola ... 162
7.11 Aspectos gerais ... 162
7.12 Bibliografia ... 163

Glossário ... 164

Acrónimos e abreviaturas ... 169

Índice ideográfico ... 171

Publicado por Africa Soil Health Consortium

Prefácio

O continente Africano continua a debater-se com muitos problemas associados à fome e à baixa produtividade agrícola em vários locais. Com uma população cada vez mais numerosa no continente, os agricultores continuam a cultivar a mesma terra, ano após ano. Face a esse uso contínuo, a fertilidade do solo poderá diminuir se os nutrientes removidos pelas produções agrícolas não forem restituídos ao solo. Os fertilizantes minerais são essenciais para a resolução deste problema. Mas como os fertilizantes são mais caros em África do que em qualquer outro lugar, a maioria dos agricultores não os utiliza. Em resposta a essa preocupação, muitos governos têm subsidiado a compra dos fertilizantes, embora muitas vezes se ignorem as boas práticas e não se faça bom uso das instituições e políticas agrícolas de apoio. O aumento da produtividade dos pequenos agricultores deverá ter por base uma boa percepção das lacunas de produção (i.e. diferenças entre o rendimento real, acessível e potencial, sob as condições económicas prevalecentes) e dos factores biofísicos e sócio-económicos que impedem o colmatar dessas lacunas.

O maneio integrado da fertilidade dos solos, geralmente referida como MIFS, é apresentado neste manual como um contributo fundamental para a abordagem da baixa produtividade do solo e das culturas em África, concentrando-se nas principais culturas base deste continente que incluem o milho, feijão, arroz, mandioca, banana, sorgo, milho-miúdo entre outras. Neste contexto, o MIFS é definido como um conjunto de práticas de maneio da fertilidade dos solos que inclui obrigatoriamente o uso integrado de fertilizantes minerais, materiais orgânicos e germoplasma melhorado combinados com os conhecimentos de como adaptar estas práticas às condições locais, de forma a optimizar do uso agronómico dos nutrientes aplicados e a obter uma melhoria da produtividade agrícola. Nesta definição, todos os factores de produção devem ser geridos de acordo com princípios agronómicos e económicos viáveis. O MIFS não pode funcionar se não for apoiado pelos governos responsáveis pelas importações de fertilizantes, e por serviços de extensão rural eficazes no fornecimento de soluções tecnológicas aos agricultores, bem como por um sector privado dinâmico de agro-comerciantes que garanta eficiência na disponibilidade e distribuição de fertilizantes e sementes.

Ao longo dos últimos 10 anos, muitas pesquisas foram realizadas em MIFS com financiamento público por toda a África Subsariana (ASS). Os resultados destas pesquisas têm sido descritos pormenorizadamente em relatórios técnicos e artigos científicos publicados em revistas especializadas. A ideia de um manual prático do MIFS surgiu de um levantamento de necessidades através de consultas realizadas no contexto de preparação de um pedido de subvenção à Fundação Bill & Melinda Gates efectuado pela CABI. O conceito de um Consórcio Africano para a Fertilidade dos Solos (ASHC) tinha sido proposto anteriormente por um grupo de peritos de MIFS numa reunião de consulta realizada em Wageningen, Holanda, em 2010. Estes especialistas, que formam o núcleo do grupo consultivo técnico do Consórcio (TAG), apoiam com aconselhamento e capacidade técnica a criação de materiais de informação sobre MIFS, incluindo este manual. O manual sintetiza os ensinamentos acumulados sobre MIFS numa publicação que poderá ser utilizada para formar profissionais.

O financiamento para a produção deste manual e outros materiais de formação no âmbito do ASHC foi concedido pela Fundação Bill & Melinda Gates, que impôs ao consórcio, coordenado pela CABI, a obrigação de trabalhar em colaboração com especialistas para a elaboração de materiais de referência sobre os princípios do MIFS (referidos como produtos de Nível 1) nas versões em Inglês, Francês e Português. Foi esse processo que culminou na produção deste manual. A primeira reunião consultiva sobre o livro foi realizada em Maio de 2011 durante o lançamento do projecto em Nairobi, Quénia.

A maior parte do conteúdo deste manual foi produzido pelos autores principais num “write-shop” realizado em Nairobi, em Outubro de 2011, sob a orientação editorial de Thomas Fairhurst, Editor técnico do ASHC. Em Novembro de 2011, Paul Van Mele da Agro-Insight, uma empresa de comunicação privada, visitou seis países na África ocidental, Central e Oriental com o objectivo de fazer um filme (com narração em Inglês, Francês e Português) que reflectisse os princípios do MIFS apresentados neste manual e cujas filmagens ilustrassem os sistemas de produção prioritários do projecto. O filme pode ser visto online em http://www.cabi.org/ashc.

Este livro destina-se à formação de profissionais de extensão rural em técnicas do maneio da fertilidade dos solos na ASS, assim como de outros parceiros envolvidos no desenvolvimento rural. Este manual é também uma cartilha útil para organizações de ensino como universidades e escolas técnicas, organizações envolvidas no desenvolvimento de políticas agrárias e de desenvolvimento rural que precisem de materiais de referência sobre técnicas do MIFS, e outras organizações governamentais e não-governamentais (ONGs) que pretendam implementar MIFS.

O manual do MIFS é organizado em sete secções que incluem uma introdução, uma apresentação do contexto e necessidade da utilização de MIFS, os princípios e prácticas do MIFS, definição das opções do MIFS, uma introdução sobre solo e produção agrícola e uma secção final que contém quadros, definições e outras informações de referência. Toda a equipa do projecto, incluindo o grupo TAG, espera que o leitor encontre neste manual uma ferramenta útil na abordagem do maneio da fertilidade dos solos no continente Africano e em outros lugares que apresentem condições de produção semelhantes.

Assinaram:

Peter Okoth (CIAT)
Shamie Zingore (IPNI)
André Bationo (AGRA)
Thomas Fairhurst (TCCL)
Ken Giller (WUR)
Rebbie Harawa (AGRA)
Jeroen Huising (CIAT)
Bashir Jama (AGRA)
Richard Jones (IFDC)
Valerie Kelly (MSU)
Abdoulaye Mando (IFDC)
Paul Mapfumo (SOFECSA)
Paul Van Mele (Agro-Insight)
Kabirou Ndiaye (AfricaRice)
George Oduor (CABI)
Bell Okello (ICRW)
Bernard Vanlauwe (IITA)

Publicado por Africa Soil Health Consortium

Agradecimentos

A elaboração deste manual foi financiada pela Fundação Bill & Melinda Gates.

Os autores exprimem os seus agradecimentos a Simon Ndonye pelas ilustrações maravilhosas, a Leonard Rusinamhodzi pela elaboração do Glossário e a Priscilla Sharland pela revisão das provas do manual. Agradecem igualmente às seguintes organizações pelo tempo dispendido pelos autores a escrever as várias secções do manual (por ordem alfabética):

1. Alliance for a Green Revolution in Africa (AGRA)
2. CAB International (CABI)
3. International Center for Soil Improvement and Agricultural Development (IFDC)
4. International Institute of Tropical Agriculture (IITA)
5. International Plant Nutrition Institute (IPNI)
6. Michigan State University (MSU)
7. Soil Fertility Consortium for Southern Africa (SOFECSA)
8. Tropical Crop Consultants Ltd (TCCL)
9. Wageningen University (WUR)

As fotografias neste manual foram cedidas por André Bationo, Ken Giller, Bernard Vanlauwe, Thomas Fairhurst, Paul Mapfumo, Shamie Zingore, Abdoulaye Mando, Pablo Tittonell, Paul Van Mele, Lieven Claessens, Jeff Bentley, Dannie Romney, Lydia Wairegi e George Oduor.

Alguns dos dados utilizados baseiam-se em recursos publicados.

Os Quadros 7.2–7.4, 7.6–7.33, 7.36, 7.38, 7.39, 7.41 e 7.42 foram reproduzidos do *Kit de Fertilidade dos Solos*, com a devida permissão de IPNI.

1 Introdução

1.1 Introdução

Nesta secção iremos definir o maneio integrado da fertilidade dos solos (MIFS), explicaremos porque sentimos a necessidade de criar um manual e a descreviremos o modo de como o manual deverá ser usado a fim de contribuir para o desenvolvimento da agricultura Subsariana (ASS).

1.2 O que é maneio integrado da fertilidade dos solos (MIFS)?

Nesta publicação define-se o MIFS como:

> Um conjunto de práticas de gestão da fertilidade do solo que inclui obrigatoriamente o uso de fertilizantes, materiais orgânicos e germoplasma melhorado combinados com o conhecimento de como adaptar estas práticas às condições locais, a fim de optimizar a eficiência agronómica dos nutrientes aplicados e assim contribuir para uma melhoria da produtividade das culturas. Todos os factores de produção devem ser geridos com base em princípios agronómicos e economicos sólidos.

1.3 Como surgiu o manual?

Nos últimos 10 anos foram feitas muitas pesquisas sobre MIFS na região da ASS cujos resultados foram principalmente descritos em relatórios e artigos publicados em revistas científicas. A ideia de um manual prático sobre MIFS surgiu de um levantamento de necessidades através de consultas realizadas no contexto de um pedido de subvenção para a Fundação Bill & Melinda Gates Foundation efectuado pela CABI. Os especialistas que fizeram parte desta pesquisa, pertencem ao grupo técnico consultivo (TAG) do Africa Soil Health Consortium (ASHC), e proporcionaram aconselhamento técnico para a criação de materiais de extensão rural em MIFS, tal como este manual. O manual sintetiza as lições apreendidas e acumuladas sobre MIFS numa publicação que pode ser usada para a formação profissional.

A subvenção concedida pela Fundação Bill & Melinda Gates impõe ao ASHC a obrigação de trabalhar com especialistas a fim de desenvolver materiais de referência sobre os princípios MIFS (conhecidos como produtos de Nivel 1) para impressão em Inglês, Francês e Português. A Fundação Bill & Melinda Gates também compromete o ASHC na produção de material de vídeo de alta qualidade para radiodifusão de forma a assegurar que os conhecimentos em MIFS sejam efetivamente comunicados através de traduções nas mesmas línguas. A maior parte do texto deste manual foi produzido num “write-shop” realizado em Nairobi em outubro de 2011.
O ASHC reuniu especialistas em MIFS da TAG, da CABI e da equipa de implementação do projecto. O grupo de especialistas tinha já desenvolvido um primeiro esboço que pôde então ser finalizado nesta reunião. O “write-shop” foi um processo colaborativo, onde os participantes reuniram as ideias e praticaram crítica positiva recíproca de forma a chegar a um consenso sobre o estilo e conteúdo do texto final. Thomas Fairhurst, editor técnico do ASHC, foi o condutor deste processo tendo também editado o manual final.

Em novembro de 2011, Paul Van Mele (Agro-Insight), visitou seis países da África Oriental, Central e Ocidental para fazer um filme (com narração em Inglês, Francês e Português) que descreve os princípios do MIFS. Este capturou diferentes práticas de MIFS aplicadas aos sistemas de cultivo prioritários do projecto:

- milho/leguminosas;
- arroz irrigado em planícies;
- Mapita/meixoeira/feijão nhemba;
- banana/café; e
- sistemas de cultivo baseados em mandioca.

Paul Van Mele desenvolveu também um filme para explicar aos responsáveis políticos de que forma o desenvolvimento e disseminação do MIFS é importante para o melhoramento das condições de vida dos pequenos agricultores na ASS. Em linha com a politica do ASHC, esta obra é licenciada sob uma licença

Publicado por Africa Soil Health Consortium

da Creative Commons de Atribuição 3.0 Não Adaptada. (http://creativecommons.org/licenses/by/3.0). Sob esta licença, os materiais podem ser usados para quaisquer fins não comerciais sem a necessidade de autorização, desde que o ASHC seja creditado.

1.4 A quem se destina este manual?

Prevê-se que este material seja útil aos profissionais de extensão rural e a outros profissionais envolvidos no desenvolvimento rural que estejam interessados em aprender mais sobre as práticas e princípios do MIFS.

Este manual é também um instrumento útil para organizações educativas tais como universidades e escolas técnicas, organizações envolvidas no desenvolvimento de politicas agrárias e de desenvolvimento rural que precisem de materiais de referência sobre técnicas MIFS e organizações governamentais e não governamentais (ONGs) interessadas em implementar o MIFS. Este manual está definido pelo ASHC como material de **Nível 1** ou material nuclear de referência sobre princípios MIFS (Figura 1.1). Este manual foi preparado com base numa revisão de artigos publicados, literatura não publicada e materiais de extensão rural já existentes. O ASHC planeia também produzir material de **Nível 2** ou material nuclear de referência baseado nos resultados dos principais sistemas de cultivo na AAS que incorporem práticas e princípios MIFS. Material de extensão rural adaptado localmente, ou de **Nível 3,** será também produzido em colaboração com agências de extensão rural e ONGs activas ao nível local nos países selecionados.

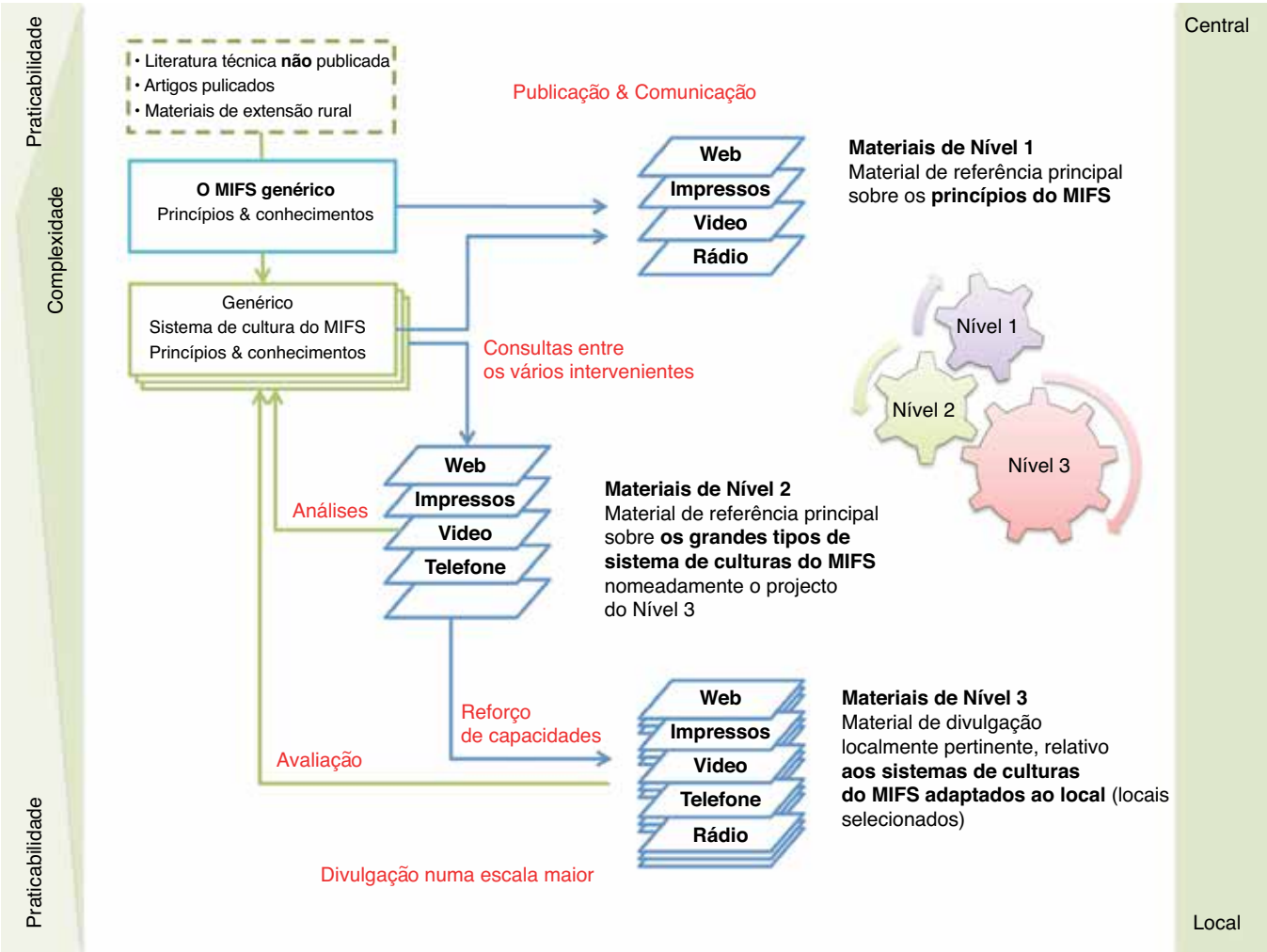


Figure 1.1 Processo para a preparação dos materiais de extensão rural sobre MIFS nos principais sistemas de cultivo.

1.5 Colaboradores

A produção deste manual não teria sido possível sem o apoio da Fundação Bill & Melinda Gates.

O ASHC gostaria de agradecer aos seguintes indivíduos que generosamente contribuíram com seu tempo na produção deste manual. Foram estas pessoas que garantiram a adaptação do conhecimento técnico aos contextos locais e a diferentes grupos de usuários.

Membros do TAG

- André Bationo, Alliance for a Green Revolution in Africa (AGRA);
- Thomas Fairhurst, Tropical Crop Consultants Ltd (TCCL);
- Ken Giller, Wageningen University (WUR);
- Valerie Kelly, Michigan State University (MSU) com o apoio da Agencia Americana para o Desenvolvimento Internacional (USAID);
- Abdoulaye Mando, International Center for Soil Improvement and Agricultural Development (IFDC);
- Paul Mapfumo, Soil Fertility Consortium for Southern Africa (SOFECSA);
- George Oduor, CABI;
- Bernard Vanlauwe, International Institute of Tropical Agriculture (IITA);
- Paul Van Mele, Agro-Insight;
- Shamie Zingore, International Plant Nutrition Institute (IPNI)

Equipa de produção ASHC

- Rodney Lunduka, CABI;
- George Oduor, CABI;
- Dannie Romney, CABI;
- Lydia Wairegi, CABI

Para biografia e detalhes de contactos ver: www.cabi.org/ashc

O ASHC agradece também a todos que contribuíram com ideias e comentários que tornaram esta colaboração um sucesso.

2 A necessidade do MIFS

2.1 Introdução

Nesta secção realçamos em primeiro lugar o contexto e a relevância deste manual, e explicamos porque devemos substituir soluções ditas “milagrosas” por soluções “mais ajustadas” baseadas em princípios de maneio integrado da fertilidade dos solos (MIFS) a fim de promover o desenvolvimento dos sistemas de produção agrícola na África Subsariana (ASS).

2.2 O contexto

Nos próximos 40 anos estima-se que a população da ASS terá um aumento de aproximadamente 700 milhões de habitantes. Isto vai traduzir-se num grande aumento de procura de alimentos, ração para animais, fibras e combustível, numa região onde muitos países já importam quantidades significativas destes produtos. Mas como é que a produção de alimentos, ração animal, fibras e combustível pode ser aumentada? Embora seja provável que a área cultivada vá continuar a expandir-se, persistirá também muita procura de terra para o desenvolvimento urbano e para a manutenção da natureza selvagem. Tendo em consideração o actual rendimento das culturas, verifica-se um grande potencial para o aumento da produção agrícola através da intensificação da produção nas terras já sob cultivo.

A intensificação da produção está geralmente relacionada com o aumento do rendimento das culturas, mas também pode envolver um aumento do *número* de culturas diferentes produzidas em cada campo anualmente. Além de permitir reservar parte das parcelas para outros usos, a intensificação da produção permite um melhor retorno dos investimentos efectuados em recursos humanos (através da redução da mão-de-obra de pouca rentabilidade) e pode levar a um aumento da auto-suficiência alimentar e do rendimento dos agricultores. A maior parte das necessidades alimentares da ASS continuará a ser colmatada por pequenos agricultores, que representam cerca de 70% da população na ASS.

O termo ‘pequeno agricultor’ é um termo genérico que engloba uma enorme diversidade de tipos de explorações agrícolas numa série de sistemas de produção. Podemos fazer uma distinção entre dois tipos de pequenos agricultores:

- Agricultores envolvidos na produção de produtos vegetais e pecúaria, orientados para venda nos mercados; e
- Agricultores envolvidos na agricultura a fim de garantir a sua própria segurança alimentar, ou como uma actividade paralela e complementar a outros meios de subsistência tais como um emprego externo ou pequena actividade empresarial.

Em ambos os tipos de explorações agrícolas, as melhorias na fertilidade do solo podem contribuir para maior rendimento das culturas, mas a abordagem mais adequada para o conseguir pode ser muito diferente. Por exemplo, os agricultores ligados aos mercados de venda estão geralmente numa melhor posição para obterem empréstimos do banco e investirem em factores de produção (sementes melhoradas, fertilizantes, agro-químicos) em comparação com os agricultores que produzem para o auto-consumo ou troca local, que podem não conseguir obter empréstimo do banco para a aquisição de factores de produção e são muitas vezes avessos ao risco de investimento. Por esta razão, MIFS atribui uma grande importância à adaptação dos princípios de maneio da fertilidade dos solos ao contexto sócio-económico e aos objectivos do agricultor (ou seja, produção orientada para o mercado ou para consumo local).

A melhoria na produtividade agrícola dos pequenos agricultores na Ásia – a chamada ‘Revolução Verde’ – foi o pilar da evolução económica que se registou nos últimos 50 anos neste continente. À medida que o desenvolvimento industrial foi ocorrendo, a segurança alimentar foi mantida a níveis regionais e mesmo nacionais, e os pequenos agricultores beneficiam agora de maiores mercados para os seus produtos nas cidades em rápido crescimento. A Revolução Verde incidiu na melhoria da produtividade nas planícies, principalmente nos sistemas do arroz irrigado onde a variabilidade entre as explorações agrícolas era muito menor do que a variabilidade encontrada entre as explorações agrícolas e paisagens na ASS. A ênfase foi colocada na implementação de larga escala de tecnologias ‘de largo espetro’ que poderam ser implementadas eficazmente em grandes áreas.

Como veremos, o desenvolvimento dos sistemas de produção agrícolas na ASS requer tecnologias e abordagens muito diferentes para a melhoria da produtividade das que foram utilizadas com sucesso nos sistemas de produção

agrícola em regadio predominantes na Ásia. No entanto, algumas características são comuns a ambas as regiões, particularmente no que se refere ao papel do estado como:

- O principal impulsionador da melhoria de produtividade da agricultura nas pequenas explorações agrícolas;
- Uma fonte de financiamento de infra-estruturas e instituições necessárias para uma melhor integração dos agricultores nos mercados dos factores de produção (i.e. fertilizantes, sementes, agro-químicos e crédito) e nos mercados de venda das produções agrícolas; e
- Uma fonte de investigação e extensão rural para a divulgação de informações sobre tecnologias ajustadas de maneio da fertilidade dos solos, tendo em conta uma grande diversidade de agricultores.

MIFS tem o maior potencial de impacto na ASS em áreas onde:

- Se faça sentir a necessidade de intensificação das culturas devido a uma população cada vez mais numerosa; e
- Os agricultores tenham acesso aos mercados de venda para os suas produções.

2.3 Desenvolvimento de sistemas de produção na África Subsariana (ASS)

Kofi Annan, ex-Secretário Geral das Nações Unidas, lançou um apelo para o fomentar de 'uma Revolução Verde exclusivamente Africana no século XXI', que deve reconhecer a grande diversidade de pessoas, solos e práticas agrícolas, bem como a necessidade urgente de aumentar a produtividade agrícola nesta região do mundo. Mas como poderemos desenvolver e definir tecnologias de MIFS que levem a uma melhoria da produtividade perante a enorme diversidade e heterogeneidade dos sistemas de produção agrícola em África?

A agricultura Africana é bastante diversificada, com cada um dos sistemas de produção principais associados a uma agro-ecologia. Dentro de cada um destes sistemas de produção encontramos um outro nível de variabilidade: a variabilidade local. Em qualquer país ou região, existem gradientes localizados de pluviosidade, e grandes diferenças entre regiões em termos de socio-economia e acesso a mercados. Até mesmo a nível de aldeias, existe uma grande diversidade nos modos de vida baseados na agricultura, que divergem nos objectivos de produção, poder económico e capacidade de dotação de recursos para agricultura.

Muita da heterogeneidade nos sistemas de produção agrícola é causada pela variabilidade espacial na fertilidade dos solos, que surge devido a dois factores principais:

- Em primeiro lugar, diferenças inerentes que surgem devido ao material de origem do solo e ao seu posicionamento na paisagem que muita influência tem na forma como o solo se desenvolve. Esta combinação cria a relação 'solo-paisagem', indicador muito útil no mapeamento do solo . Uma grande parte dos solos em África deriva de algumas das superfícies terrestres mais antigas do mundo, com baixas reservas de nutrientes. Locais onde surgem solos vulcânicos mais recentes são intrinsecamente mais ricos em nutrientes, mas podem contudo, ter outros problemas de fertilidade do solo como a fixação do fósforo sob formas que não podem ser facilmente aproveitadas pelas culturas.
- Em segundo lugar, o tipo de gestão praticada anteriormente pelos agricultores tem uma grande influência na fertilidade do solo. Numa mudança de sistema de cultivo de terra de pousio para o cultivo, a fertilidade do solo é afectada pelo duração do período de cultivo desde o último período de pousio e pela duração do período de pousio. Nas pequenas explorações agrícolas intensivamente geridas, as quantidades e a qualidade de fertilizantes e adubos orgânicos que foram adicionados aos solos no passado irão determinar o actual estado de fertilidade dos solos. Se o adubo for apenas aplicado nos campos perto da moradia rural, fortes gradientes de fertilidade do solo poderão ser observados, com a fertilidade do solo geralmente a diminuir à medida que aumenta a distância à moradia.

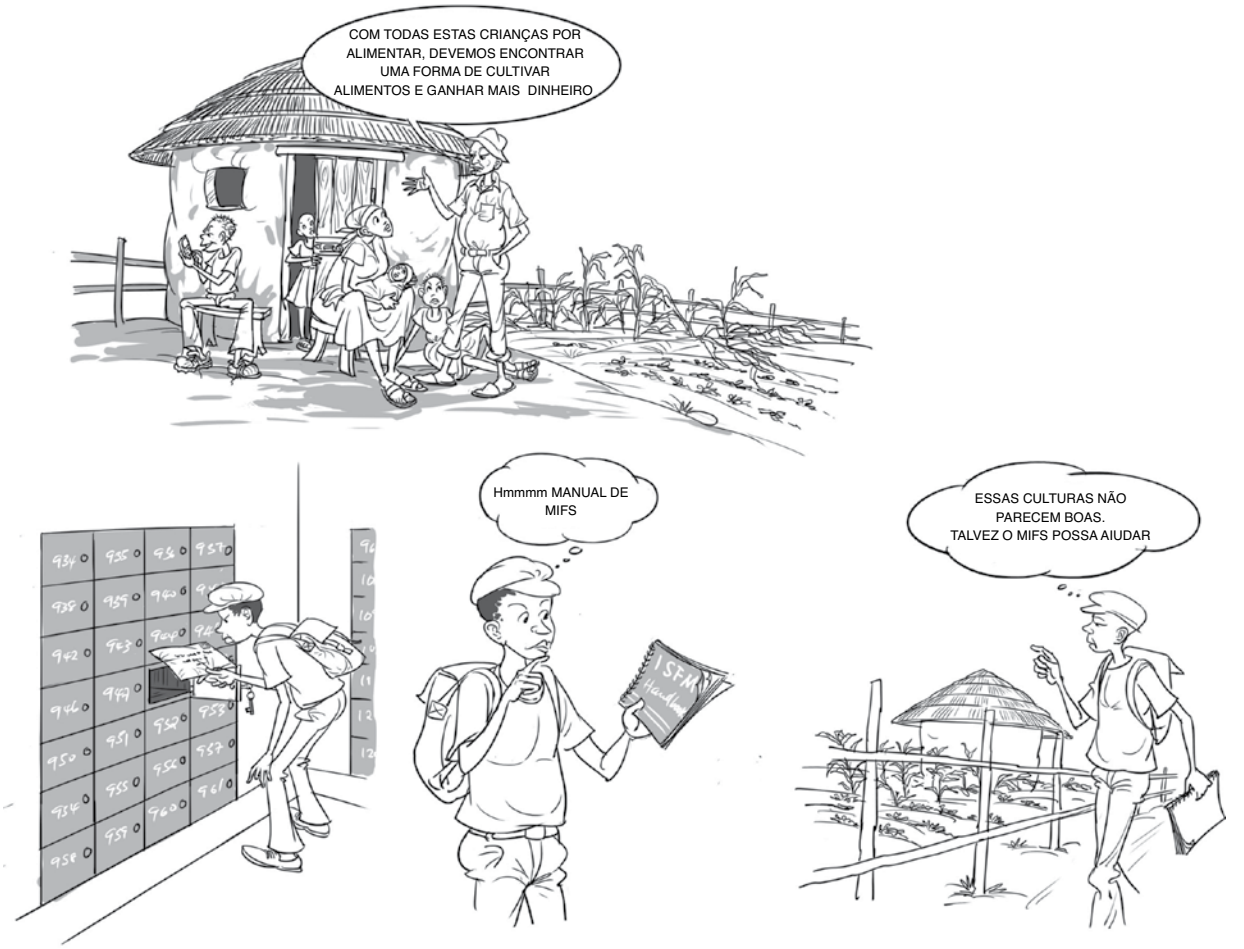
Explorações agrícolas de pequenos agricultores nem sempre estão orientadas para o mercado. Enquanto algumas famílias 'ganham a vida' fora da agricultura, outras vão-se mantendo na agricultura familiar por outras razões (e.g. um 'sentido de pertença' e integração social) considerando a agricultura como uma actividade secundária. Muitas famílias rurais em África vivem abaixo do limear da pobreza e cultivam culturas em terra já degradada. É demasiado simplista assumir que promover o uso de factores de produção agrícolas por meio de políticas de preço ou subsídios vai automaticamente e de forma sustentável aumentar a produtividade das culturas e melhorar o modo de vida das pessoas. Isto é particularmente verdade quando as famílias rurais têm diversas fontes de rendimento e esperam deixar a agricultura em algum momento no futuro.

Todas as tecnologias de melhoria do solo têm um custo em termos de mão-de-obra e de terra. Além disso, como os fertilizantes minerais e a matéria orgânica são recursos escassos, o MIFS incide na forma de como geri-los eficazmente. A abordagem descrita neste manual representa um afastamento substancial dos conceitos generalistas para a utilização de fertilizantes. Em vez disso, o foco recai sobre como definir tecnologias do MIFS para os diferentes agricultores e culturas nas suas explorações agrícolas. Sugerimos 'regras empíricas' que foram obtidas de princípios científicos e conhecimentos práticos dos agricultores locais e testadas exaustivamente no campo.

2.4 Definição de tecnologias: desde as soluções 'milagrosas' até às 'mais ajustadas'

É evidente que uma abordagem geral única ou uma dita solução "milagrosa" que pode ser aplicada em várias regiões não existe para ASS. Como alternativa, tecnologias diversas devem ser identificadas para os sistemas de produção e explorações agrícolas reconhecendo os seus diferentes ambientes agro-ecológicos e socio-económicos, os ditos 'nichos socio-ecológicos'. Preferimos também evitar o conjunto de tecnologias do tipo "melhor aposta', e insistimos em fazer referência às tecnologias do MIFS localmente adaptadas como opções 'mais ajustadas'.

- Soluções "milagrosas" do tipo generalista que tentam a implementação alargada de uma abordagem única sem levar em consideração a situação local.
- Soluções "melhor aposta", que sendo menos generalistas do que as "milagrosas" poderão ser eficazes em algumas situações.
- Soluções "ajustadas", que são especificamente adaptadas à situação local.



Publicado por Africa Soil Health Consortium

Novas abordagens ao problema da fertilidade do solo utilizam os princípios do MIFS que reconhecem que:

- Nem as práticas baseadas exclusivamente em fertilizantes minerais ou exclusivamente no maneio da matéria orgânica são suficientes para a sustentabilidade da produção agrícola.
- Germoplasma bem adaptado, resistente a doenças e a pragas é necessário para a utilização eficaz dos nutrientes existentes.
- Boas práticas agronómicas em termos de data de plantação, densidade de plantação e regime de monda são essenciais para garantir a utilização eficaz das escassas reservas de nutrientes.

Além destes princípios, reconhecemos que:

- A necessidade de nos focarmos em certos nutrientes durante os ciclos de rotação de culturas, indo além das recomendações para a monocultura; e
- A importância de integrar a pecuária nos sistemas de produção agrícolas.

Apesar de grandes mudanças de mentalidades no que diz respeito ao desenvolvimento sustentável da agricultura em África, a implementação de novas ideias e abordagens continua a ser problemática. A transferência de informações de desenvolvimento agrícola (ONGs, profissionais de extensão rural) é lenta e a maioria das informações disponíveis nos serviços governamentais nos países de ASS data de há décadas. A diversidade das condições locais em termos de desenvolvimento económico e de infra-estruturas bem como de agro-ecologia sugere a necessidade de abordagens de comunicação mais apropriadas por parte dos serviços de informações.

No desenvolvimento de directivas, a tomada de decisão pode ser dividida em três horizontes temporais:

- Decisões operacionais que abordam a gestão a curto prazo da exploração agrícola incluindo as condições climatéricas, estado de desenvolvimento de culturas, necessidades de alimentação do gado, etc.
- Decisões tácticas que abordam a gestão a médio prazo, tais como decisões relativas aos tipos de cultura a cultivar em cada parcela e em cada estação do ano, e a selecção de métodos de produção em conformidade com a organização da exploração agrícola.
- Decisões estratégicas que abordam a gestão a longo prazo, tais como a organização da exploração agrícola em relação aos recursos de terra disponível para cultivo, mão-de-obra e capital de investimento e, em relação à orientação da produção em termos de escolha das rotações de culturas e o investimento em diferentes tipos de gado.

2.5 Conclusões

Na próxima secção explicaremos em que consiste o MIFS e como pode ser utilizado para aumentar a produtividade nos sistemas de produção agrícolas da ASS.

2.6 Bibliografia

Lista de referências bibliográficas actuais de leitura recomendada. Cada citação é seguida de comentários e explicações sobre a obra em *itálico*. Se a fonte estiver disponível online, é proporcionada uma hiperligação.

Andriesse, W., Giller, K.E., Jiggins, J., Löffler, H., Oosterveer, P. and Woodhill, J. (2007) The Role of Agriculture in Achieving MDG1 – a Review of the Leading Reports. 90. Wageningen International, Wageningen. Retrieved August 2012 from http://library.wur.nl/way/bestanden/clc/1860193.pdf.

Este relatório descreve uma série de informações importantes em agricultura em relação ao Primeiro Objectivo de Desenvolvimento do Milénio, que consiste em reduzir para metade a fome e a pobreza até 2015. Disponível online.

de Koeijer, T.J., Wossink, G.A.A., van Ittersum, M.K., Struik, P.C. and Renkema, J.A. (1999) A conceptual model for analysing input–output coefficients in arable farming systems: from diagnosis towards design. *Agricultural Systems* 61, 33–44.

Um artigo de pesquisa que aborda a diferença entre a tomada de decisão operacional, táctica e estratégica a nível da exploração agrícola.

Dorward, A. (2009) Integrating contested aspirations, processes and policy: development as hanging in, stepping up and stepping out. *Development Policy Review* 27, 131–146.

Neste documento encontrará uma descrição interessante das diferentes estratégias de subsistência praticadas por pequenos agricultores.

Giller, K.E., Tittonell, P., Rufino, M.C., van Wijk, M.T., Zingore, S., Mapfumo, P., Adjei-Nsiah, S., Herrero, M., Chikowo, R., Corbeels, M., Rowe, E.C., Baijukya, F., Mwijage, A., Smith, J., Yeboah, E., van der Burg, W.J., Sanogo, O.M., Misiko, M., de Ridder, N., Karanja, S., Kaizzi, C., K'ungu, J., Mwale, M., Nwaga, D., Pacini, C. and Vanlauwe, B. (2011) Communicating complexity: integrated assessment of trade-offs concerning soil fertility management within African farming systems to support innovation and development. *Agricultural Systems* 104, 191–203.

Este artigo aborda a diversidade de sistemas de produção agrícolas de pequenos agricultores em África e discute a aplicação da análise de sistemas de produção agrícolas na definição de tecnologias ajustadas de MIFS.

Sanginga, N. and Woomer, P. (eds) (2009) *Integrated Soil Fertility Management in Africa: Principles, Practices and Developmental Process*. Tropical Soil Biology and Fertility Institute of the International Centre for Tropical Agriculture, Nairobi, 263 pp.

Um livro sobre a gestão da fertilidade dos solos em África.

Tittonell, P., Vanlauwe, B., Misiko, M. and Giller, K.E. (2011) Targeting resources within diverse, heterogeneous and dynamic farming systems: towards a 'uniquely African Green Revolution'. In: Bationo, A., Waswa, B., Okeyo, J.M., Maina, F. and Kihara, J. (eds) *Innovations as Key to the Green Revolution in Africa: Exploring the Scientific Facts*. Springer, Dordrecht, pp. 747–758.

Este documento, resultante de uma conferência, debate a definição de tecnologias do MIFS em conformidade com a visão de Kofi Annan de uma Revolução Verde, que reconheça a diversidade de agricultura em África.

Vanlauwe, B., Bationo, A., Chianu, J., Giller, K.E., Merckx, R., Mokwunye, U., Ohiokpehai, O., Pypers, P., Tabo, R., Shepherd, K., Smaling, E.M.A. and Woomer, P.L. (2010) Integrated soil fertility management: operational definition and consequences for implementation and dissemination. *Outlook on Agriculture* 39, 17–24.

Neste artigo apresenta-se a definição e explicação do MIFS de forma pormenorizada.

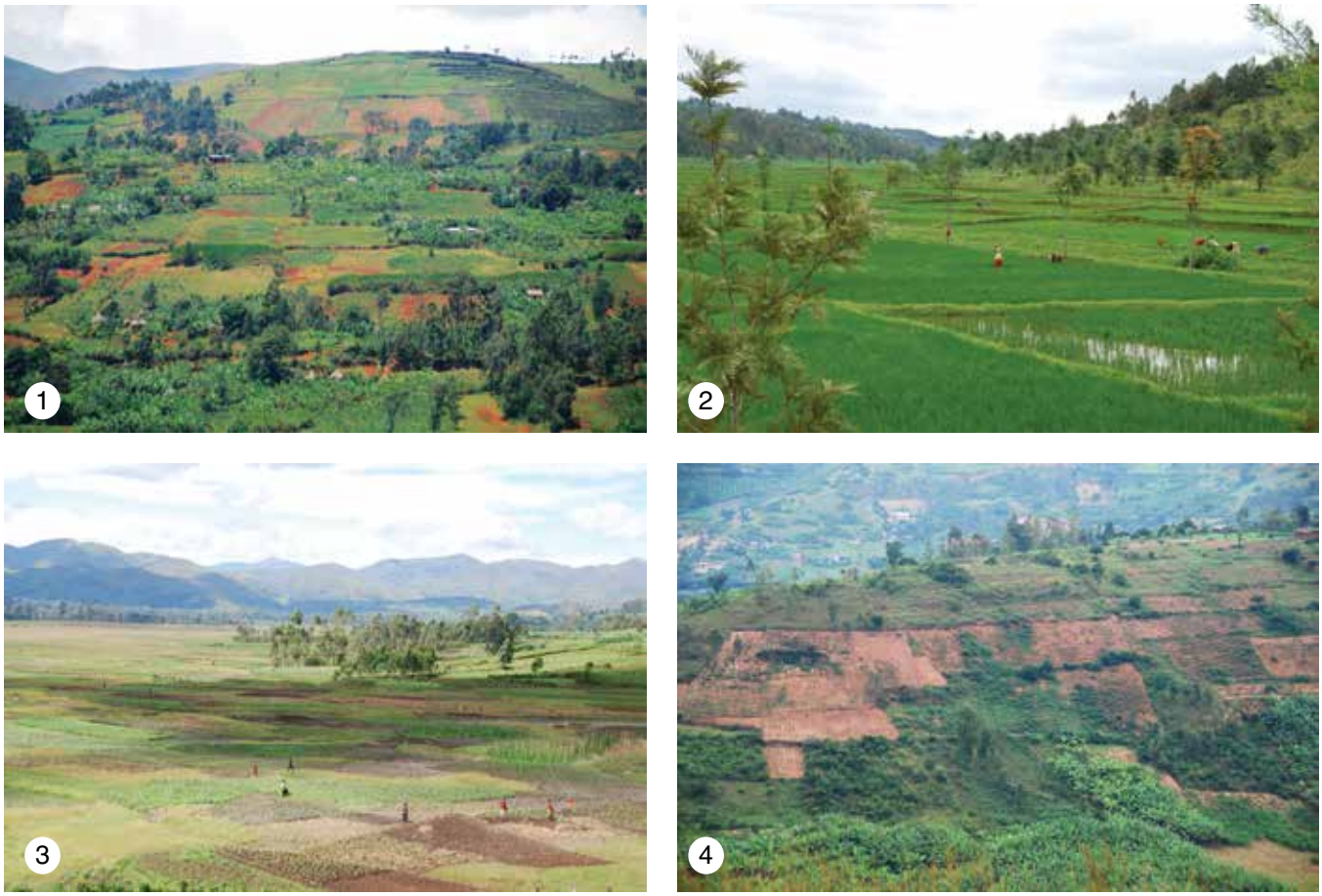
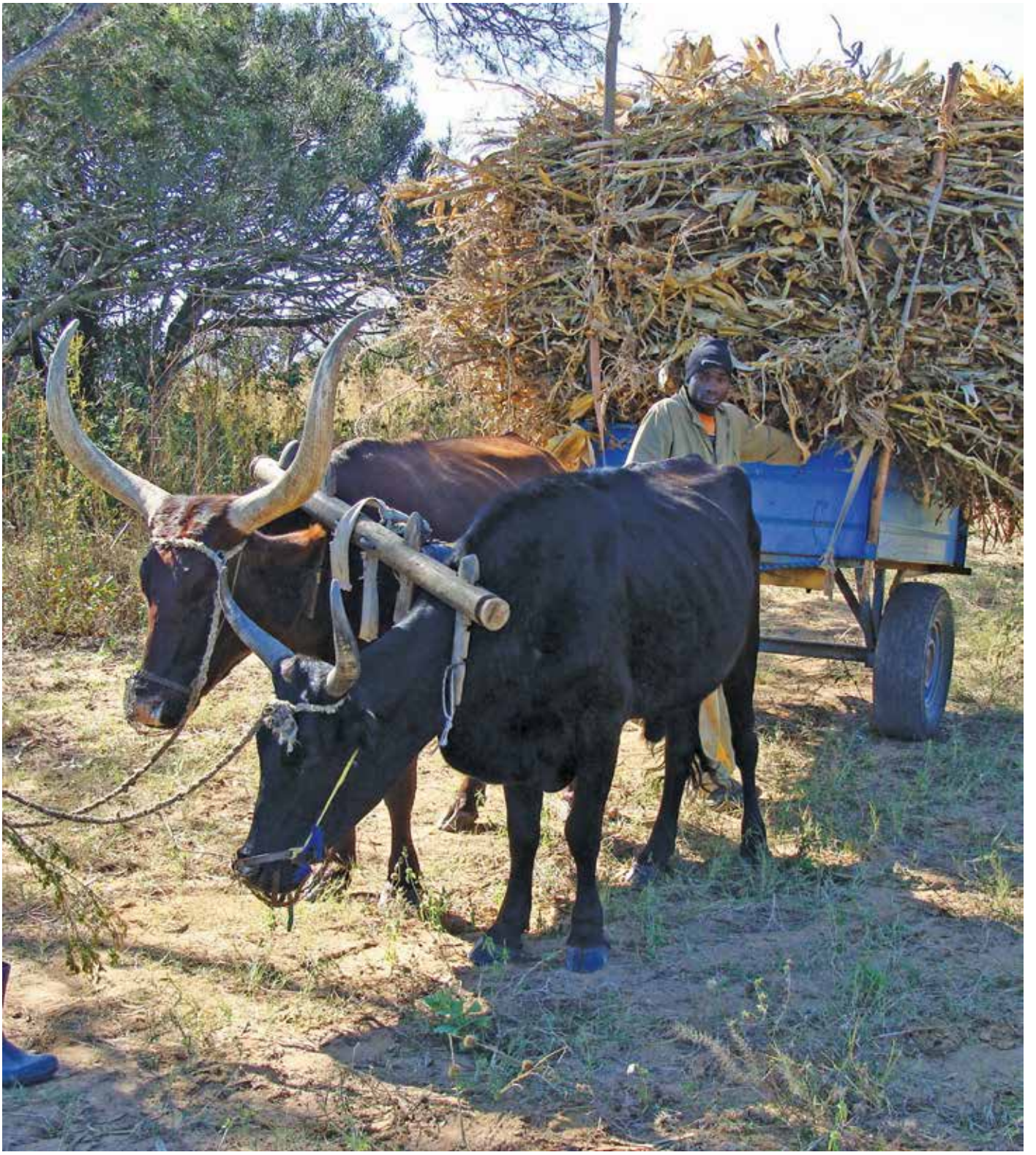


Foto 2.1 As paisagens agrícolas na ASS são muito diversas e os profissionais envolvidos devem identificar as técnicas do MIFS mais adequadas à área específica em que estão a trabalhar. Os agricultores produzem culturas alimentares e banana em terrenos inclinados na parte oriental da República Democrática do Congo (RDC) onde se exige a conservação apropriada do solo (1). O arroz irrigado é considerado um dos alimentos básicos e pode apresentar oportunidades para a intensificação da produção orientada para o mercado na parte ocidental do Ruanda (2). Um grande pântano plano, drenado, no fundo de um vale proporciona oportunidades para a produção de culturas de subsistência na parte ocidental do Ruanda (3). Terreno muito íngreme cultivado com culturas de subsistência na parte ocidental do Ruanda onde a erosão está a esgotar a base dos recursos do solo e onde as culturas permanentes poderiam ser mais sustentáveis (4).

Foto 2.2 Grandes áreas de terreno degradado na ASS podiam ser reabilitadas e aproveitadas na produção. A recuperação do solo requer grandes quantidades de resíduos orgânicos bem como de fertilizantes minerais para o restabelecimento da produtividade.

Foto 2.3 A fertilidade do solo varia muito entre os campos nesta exploração agrícola. Diferentes estratégias de maneio da fertilidade dos solos serão necessárias em cada campo e o agricultor deve gerir todos os campos no âmbito de uma estratégia global.

3 Princípios do MIFS



Publicado por Africa Soil Health Consortium

3.1 Introdução

Nesta secção descrevemos a história do maneio integrado da fertilidade do solo (MIFS) e de como esta abordagem foi construída com base na experiência adquirida em mais de 50 anos de trabalho no maneio da fertilidade dos solos na África Subsariana (ASS). Uma definição do MIFS é apresentada e dividida nas suas partes componentes e explicamos parte da teoria e conceitos subjacentes ao MIFS.

Informações básicas sobre a produção agrícola e ciência do solo são apresentadas na Secção 6, em benefício dos profissionais sem formação na área da agricultura que estão envolvidos na disseminação das técnicas do MIFS.

3.2 Historial de abordagens do maneio da fertilidade dos solos na ASS

Durante as últimas três décadas, o entendimento que orienta o maneio de nutrientes nos sistemas de produção agrícolas na ASS tem passado por grandes alterações devido a um aumento dos conhecimentos obtido de extensas pesquisas de campo, bem como devido às mudanças ocorridas em todo o ambiente social, económico e político na ASS (Tabela 3.1).

Nas décadas de 1960 e 1970 grande ênfase foi colocada na utilização de fertilizantes minerais para se conseguir uma nutrição adequada das culturas e melhoria no rendimento das colheitas (Tabela 3.1). Na década de 1980 mais atenção foi dada à utilização de materiais orgânicos, em parte devido aos problemas de acesso aos fertilizantes na ASS durante esse período.

No momento presente, grande parte da pesquisa demonstrou a importância de se *combinar* o uso de fertilizantes minerais com o uso de materiais orgânicos nas formas mais adaptadas às condições locais no sentido de obter colheitas satisfatórias conseguidas por uma utilização mais eficaz dos fertilizantes. Este é o âmago do MIFS.

Tabela 3.1 Mudanças nos paradigmas de maneio da fertilidade dos solos tropicais ao longo das últimas cinco décadas.

Período	Abordagem	Função de fertilizantes	Função dos materiais orgânicos	Experiência
Décadas de 1960 e de 1970	Uso de factores de produção externos	Uso exclusivo de fertilizante mineral considerado suficiente para manter e melhorar a produtividade.	Os materiais orgânicos desempenham um papel mínimo.	Estratégia de sucesso limitado devido a deficiências nos sistemas de infra-estruturas, de políticas e de agricultura.
Década de 1980	Uso de materiais orgânicos.	O fertilizante desempenha um papel mínimo.	Os materiais orgânicos são a principal fonte de nutrientes.	Estratégia de adopção limitada. A produção da matéria orgânica requer posse de efectivo pecuário e excessiva mão de obra e terra.
Década de 1990	Uso combinado de fertilizantes e materiais orgânicos.	O uso de fertilizantes é essêncial para aliviar as principais restrições em termos de nutrientes.	Os materiais orgânicos são a principal 'via' para a melhoria da fertilidade do solo, tendo contudo outras funções além de fornecimento de nutrientes.	Estratégia de adopção localizada em torno de culturas específicas.
Década de 2000	Maneio integrado da fertilidade dos solos.	O fertilizante é a principal via para o aumento da produtividade e produção dos materiais orgânicos necessários.	Os materiais orgânicos podem melhorar a eficiência do uso de fertilizantes.	Estratégia a adoptar globalmente.

3.2.1 O foco na utilização de fertilizantes minerais

Desde a sua invenção no século XIX até à década de 1980, os fertilizantes combinados com a melhoria de sementes e do material vegetativo para plantação foram os principais propulsionadores do aumento da produtividade na agricultura. A utilização adequada de factores de produção externos (sementes melhoradas, fertilizantes, calcário e água de irrigação) foi capaz de sustentar a produção agrícola, sendo uma maior utilização de fertilizantes minerais responsável por uma parte importante no aumento, por todo o mundo, da produtividade das culturas.

O uso de factores de produção externos, principalmente fertilizantes e calcário, juntamente com a utilização de variedades de cereais melhoradas, irrigação e aumento do número de culturas produzidas anualmente, estratégia denominada de intensificação agrícola, gerou uma 'Revolução Verde' na Ásia e América Latina, onde se tem verificado um grande aumento na produção agrícola desde a década de 1960.

Pesquisas e experiência acumulada, principalmente com milho, arroz, leguminosas em grão e algodão, também demonstraram que o fertilizante mineral tem potencial para ser uma importante ferramenta para a melhoria da produtividade na ASS. No passado, alguns agricultores terão sentido alguma frustração com o uso de fertilizantes, principalmente devido ao facto de as recomendações de aplicação de fertilizantes não terem sido suficientemente ajustadas às circunstâncias específicas de cada agricultor:

- Sabemos agora que em áreas densamente povoadas, com acesso limitado a recursos biológicos, a fertilidade do solo varia muito mesmo dentro das explorações agrícolas. Por exemplo, é comum haver campos mais férteis perto da casa do agricultor e menos férteis em locais mais distantes.
- A situação social e económica do agricultor deve ser tomada em conta na elaboração de recomendações para o uso de fertilizantes. Por exemplo, os agricultores orientados para o mercado estão fortemente envolvidos na produção de produtos agrícolas para venda, enquanto outros agricultores, geralmente menos dotados de recursos de produção (terra, mão-de-obra, dinheiro), são menos orientados para o mercado e, em vez disso, procuram garantir a auto-suficiência alimentar.

A falta de consideração pelos objectivos dos agricultores e pelo seu contexto de actividades terá frequentemente levado a resultados decepcionantes na utilização de fertilizantes nas décadas de 1980 e 1990.

Os agricultores consideravam os fertilizantes 'muito caros' ou 'incomportáveis', sendo isto particularmente sentido quando os preços destes recursos aumentaram bruscamente devido à eliminação dos subsídios. Até ao presente, os fertilizantes são mais caros na maioria dos países da ASS do que em qualquer outro continente do mundo, principalmente devido à falta de infra-estruturas eficazes no mercado de fertilizantes e ausência de redes de transporte deficientes.

Caixa 3.1 A Declaração de Abuja

A **Declaração de Abuja** foi adoptada na sequência da Cimeira sobre Fertilizantes em África, realizada em Abuja, Nigéria, em Junho de 2006. A Declaração estabeleceu os seguintes objectivos:

- Aumentar o nível de utilização de fertilizantes da actual média de 8 kg/ha para uma média total de pelo menos 50 kg/ha até 2015.
- Reduzir o custo de aquisição de fertilizantes a níveis nacional e regional.
- Melhorar o acesso dos agricultores aos fertilizantes, através do desenvolvimento e reforço de redes de comerciantes de factores de produção e de grupos comunitários nas áreas rurais.
- Atender às necessidades de fertilizantes dos agricultores, sobretudo às das mulheres agricultoras, e desenvolver e reforçar a capacidade dos jovens, das associações de agricultores, das organizações da sociedade civil e do sector privado.
- Melhorar o acesso dos agricultores aos fertilizantes, através da concessão de subsídios em prol do sector de fertilizantes, com particular atenção aos agricultores mais desfavorecidos.

Em certa medida, a utilização de fertilizantes na ASS tem sido afectada por preocupações ecológicas da Europa e América do Norte e partes da Ásia, onde o uso excessivo de fertilizantes minerais tem causado, por vezes, impactos ambientais indesejáveis. Alguns dirigentes temem que o aumento do uso de fertilizantes possa levar a problemas semelhantes na ASS. Neste momento, no entanto, as taxas de aplicação de fertilizantes na ASS são muito baixas (5–10 kg/ha), muito abaixo da meta de 50 kg/ha definida pela Declaração de Abuja (Caixa 3.1) e até dez vezes menor em comparação com taxas de aplicação das regiões mais economicamente desenvolvidas que a ASS.

Os resultados dos ensaios agronómicos a longo prazo em vários países demonstraram que o solo pode ficar esgotado em alguns nutrientes, quando o uso de fertilizantes é desequilibrado, por exemplo, quando grandes quantidades de fertilizantes ricos em Nitrogénio são aplicadas sem as quantidades necessárias de fertilizantes P, K e outros nutrientes. Contudo, estes problemas podem ser corrigidos ou evitados pelo MIFS.

Durante a década de 1990, os resultados de pesquisas e ensaios de campo indicaram que as questões ecológicas e agronómicas sobre a adição de fertilizante podem ser eliminadas através do seu uso criterioso em combinação com materiais orgânicos (palha, composto, leguminosas produzidos nas terras de alqueive e pousio) e correctivos do solo disponíveis localmente como rocha fosfatada e calcários reactivos. Muitos esforços foram empreendidos para a identificação de abordagens destinadas a aumentar a produção dos materiais orgânicos necessários, através da utilização de tecnologias baseadas nos sistemas agro-florestais e o uso de leguminosas herbáceas (por exemplo, culturas de cobertura) ou leguminosas em grão com dupla finalidade (por exemplo, soja de ciclo longo).

Em alguns lugares, talvez a preocupação mais significativa sobre o uso de fertilizantes seja o seu fraco desempenho em ambientes hostis, onde o solo superficial desapareceu devido à erosão do solo e escoamento de águas superficiais, e as reservas de nutrientes se esgotaram por causa da falta de reposição de nutrientes, tornando os solos menos sensíveis à entrada de fertilizantes. Além disso, outros factores como a seca, invasão por infestantes, acidez ou alcalinidade do solo tornaram muitas vezes o uso de fertilizantes economicamente inviável devido à fraca absorção de nutrientes dos fertilizantes pelas plantas e baixa conversão em produção agrícola.

Estes são alguns dos factores que levaram os investigadores a aprovar o uso *combinado* de fertilizantes e materiais orgânicos (resíduos de culturas e adubo animal) de forma a melhorar a produtividade das culturas e a eficiência agronómica.

3.2.2 Métodos de baixa utilização de factores de produção na melhoria da fertilidade dos solos

A Agricultura Sustentável com Baixa Utilização dos Factores de Produção Externos (LEISA) e outras estratégias designadas de ‘baixo custo’ foram promovidas por alguns doadores e ONGs em resposta a alguns dos problemas

discutidos anteriormente e ao custo elevado de fertilizantes. A abordagem da Agricultura Sustentável com Baixa Utilização dos Factores de Produção Externos (LEISA) presume que os materiais orgânicos estão disponíveis em quantidade suficiente para melhorar a produtividade e manter a base dos recursos naturais. As culturas leguminosas e as árvores e arbustos da mesma família podem acrescentar quantidades suficientes de N pela fixação biológica de Nitrogénio, e a reciclagem de nutrientes por árvores de raízes profundas também contribui para o aumento da fertlidade pela disponibilização de nutrientes trazidos à superfície do solo, ficando estes ao dispor das plantas de cultivo anual. Em muitos casos, contudo, a utilização dos materiais orgânicos tais como o estrume e composto fazem parte de um fluxo *interno* de nutrientes nas explorações agrícolas e, portanto, não representam nenhuma adição líquida de nutrientes para a exploração agrícola.

A conservação dos nutrientes é bastante importante, se as reservas de nutrientes no sistema de produção agrícola não forem mantidas, as produções das culturas estagnam e os agricultores não conseguirão sair da espiral descendente em que se encontram face à diminuição de reservas de nutrientes e à diminuição dos rendimentos (Figura 3.1). Em resposta, o agricultor é forçado a expandir a área de cultivo para atingir os seus objectivos de produção. Ao mesmo tempo, ensaios agronómicos mostram que muitas vezes se verificam grandes aumentos na produção agrícola quando os nutrientes são *acrescentados* ao sistema de produção agrícola. Observou-se igualmente que a *qualidade* dos materiais orgânicos é muitas vezes fraca e a *quantidade* de estrume ou outros materiais orgânicos é simplesmente insuficiente para atender à necessidade de nutrientes das culturas. Os materiais orgânicos geralmente contêm pequenas quantidades de nutrientes em comparação com os fertilizantes minerais, e são, por conseguinte, mais dispendiosos para armazenar, transportar e aplicar.

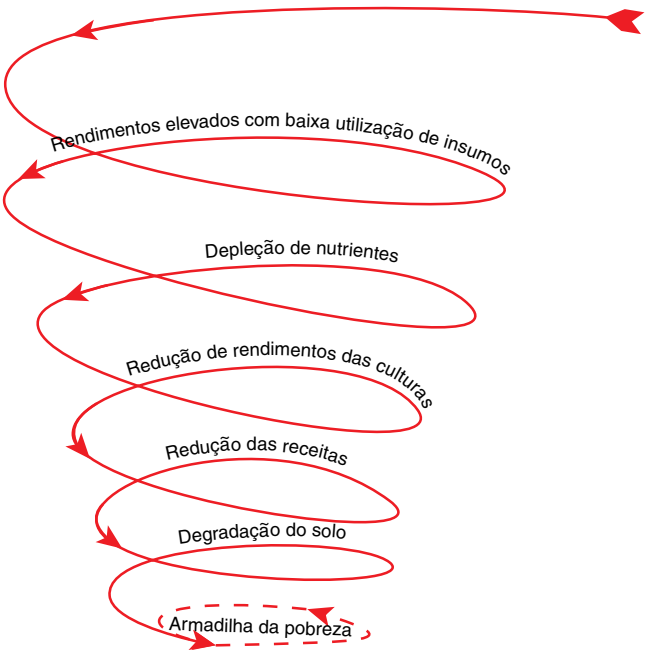


Figura 3.1 A espiral descendente para a armadilha da pobreza nos sistemas de produção agrícolas onde os nutrientes adicionados são insuficientes para a manutenção da fertilidade dos solos

Por exemplo nos sistemas de produção animal na África Ocidental as actuais taxas médias de aplicação de estrume são muito baixas (0,5–2,0 t/ha) sendo o potencial de transferência de nutrientes no estrume animal para os campos de cultivo de cerca de 2,5 kg N/ha e de 0,6 kg P/ha, o que é claramente insuficiente para atender as exigências de culturas.

Apesar do seu papel fundamental na manutenção da fertilidade do solo, a *quantidade* de materiais orgânicos necessária pode simplesmente não existir, por causa do número insuficiente de animais para fornecer o estrume necessário, particularmente quando a ocorrência da seca provoca uma diminuição do efectivo animal por causa da escassez de forragem. Contudo, os agricultores só poderão aumentar o número de animais se tiverem campos de pastagens suficientes ou se forem capazes de proporcionar forragem suficiente o que, por sua vez, exige elevada produtividade das culturas de forma a gerar quantidades suficientes de resíduos vegetais ou forragem.

Da mesma forma, embora se defenda muitas vezes a preparação do composto a partir da palha, a análise de vários sistemas de produção agrícola revelou muitas formas de utilização alternativa da palha. Por exemplo, nos locais onde a palha é necessária para a alimentação animal, muito pouco se pode poupar para a preparação do composto.

É possível produzir os materiais orgânicos, através da plantação de culturas de cobertura (por exemplo, *Mucuna pruriens*) e outras plantas, tanto na própria exploração agrícola como fora dela para serem utilizados como correctivos do solo. Embora tenham sido obtidos resultados promissores nos ensaios agronómicos realizados por pesquisadores, os agricultores raramente adoptam estas práticas porque: (i) exigem mão-de-obra intensiva; (ii) não podem fornecer todos os nutrientes necessários à manutenção da produtividade; e (iii) não geram produtos que podem ser consumidos ou vendidos no mercado. O cultivo de plantas de cobertura nos solos pobres é apenas, na sua essência, uma reciclagem da pobreza.

Estas são algumas das razões que explicam porque a manutenção da fertilidade dos solos e o aumento da produtividade através da utilização exclusiva de materiais orgânicos se revelou impraticável. Toda a evidência científica indica que, nos solos empobrecidos da ASS a produção não poderá crescer sem a adição de nutrientes de fontes externas, quer do estrume animal quer do fertilizante mineral.

3.2.3 Uso integrado de fertilizantes e materiais orgânicos

A estratégia do MIFS utiliza os mesmos princípios básicos da utilização de materiais orgânicos deixando contudo de incidir na *procura* de materiais orgânicos para adicionar para incidir no *gerar* dos materiais orgânicos na forma de resíduos das culturas ou estrume resultante da produção das culturas (Quadro 3.1). A investigação agronómica nos últimos 20 anos aponta para a necessidade de combinar materiais orgânicos e fertilizantes minerais para o aumento da fertilidade dos solos, melhoria da produção agrícola e melhoria das condições de vida dos agricultores. Estes são alguns dos argumentos inerentes à Declaração de Abuja de 2006 (Caixa 3.1).

3.3 Definição do MIFS

MIFS pode ser definido como:

> Um conjunto de práticas de maneio da fertilidade dos solos que inclui obrigatoriamente a utilização de fertilizantes, materiais orgânicos e germoplasma melhorado, em combinação com os conhecimentos de como ajustar estas práticas às condições locais, com o objectivo de optimizar a eficiência da utilização agronómica dos nutrientes aplicados e melhorar a produtividade das culturas. Todos os factores de produção devem ser geridos segundo princípios agronómicos sólidos e economicamente viáveis.

O processo é descrito em termos de intervenções, resultados práticos, objectivos atingidos e impacto final na Figura 3.2.

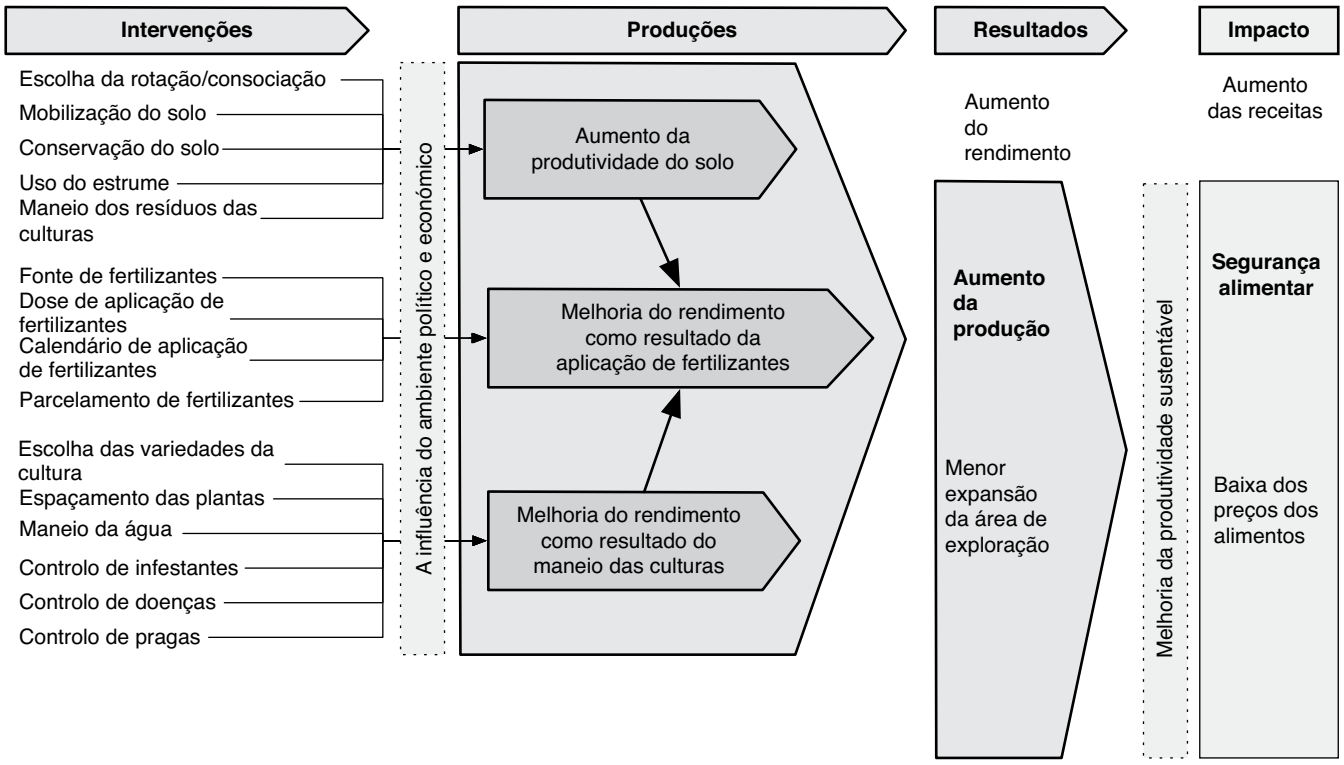


Figura 3.2 O MIFS envolve a utilização combinada de intervenções "ajustadas" sobre o maneio do solo incluindo a utilização de fertilizantes e condução das culturas de forma a atingir os principais resultados de aumento do rendimento e produtividade. O lançamento de novas intervenções é afectado pelas economias de mercado e políticas governamentais. Quando o lançamento é bem sucedido, a produtividade é melhorada e menos terra se torna necessária para alcançar um determinado nível de produção. O impacto é a melhoria sustentável de segurança alimentar, maiores receitas de exploração agrícola e uma redução nos preços de alimentos, o que beneficia a população urbana.

Esta definição combina todas as componentes agronómicas necessárias ao crescimento das culturas e aumento da produção agrícola, incluindo o uso de material de plantação em boas condições sanitárias e de elevado rendimento, a adição de nutrientes, fornecidos quer pelos materiais orgânicos quer por fertilizantes minerais, e o uso de outros correctivos dos solos.

A abordagem do MIFS adopta os princípios da ecologia de produção das plantas em que o rendimento é uma função da interacção entre o genótipo, ambiente e maneio:

$$\text{Rendimento} = G\ (\text{genótipo}) \times A\ (\text{ambiente}) \times M\ (\text{maneio})$$

Onde:

- Genótipo é a semente ou material vegetativo utilizado no sistema de produção agrícola. Podem ser oriundos de variedades locais ou melhoradas.
- Ambiente refere-se aos solos e ao clima na localização específica.
- Maneio refere-se à capacidade do agricultor para gerir as culturas e o sistema de produção agrícola

Utilizaremos agora alguns diagramas ou modelos para explorar o efeito do MIFS na eficácia e rendimento da utilização de fertilizantes.

O primeiro modelo ilustra o impacto das alterações na forma de gestão agrícola a fim de conseguir uma implementação mais completa do MIFS (Figura 3.3):

- Quanto mais completa for a implementação do MIFS, maior é o valor da eficiência agronómica.
- Fazemos uma distinção entre solos com maior e menor capacidade de resposta:
  - A resposta à quantidade de sementes e fertilizantes é mais evidente nos solos com maior capacidade de resposta (ponto A).
  - A resposta à quantidade de sementes e de fertilizantes é menos evidente nos solos com pouca capacidade de resposta ou 'degradados' (ponto B) e, neste caso, a adição de materiais orgânicos torna-se necessária para utilização eficaz dos fertilizantes e sementes melhoradas (ponto C).

A implementação total do MIFS exige conhecimentos sobre como adaptar as práticas aos constrangimentos e oportunidades de cada exploração agrícola. Iremos agora explicar o que cada parte da definição do MIFS significa.

Para isso, um outro modelo pode ser utilizado para explicar as interacções entre as várias componentes do MIFS (Figura 3.4):

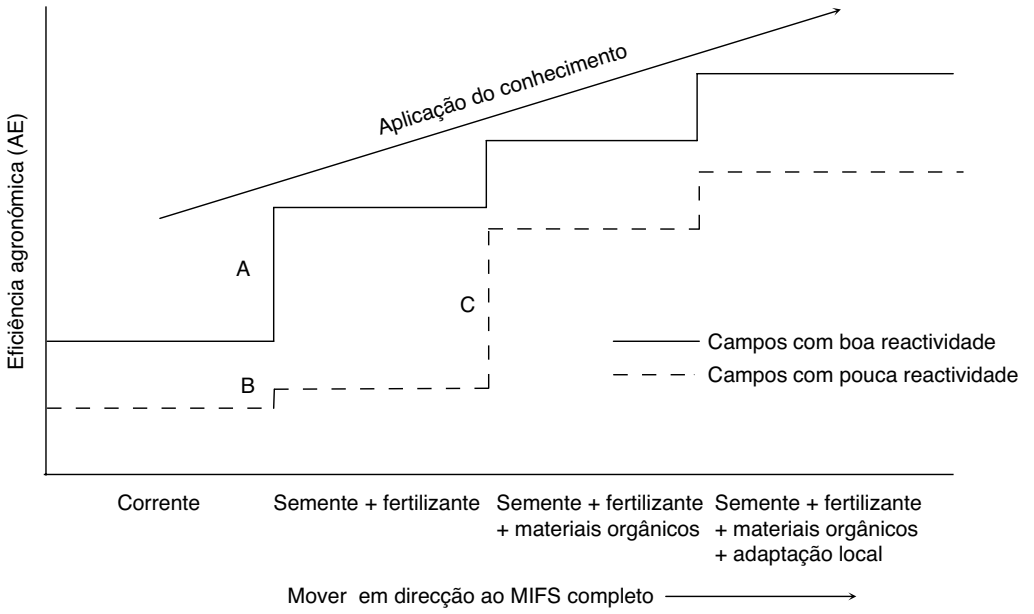


Figura 3.3 Relação entre a eficiência agronómica (EA) de fertilizantes e materias orgânicos durante a implementação dos vários componentes do MIFS.

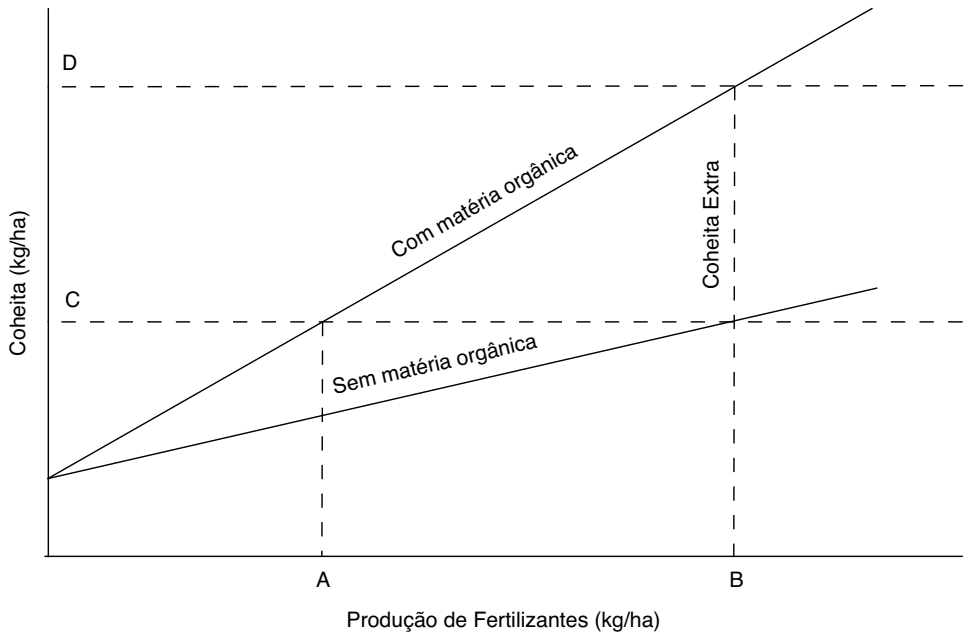


Figura 3.4 Interacção positiva entre o fertilizante e os materiais orgânicos que resultam num rendimento suplementar devido às práticas do MIFS.

- A resposta ao fertilizante é maior quando o fertilizante é aplicado de forma combinada com materiais orgânicos (por exemplo, o estrume animal) (linha A), sendo a resposta ainda maior com taxas mais elevadas de aplicação de fertilizantes (linha B).
- O impacto do estrume animal na resposta ao fertilizante depende da quantidade de estrume acrescentado.
- É preciso adicionar uma maior quantidade de fertilizantes para que haja subida de rendimento (linha C) quando nenhum produto orgânico é utilizado (linha A), comparado com uma menor quantidade de fertilizantes minerais quando em combinação com a matéria orgânica (linha B).

Quando duas componentes são usadas de forma combinada dão origem a um maior aumento no rendimento do que as duas componentes implementadas em separado, designamos esta sinergia como uma 'interacção positiva'. O benefício percebido destas interacções positivas por parte do agricultor vai depender dos custo dos materiais orgânicos e dos fertilizantes. Um agricultor com fácil acesso ao estrume poderá optar pela utilização de estrume e fertilizantes, enquanto um agricultor sem acesso a estrume terá de usar mais fertilizante. Este tipo de decisão é um exemplo do que chamamos de "adaptação local" e ilustra bem o ponto de que a análise económica deve estar na base das decisões de MIFS.

3.3.1 Utilização de fertilizantes minerais

Os fertilizantes minerais são necessários como fonte complementar aos nutrientes reciclados ou adicionados na forma de resíduos agrícolas e de estrumes animais. Os fertilizantes são fontes concentradas de nutrientes essenciais disponíveis numa forma de fácil absorção pelas plantas. São muitas vezes menos onerosos do que o estrume animal em termos da quantidade de nutrientes que contêm por quilo (ou seja, nutrientes em $/kg), mas muitas vezes são considerados mais onerosos pelos agricultores, porque exigem um desembolso de capital inicial.

O MIFS coloca grande ênfase numa utilização de fertilizantes minerais restricta aos campos agrícolas onde a adição destes recurso poderá ter maior efeito benéfico.

3.3.2 Utilização de materiais orgânicos

Os materiais orgânicos (resíduos agrícolas e estrumes animais) também são uma importante fonte de nutrientes, mas o seu teor de N, P, Mg e Ca só é libertado após a decomposição. Por outro lado, o K é fornecido rapidamente a partir de estrumes animais e resíduos agrícolas porque está contido na seiva das células vegetais. Além disso, a quantidade de nutrientes contidos nos materiais orgânicos é geralmente insuficiente para manter os níveis exigidos de produtividade agrícola e expressar todo o potencial económico das terras dos agricultores e da mão-de-obra.

Além de fornecer nutrientes, os materiais orgânicos também contribuem para a produção agrícola de outras formas através do:

- Aumento da resposta das culturas aos fertilizantes minerais;
- Aumento da capacidade de retenção de humidade do solo;
- Regulação das propriedades químicas e físicas dos solos que afectam a acumulação e a disponibilidade de nutrientes, bem como o crescimento das raízes;
- Adição de nutrientes que não se encontram nos fertilizantes minerais;
- Criação de um melhor ambiente para o crescimento das raízes;
- Melhoria da disponibilidade de fósforo para a absorção pelas plantas;
- Melhoria de problemas tais como a acidificação dos solos; e
- Reposição da matéria orgânica do solo.

No MIFS enfatizamos a importância da optimização da utilização de materiais orgânicos após a análise do seu custo de oportunidade (por exemplo, comparando a retenção dos materiais orgânicos no campo com a sua utilização para a alimentação animal, produção de “mulch” ou compostagem).

3.3.3 Utilização de germoplasma melhorado

É importante que o agricultor utilize os materiais de propagação (geralmente sementes, mas muitas vezes estacas ou mudas) mais bem adaptados a uma específica exploração agrícola em termos de:

- Elevada resposta aos nutrientes (as variedades diferem na sua resposta aos nutrientes fornecidos);
- Adaptação ao ambiente local (solos, climas); e
- Resistência às pragas e doenças (as plantas de baixa qualidade sanitária não consomem nutrientes de forma eficaz).

O germoplasma melhorado tem geralmente um índice de colheita maior (IC) (quantidade de produto da colheita em relação à produção total de biomassa) porque nestas plantas uma parte maior da produção total da biomassa é convertida em produto colhido, do que nas variedades não melhoradas. Contudo, variedades melhoradas de leguminosas com um menor índice de colheita (IC) são por vezes seleccionadas, porque podem ser tratadas como plantas de cultivo de ‘multi-função’. É o caso das variedades multifuncionais da soja, utilizadas para alimentação humana e animal e também na melhoria da fertilidade do solo produzindo uma grande biomassa que beneficia o próximo ciclo de produção agrícola, para além de terem um rendimento aceitável em grão.

Os agricultores devem ser informados das novas variedades testadas e aprovadas mais recentemente, para que possam utiliza-las nas suas explorações.

3.3.4 Efeito combinado dos fertilizantes, materiais orgânicos e germoplasma

Iremos agora utilizar três exemplos para ilustrar a importância da análise das interacções que ocorrem durante a utilização combinada do fertilizante, materiais orgânicos e germoplasma melhorado.

O aumento do rendimento das culturas é geralmente superior quando os materiais orgânicos e os fertilizantes são aplicados em conjunto. Por exemplo, em Sadore, Níger, o rendimento do painço aumentou em cerca de 1.0 toneladas por hectare através da adicão de resíduos orgânicos e 1.5 toneladas por hectare pela adição de fertilizantes (Figura 3.5). Quando os fertilizantes e resíduos orgânicos foram aplicados juntos, registou-se um rendimento ainda superior, tendo este rendimento crescido gradualmente no longo tempo.

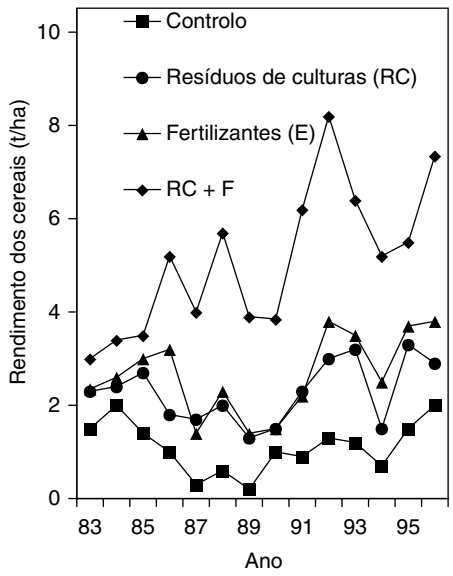


Figura 3.5 Efeito a longo prazo da adição de fertilizantes e dos resíduos da cultura no rendimento em grão de mexoeira em Sadore, Níger.

O benefício da aplicação combinada de nutrientes e germoplasma melhorado é ilustrado pelo efeito dos fertilizantes no rendimento de variedades de milho de polinização aberta em Kivu do Sul, RDC (Figura 3.6).

Neste exemplo o rendimento em grão de milho obtido de duas variedades locais (Kasai e Kuleni) e duas variedades melhoradas de polinização aberta (BH140 e BH540) foram comparadas quando semeados com e sem fertilizantes. As culturas fertilizadas receberam 60 kg/ha N, 13 kg/ha P e 25 kg K/ha aplicados como fertilizante composto NPK (17–17–17) e ureia (46% N) faseada em aplicações de fundo e de cobertura.

Podemos aprender uma série de lições importantes a partir deste ensaio:

- O maior rendimento foi obtido com híbridos fertilizados.
- Ambas variedades locais produziram maior rendimento quando foram fertilizadas em comparação com a variedade BH140 não fertilizada. Por isso, a aplicação de fertilizantes às variedades locais pode resultar em ganhos significativos em termos de rendimento.
- As variedades locais e melhoradas tiveram maiores rendimentos em grão quando se aplicaram os fertilizantes contudo o crescimento do rendimento foi equivalente nas variedades locais e na BH540. A maior resposta ao fertilizante foi obtida com a variedade BH140. A BH540 não reagiu melhor ao fertilizante do que as duas variedades locais.
- Os rendimentos aumentaram para mais do dobro, de 2,6 t/ha (a variedade de Kasai sem fertilizante) para 6,0 t/ha (a variedade BH540 com fertilizante) quando foram utilizados ao mesmo tempo o fertilizante e germoplasma melhorado.
- O rendimento da variedade BH540 sem fertilização foi ligeiramente maior do que o das duas variedades locais com a aplicação de fertilizante.
- Será necessário uma análise económica para identificar a combinação variedade x aplicação de fertilizantes mais lucrativa.

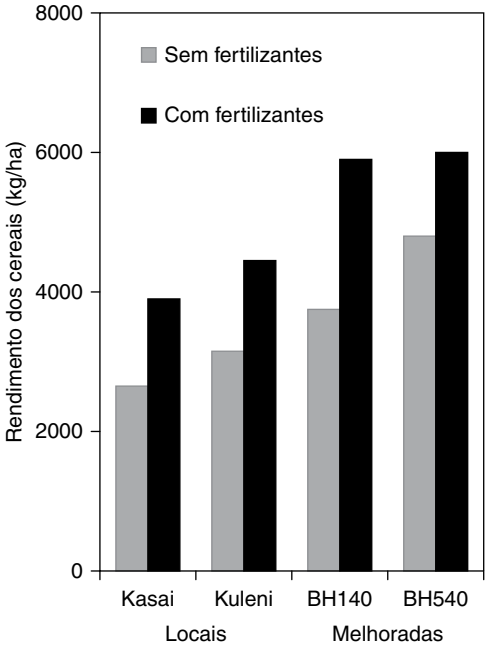


Figura 3.6 Efeito do fertilizante no rendimento em grão de duas variedades melhoradas do milho no Kivu do Sul, RDC.

Estas mesmas variedades podem responder de forma muito distinta aos mesmos tratamentos numa localidade diferente, portanto, é melhor evitar generalizar com base em um único ensaio. Por exemplo, ao contrário dos resultados deste ensaio, as variedades melhoradas tendem a responder mais do que as variedades locais à aplicação de fertilizantes.

É importante analisar as respostas das variedades aos vários factores de produção agrícolas no momento da selecção das mesmas para uma determinada localidade (Figura 3.7).

Neste exemplo, o rendimento em grão das diferentes variedades de soja foi comparado, tendo em conta a adição e não adição do fertilizante de fósforo. Algumas variedades apresentaram baixo rendimento (por exemplo, o

ponto a), enquanto outras apresentaram bom rendimento, mas não responderam ao fertilizante de P (por exemplo, **ponto b**). Uma série de variedades tiveram bons rendimentos e apresentaram uma boa resposta ao fertilizante de fósforo e foram seleccionadas para mais testes nos campos dos agricultores (**ponto c**).

Finalmente, devemos também analisar o efeito das outras actividades de gestão da exploração agrícola na resposta aos fertilizantes agrícolas (Figura 3.8). Neste exemplo houve um grande efeito no rendimento das culturas e na resposta ao fertilizante, através da melhoria dos aspectos de maneio das culturas, tais como a data da plantação, a densidade, o respeito pelo prazo de aplicação do fertilizante de fósforo. Quanto melhor for o maneio das culturas, maior será a resposta ao fertilizante (Figura 3.8).

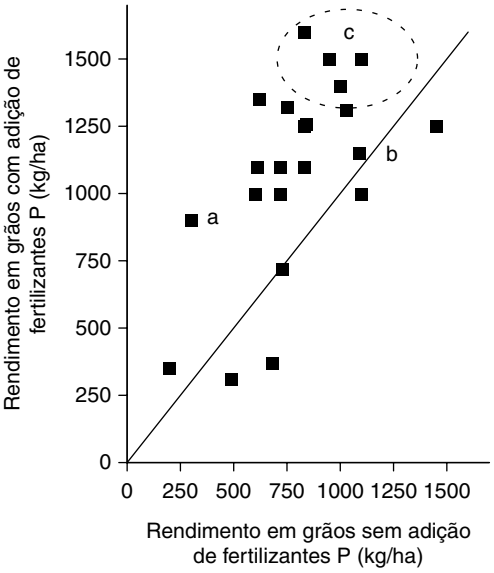


Figura 3.7 Resposta das diferentes variedades de soja ao fertilizante de fósforo(P)

3.3.5 Importância de adaptação local

A definição do MIFS enfatiza a necessidade para a 'adaptação local' levando em consideração a **variabilidade** entre as explorações agrícolas:

- Em termos de metas e objectivos da exploração, tamanho, disponibilidade da mão-de-obra, posse de animais, importância das receitas não agrícolas; e
- Na quantidade de meios de produção (por exemplo, terra, dinheiro, mão-de-obra, resíduos agrícolas e adubo animal) que as diferentes famílias de agricultores têm disponíveis para investir nas suas explorações agrícolas.

A definição do MIFS dá enfâse à utilização eficiente de recursos escassos como fertilizantes e materiais orgânicos, procurando alcançar objectivos económicos viáveis para cada família de agricultores.

Podemos frequentemente distinguir três tipos de solos nos campos agrícolas (Figura 3.9):

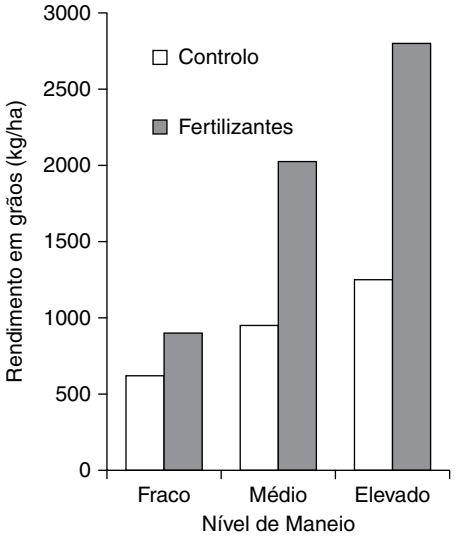


Figura 3.8 Efeito do maneio agronómico na resposta aos fertilizantes.

- Os campos férteis com fraca capacidade de resposta (campos de dentro), são geralmente aqueles que se encontram próximo das residências dos agricultores e que, ao longo dos anos, beneficiaram de adições de materiais orgânicos, tais como os resíduos domésticos, resíduos agrícolas, estrume animal e por vezes dejectos humanos.
- Os campos com boa capacidade de resposta (campos de fora), são campos encontrados a alguma distância das residências dos agricultores nos quais não foram aplicados resíduos agrícolas nem estrume animal.
- Os terrenos baldios (baldios) degradados e com pouca capacidade de resposta, são também encontrados a grande distância da residência agrícola., Estão sujeitos ao uso colectivo e, talvez por isso, os agricultores se mostrem relutantes em investir na melhoria da fertilidade do solo, dada a incerteza de poderem cultivar alimentos nestas terras no futuro.

Assim, a adaptação local engloba igualmente a necessidade de ter em conta as diferenças na capacidade de resposta dos solos:

- Para reabastecer as reservas de nutrientes e manter a fertilidade dos solos férteis apenas pequenas quantidades de fertilizantes são necessárias.

- Para os solos com capacidade de resposta, as recomendações de fertilizantes devem ser ajustadas a cada campo com base na amplitude da resposta, esperada ou comprovada. A recomendação deve também incluir correctivos de solos e outras práticas de gestão da fertilidade do solo (por exemplo, adição de materiais orgânicos) necessários para alcançar uma resposta mais alargada.
- Os solos que não reagem à aplicação de fertilizantes apresentam muitas vezes um conjunto de limitações complexas e mais difíceis de interpretar em relação à produção agrícola. A sua reabilitação só pode ser executada onde tenham sido desenvolvidas e testadas soluções que tenham sido consideradas práticas e económicas.

A resposta ao fertilizante e à adição de grandes quantidades de estrume bovino foi avaliada em campos com elevada capacidade de resposta mas localizados perto da moradia rural (*campos de dentro*) e em campos com baixa capacidade de resposta mas localizados longe da moradia rural (campos de fora) no Zimbabwe (Figura 3.10). A resposta ao fertilizante nos "campos de dentro" não melhorou com a adição de resíduos agrícolas, tendo havido contudo um aumento notável na resposta ao fertilizante após 3 anos nos "campos de fora" durante os quais grandes quantidades de resíduos agrícolas foram adicionadas ao solo.

Um outro ponto enfatizado no MIFS é a importância de identificar 'pontos de entrada' onde as componentes do MIFS podem ser introduzidas optimizando a oportunidade de grandes retornos para o investimento em factores de produção ou potenciados por alterações das práticas de produção. A análise dos sistemas de produção agrícola (ASP) é realizada para identificar e dar prioridade aos "pontos de entrada":

- Que partes do sistema de produção agrícola devem ser consideradas prioritárias para a introdução de melhorias?
- Qual será o impacto das melhorias praticadas nas zonas prioritárias do sistema de produção agrícola nos outros componentes do sistema de produção agrícola?

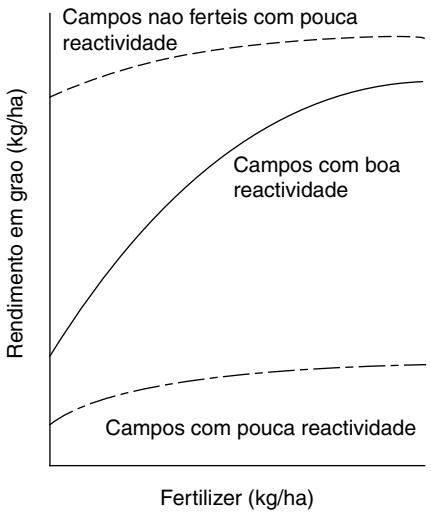


Figura 3.9 Resposta do fertilizante em solos ferteis com pouca capacidade de resposta, solos inferteis com pouca capcidade de resposta e campos com boa capacidade de resposta

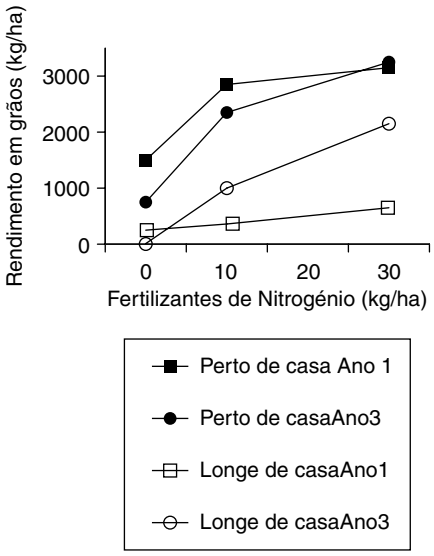


Figura 3.10 Resposta ao fertilizante N e ao estrume ao longo do tempo em "campos de dentro" com boa capacidade de resposta e em "campos de fora" com uma capacidade inicial de resposta baixa no Zimbabwe

3.3.6 Optimização da eficiência agronómica

O ditado 'só se pode gerir o que se pode medir' é pertinente no contexto do MIFS. Utilizamos o termo 'eficiência agronómica' (EA) para medir a quantidade de produtividade adicional obtida por quilograma (kg) de nutriente aplicado.

A eficiência agronómica é definida como retorno incremental aos factores de produção aplicados, ou:

$$\text{EA -X (kg grão/kg nutriente X)} = \text{EA-X} = \frac{Y_F - Y_C}{X_{apl}}$$

em que:

- Y_F e Y_C se referem aos rendimentos (em kg/ha) a seguir ao tratamento, onde os nutrientes foram aplicados (Y_F) e no terreno de controlo (Y_C).
- X_{apl} é a quantidade de nutriente X aplicado (kg de nutrientes por hectare) dos fertilizantes e dos materiais orgânicos.

Em outras palavras, a eficiência agronómica (EA) dos nutrientes aplicados é igual ao rendimento agrícola adicional

obtido com a aplicação de nutrientes (ou seja, o rendimento agrícola no tratamento com o fertilizante menos o rendimento agrícola no tratamento sem fertilizante) divididos pela quantidade de nutrientes aplicados (em quilogramas por hectare).

Note-se que utilizamos a noção de "quantidade de nutrientes" e não de "quantidade de fertilizante" aplicada no cálculo.

A definição do MIFS centra-se na maximização da eficiência agronómica (EA) de nutrientes do fertilizante e dos materiais orgânicos, uma vez que ambos são recursos escassos nas áreas onde é necessária a intensificação agrícola.

É importante ter em conta dois aspectos:

Primeiro, para um determinado valor de quantidades de nutrientes (F_{apl}) existe uma relação linear entre a eficiência agronómica (EA) e o rendimento agrícola (Figura 3.11).

Em outras palavras, para uma dada taxa de aplicação de nutrientes, um valor mais elevado da eficiência agronómica (EA) permite maiores rendimentos agrícolas. Por exemplo:

- Se Y_F for 3000 kg/ha, Y_C for 2000 kg/ha (ganho de produtividade de 1000 kg/ha), e a quantidade de nutrientes aplicado (F_{appl}) tiver sido de 50 kg/ha, EA é 20 kg grão/kg nutriente (ponto a, Figura 3.11).
- Se Y_F for 5000 kg/ha, Y_C for 2000 kg/ha (ganho de produtividade de 3000 kg/ha), e a quantidade de nutrientes aplicados tiver sido de 50 kg/ha, a eficiência agronómica (EA) é 60 kg grãos/kg nutriente (ponto b, Figura 3.11).
- Se Y_F for 7000 kg/ha, Y_C for 2000 kg/ha (ganho de produtividade de 5000 kg/ha), e a quantidade de nutrientes aplicados tiver sido de 50 kg/ha, a eficiência agronómica (EA) é de 100 kg grão/kg nutriente (ponto c, Figura 3.11).

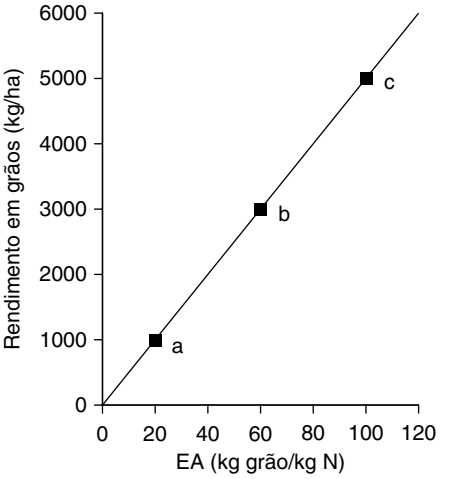


Figura 3.11 Relação entre a eficiência agronómica da utilização de N (EA-N) e o rendimento em grão para uma determinada dose de fertilizante aplicado (50 kg N/ha).

Existem muitas formas de aumentar a eficiência agronómica (EA) e produtividade se a para uma determinada taxa de aplicação do fertilizante se:

- Aplicar nutrientes de fertilizantes no momento certo (quando são necessários para maximizar o crescimento vegetativo e produtividade).
- Aplicar os fertilizantes no local appropriado (onde a planta possa ter acesso aos nutrientes permitindo uma maior absorção dos mesmos).
- Fasear o fertilizante por várias aplicações separadas, a fim de reduzir a quantidade de nutrientes perdida por lixiviação.
- Utilizar a densidade de plantação correcta de modo a que haja plantas suficientes que assegurem uma resposta máxima de aumento de produtividade mas não tantas que a concorrência entre estas leve a um declínio de produtividade.

Segundo, utilizamos o termo relação valor-custo (RVC) para fazer uma avaliação das questões económicas da aplicação do fertilizante, através da comparação do valor do rendimento *adicional* com o custo da aplicação dos factores de produção necessários para alcançar esse rendimento *adicional*:

$$\text{RVC} = \frac{\text{Produção adicional (kg)} \times \text{valor do produto (\$/kg)}}{\text{Nutrientes aplicados (kg)} \times \text{custo (kg)}}$$

A curva de resposta típica mostra uma resposta linear muito acentuada a menores taxas de aplicação do fertilizante (por exemplo, de 0–50 kg/ha) (Figura 3.12).

À medida que a taxa de aplicação de fertilizante aumenta de 50 para 250 kg N/ha a taxa de resposta diminui e atinge um limiar, neste caso a cerca de 6000 kg/ha.

Se utilizarmos a curva de resposta para calcular a eficiência agronómica (EA), podemos notar que neste exemplo existe uma fase inicial onde a eficiência agronómica (EA) é mantida num valor constante e máximo de cerca de 70 kg grão/kg N (Figura 3.12).

À medida que a curva da resposta se move para frente, o valor da eficiência agronómica (EA) diminui, atingindo um mínimo de 20 kg grão/kg N aplicado.

Em outras palavras, ao aplicar grandes quantidades de nutrientes, a eficiência agronómica (EA) é reduzida para valores baixos. Na agricultura de pequena escala na ASS, no entanto, a maioria dos agricultores aplica fertilizantes dentro da porção linear da função de resposta (ou seja, neste exemplo <100 kg N/ha) podendo, portanto, alcançar uma eficiência agronómica (EA) bastante elevada, desde que apliquem os princípios agronómicos relevantes no campo.

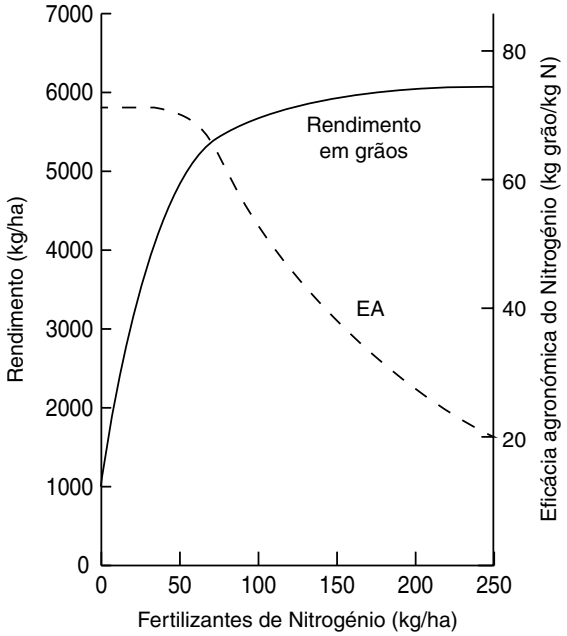


Figura 3.12 Diagrama que ilustra a relação conceptual entre a dose de aplicação de fertilizantes, rendimento e eficiência agronómica (AE).

3.3.7 Princípios agronómicos importantes

A abordagem do MIFS está baseada na utilização de práticas localmente ajustadas de gestão agrícola no sentido de obter o máximo retorno dos investimentos no germoplasma melhorado e nutrientes aplicados. A boa gestão da produção agrícola inclui uma escolha criteriosa das variedades adequadas à localização, a preparação adequada do solo, apropriado espaçamento de sementeira ou plantação, respeito pelas datas e cuidados de plantação, a gestão eficiente das infestantes, boas práticas de maneio das pragas e doenças e finalmente, a escolha adequada das culturas consociadas.

O índice: Razão de Área Equivalente (RAE)

Somos frequentemente confrontados com a questão de saber se é melhor o agricultor optar por produzir dois produtos vegetais em consociação ou se deve cultivar os mesmos separadamente. O índice Razão de Área Equivalente (RAE) é usado para avaliar a produtividade das culturas consociadas em comparação com a monocultura. O RAE é definido como a área de cada cultura cultivada em monocultura necessária para produzir o rendimento de 1 ha das mesmas culturas cultivadas em consociação.

A RAE é calculada como:

$$RAE = \left(\frac{Yi_i}{Ym_i} \right)$$

Onde:

- Yi_i é o rendimento de cada cultura ou variedade na consociação.
- Ym_i é o rendimento de cada cultura ou variedade na monocultura.

Uma RAE >1 significa que uma área maior é necessária para produzir o mesmo rendimento quando as culturas são plantadas como monoculturas em comparação com as culturas consociadas. Neste caso, as culturas consociadas permitem relativamente melhores rendimentos quando comparados com o desempenho das mesmas culturas nos sistemas onde são cultivadas em monocultura.

3.3.8 Princípios económicos importantes

Um modelo pode ser utilizado para explicar o impacto do MIFS na resposta aos nutrientes em termos de rendimento em grão e rentabilidade económica da cultura (Figura 3.13):

- A Resposta 1 e a Resposta 2 representam a resposta de rendimento em grão ao fertilizante de nitrogénio adicionado num campo agrícola. A Resposta 2 é maior do que a Resposta 1 por causa do efeito de outras componentes tecnológicas do MIFS na resposta ao fertilizante de N (por exemplo respeitando os prazos de aplicação e faseando de aplicação do fertilizante, bem como utilizando germoplasma com mais capacidade de resposta ao fertilizante).
- O agricultor pode mover-se do ponto A para o ponto B, através da adopção de factores que melhoram a resposta ao fertilizante de N (tais como aplicando o fertilizante nas épocas certas, e de forma faseada, utilizando germoplasma mais adequado á localização e com maior capacidade de resposta e melhorando as condições fitossanitárias das plantas).
- O agricultor pode aumentar o rendimento agrícola e a rentabilidade económica em cereais, através do aumento da taxa de aplicação de fertilizante de N, combinada com a sua aplicação de forma faseada nas épocas mais acertadas (isto é, mover-se do ponto B para o ponto C).
- O ponto F é o rendimento máximo agronómico e o ponto E é o rendimento máximo económico, este último determinado pela relação entre o preço do fertilizante N e o preço do grão, e pelo formato da curva de resposta.
- O agricultor pode aumentar o rendimento agrícola e a rentabilidade económica ao aumentar as taxas de aplicação do fertilizante N mas apenas até ao ponto de rendimento máximo económico (isto é, mover-se do ponto C para o ponto D), tendo contudo em consideração que, a partir desta fase, por cada aplicação incremental de fertilizante existe uma diminuição no retorno em quilogramas de produção e assim, esta subida para o máximo de rendimento económico pode ser vista por alguns agricultores como muito arriscada.
- Há uma variedade de utilizações do fertilizante em que a eficiência agronómica (EA) diminui mas ainda é aceitável, e os retornos económicos são positivos (por exemplo, entre o ponto B e D). A melhor posição para o agricultor entre esses pontos depende de uma variedade de factores específicos da exploração agrícola.
- Mover do ponto E para o ponto F não é económico porque o rendimento adicional em grão não é maior do que o custo do fertilizante adicional necessário para o obter!

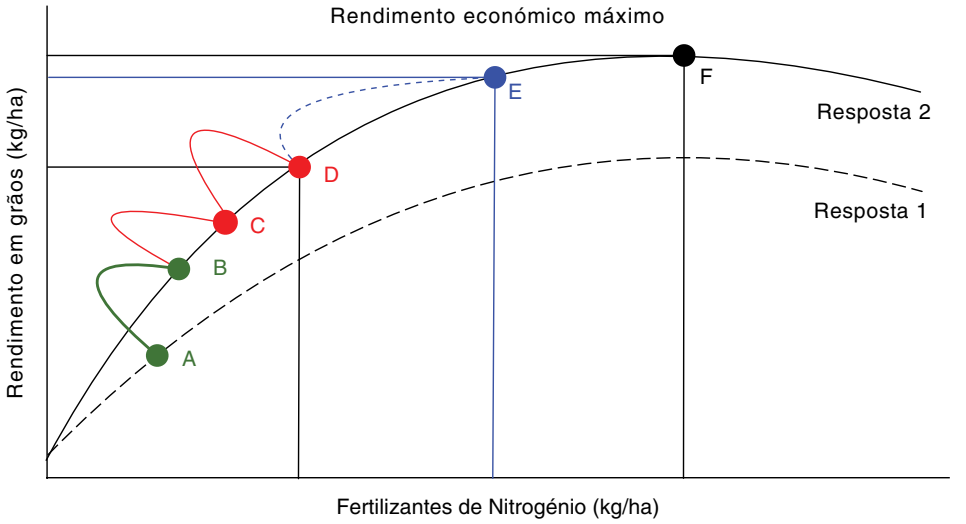


Figura 3.13 Relação entre a dose de aplicação de nitrogénio e o rendimento em grão.

3.4 Conclusões

O MIFS contribui para a sustentabilidade porque as suas práticas mantêm a fertilidade do solo ao:

- Centrar-se na utilização eficiente de nutrientes (medido como eficiência agronómica - EA);
- Minimizar a perda dos nutrientes naturalmente existentes e dos adicionados, através da utilização de técnicas apropriadas de conservação do solo; e
- Melhorar a fertilidade do solo por toda a exploração agrícola.

Nesta secção fez-se uma revisão da definição e dos princípios do MIFS.

O objectivo é fazer a transição de uma espiral descendente da fertilidade do solo e do rendimento das culturas (Figure 3.1) para uma espiral ascendente onde estes dois aspectos são melhorados através da utilização combinada dos materiais orgânicos e fertilizantes minerais (Figura 3.14).

Na próxima secção iremos discutir práticas concretas de maneio da fertilidade dos solos de forma detalhada

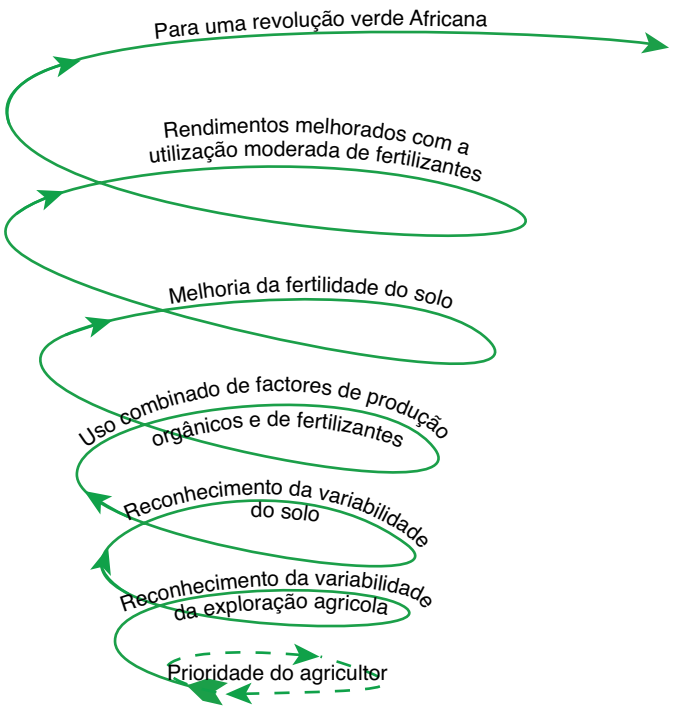


Figura 3.14 A espiral descendente da diminuição da fertilidade do solo apresentada na Figura 3.1 pode ser invertida pela implementação cuidadosa das componentes do MIFS.

3.5 Bibliografia

Lista de referências bibliográficas actuais de leitura recomendada. Cada citação é seguida de comentários e explicações sobre a obra em *itálico*. Se a fonte estiver disponível online, é proporcionada uma hiperligação.

Africa Union (2006) Abuja Declaration on Fertilizer for an African Green Revolution. Africa Union, Addis Ababa. Retrieved August 2012 from http://www.nepad.org/foodsecurity/knowledge/doc/1815/abuja-declaration-fertilizer-african-green-revolution.

A Declaração de Abuja está disponível online.

Bationo, A. (2008) *Integrated Soil Fertility Management Options for Agricultural Intensification in the -Sudano-Sahelian Zone of West Africa*. Academy Science publishers, Nairobi.

Um livro sobre o maneio integrado da fertilidade do solo na zona sudano-saheliana na África Ocidental.

Bationo, A., Waswa, B., Okeyo, J., Maina, F. and Kihara, J. (eds) (2011) *Inovations as Key to the Green Revolution in Africa – Exploring the Scientific Facts*. Springer, Dordrecht, 1363 pp.

Documentos de um simpósio que incidiu na avaliação do potencial e viabilidade do uso de factores de produção externos para a melhoria dos solo como parte de uma a gestão adequada da produção agrícola em direção a uma Revolução Verde Africana.

Bationo, A., Waswa, B., Okeyo, J., Maina, F., Kihara, J. and Mokwunze, U. (eds) (2011) *Fighting Poverty in Sub-Saharan Agriculture: the Multiple Roles of Legumes in Integrated Soil Fertility Management*. Springer, Heidelberg, 246 pp.

Uma colecção de documentos sobre os papéis múltiplos das leguminosas no maneio integrado da fertilidade do solo.

Dudal, R. (2002) Forty years of soil fertility work in sub-Saharan Africa. In: Vanlauwe, B., Diels, J., Sanginga, N. and Merckx, R. (eds) *Integrated Plant Nutrient Management in sub-Saharan Africa: From Concept to Practice*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 7–21.

Este artigo apresenta uma visão histórica da pesquisa da fertilidade do solo na África Subsariana.

Giller, K.E., Rowe, E., de Ridder, N. and van Keulen, H. (2006) Resource use dynamics and interactions in the tropics: scaling up in space and time. *Agricultural Systems* 88, 8–27.

Este artigo apresenta e discute as interacções entre as condições de fertilidade do solo e a eficiência da utilização dos recursos, incluindo a atenção prestada aos gradientes da fertilidade do solo e aos solos degradados com baixa capacidade de resposta.

Lövenstein, H., Lantinga, E., Rabbinge, R. and van Keulen, H. (1995) Principles of production ecology: text for course F300-001. 121. Department of Theoretical Production Ecology, Wageningen Agricultural University, Wageningen. Retrieved August 2012 from http://www.pame.wur.nl.

Os princípios da ecologia de produção são explicados em detalhe neste curso de bacharelato disponível na Internet..

Tian, G., Ishida, F., Keatinge, D., Carsky, R. and Wendt, J. (eds) (2000) *Sustaining Soil Fertility in Africa*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 321 pp.

Uma colecção dos documentos sobre o maneio da fertilidade do solo na África Ocidental.

Tittonell, P. and Giller, K.E. (2012) When yield gaps are poverty traps: the paradigm of ecological intensification in African smallholder agriculture. *Field Crop Research* (in press).

A figura 3.9 é apresentada e discutida neste artigo.

Tittonell, P., Zingore, S., van Wijk, M.T., Corbeels, M.C. and Giller, K.E. (2007) Nutrient use efficiencies and crop responses to N, P and manure applications in Zimbabwean soils: exploring management strategies across soil fertility gradients. *Field Crops Research* 100, 348–368.

Em conjunto com Zingore et al. (2007) este documento aborda a origem dos gradientes da fertilidade do solo e a forma como afectam a eficiência agronómica dos fertilizantes e dos estrumes orgânicos.

Tittonell, P., Vanlauwe, B., Corbeels, M. and Giller, K.E. (2008) Yield gaps, nutrient use efficiencies and response to fertilisers by maize across heterogeneous smallholder farms of western Kenya. *Plant and Soil* 313, 19–37.

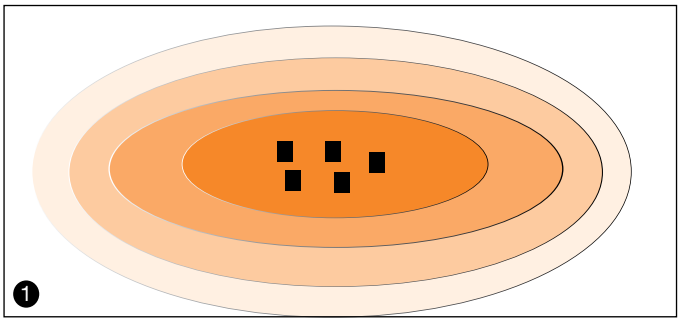
Este documento destaca as interacções entre os gradientes da fertilidade do solo, gestão da produção agrícola e eficiência da utilização agronómica de nutrientes no milho, conforme indicado na Figura 3.8.

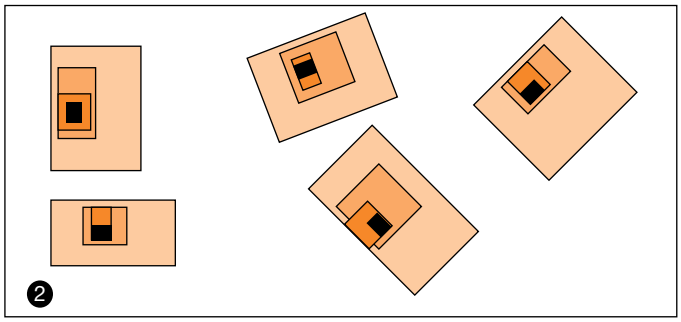
Vanlauwe, B., Bationo, A., Chianu, J., Giller, K.E., Merckx, R., Mokwunye, U., Ohiokpehai, O., Pypers, P., Tabo, R., Shepherd, K., Smaling, E.M.A. and Woomer, P.L. (2010) Integrated soil fertility management: operational definition and consequences for implementation and dissemination. *Outlook on Agriculture* 39, 17–24.

Além de definir o MIFS, este artigo explica os seus principais conceitos base e constitui a fonte das Figuras 3.3 e 3.4.

Zingore, S., Murwira, H.K., Delve, R.J. and Giller, K.E. (2007) Soil type, historical management and current resource allocation: three dimensions regulating variability of maize yields and nutrient use efficiencies on African smallholder farms. *Field Crops Research* 101, 296–305.

Fonte da Figura 3.10 e juntamente com Tittonell et al. (2007) este documento aborda a origem dos gradientes da fertilidade do solo e a forma como afectam a eficiência agronómica dos fertilizantes e estrumes orgânicos.





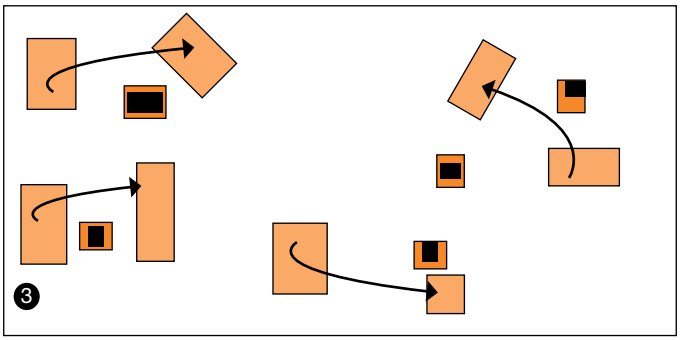


Foto 3.1 Os campos agrícolas na ASS são geralmente heterogéneos em termos da fertilidade do solo, porém o padrão de distribuição do solo varia largamente. No *sistema de anéis concêntricos* (1), a fertilidade do solo diminui à medida que a distância à aldeia aumenta. No *sistema* de produção *agrícola de parcelas agregadas* (2) cada agricultor possui campos contiguos onde a fertilidade do solo é gradualmente menor dos '*campos de dentro*'para os '*campos de fora*'. No *sistemas de lotes* em rotação (3), a fertilidade do solo está mais relacionada com o momento em que uma determinada parcela é sujeita a uma dada etapa de rotação cultural.

Foto 3.2 Em geral, podemos identificar três classes de solos em explorações agrícolas em termos de resposta aos fertilizantes minerais – solos com 'grande capacidade de resposta', com 'baixa capacidade de resposta' e com 'capacidade de resposta nula'. Os "campos de dentro" têm normalmente "baixa capacidade de resposta' porque, no passado, beneficiaram da aplicação de resíduos domésticos, resíduos das culturas e excrementos de animais. Nesta exploração agrícola, a oeste do Quénia, contudo, os "campos de dentro" (1) reagiram bem aos fertilizantes minerais enquanto os "campos de fora" (2) apresentaram uma menor capacidade de resposta, em parte devido aos problemas com a infestante "grama".

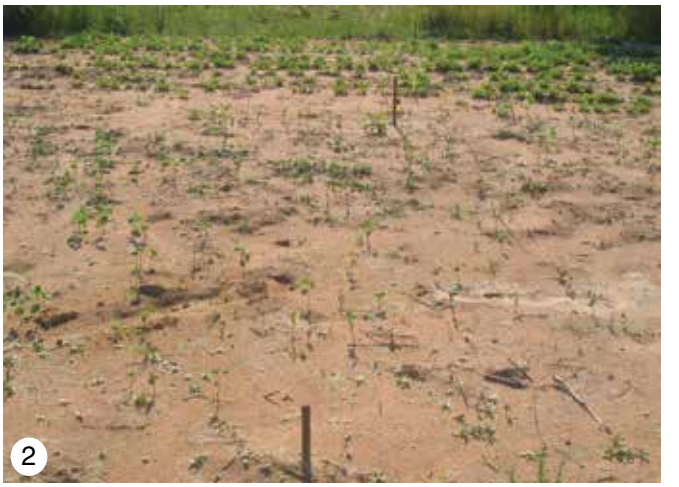
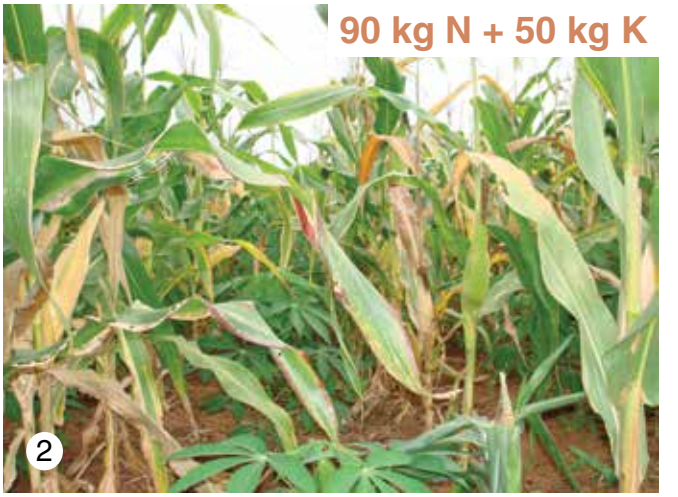


Foto 3.3 Fraca resposta do milho (1) e das leguminosas (2) aos fertilizantes nos solos degradados. Grandes quantidades de resíduos orgânicos devem ser aplicadas antes que se possa obter uma resposta significativa destes solos ao fertilizante.



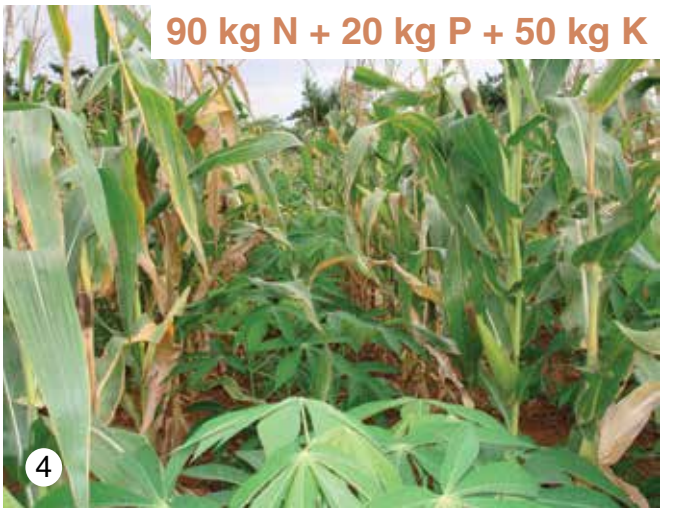


Foto 3.4 Uma demonstração de campo para demonstrar o efeito de diferentes combinações do fertilizante de N, P e K no milho cultivado em consociação com a mandioca. Com a adição do fertilizante de P e K mas sem o fertilizante N (1) as plantas são pequenas e as folhas apresentam uma cor verde pálida ou amarelada. Adicionados o fertilizante de N e K mas sem o fertilizante de P (2) as plantas são maiores, porém os sintomas de deficiência de P são evidentes. Adicionados o N e o P mas sem o fertilizante de K (3) as plantas apresentam sintomas de deficiência de K. Quando os fertilizantes de N, P e K são aplicados conjuntamente, o crescimento do milho e da mandioca é melhor do que o obtido em cada um dos três tratamentos, o que sugere que todos os três nutrientes são necessários para optimizar o rendimento.

4 Práticas de maneio da fertilidade dos solos

Publicado por Africa Soil Health Consortium

4.1 Introdução

Nesta secção analisamos em detalhe: (i) o uso fertilizantes orgânicos e minerais, (ii) como calcular a eficiência do uso de fertilizantes; (iii) como aplicar os fertilizantes eficazmente e minimizar a perda de nutrientes; (iv) a importância do uso de germoplasma melhorado mais adaptado; (v) como aproveitar o benefício da fixação de N_2 das leguminosas; e (iv) os benefícios dos fungos micorrízicos. Também fazemos uma revisão sobre a agricultura de conservação (AC) e agricultura biológica e discutimos a necessidade de adoptar tecnologias que atendam às necessidades específicas das explorações agrícolas. Por fim, realçamos a necessidade da análise económica para determinar se as estratégias de MIFS proporcionam benefícios económicos aos agricultores.

4.2 Uso de materiais orgânicos

Os materiais orgânicos usados no maneio da fertilidade dos solos consistem geralmente de estrume animal (estrume de estábulo), resíduos de culturas, resíduos florestais, resíduos orgânicos domésticos, materiais vegetais compostados (composto) e qualquer biomassa vegetal colhida dentro ou fora do ambiente das explorações agrícolas adicionados ao solo com o objectivo de melhorar a sua produtividade. Nas áreas urbanas e peri-urbanas, os materiais orgânicos também podem ter por base os resíduos orgânicos industriais e lama de esgoto.

Os materiais orgânicos têm múltiplas funções no solo que vão desde da sua influência na disponibilidade de nutrientes até à modificação do ambiente do solo em que as plantas crescem. Os materiais orgânicos derivados de resíduos de plantações, fornecem a maior parte dos nutrientes, mas geralmente em quantidades insuficientes. Devido à sua riqueza em carbono, os materiais orgânicos fornecem uma fonte de energia para os microrganismos do solo que desempenham vários processos biológicos dos solos, melhorando a conversão de nutrientes e outros parâmetros de qualidade de solo.

Estes materiais orgânicos são submetidos ao processo de decomposição (ou mineralização) no solo, contribuindo assim para a formação da matéria orgânica do solo (MOS), que é geralmente considerada a espinha dorsal da fertilidade do solo. A maioria dos impactos duradouros dos materias orgânicos nos solos está relacionada com as funções da MOS. Durante a decomposição, o material orgânico interage com os minerais do solo formando substancias complexas que influenciam na disponibilidade de nutrientes (por exemplo, a adsorção de substâncias químicas tóxicas como alumínio ou levando a uma melhor disponibilidade do fósforo, quimicamente ligado aos componentes minerais do solo.

4.2.1 Materiais orgânicos como fontes de nutrientes

O papel dos materiais orgânicos como fonte de nutrientes, é sustentado por processos biológicos de decomposição, que envolvem a desagregação bioquímica de tecido orgânico morto nas suas formas inorgânicas constituintes, principalmente pela accão dos microrganismos. O processo pelo qual, nutrientes nas formas orgânicas indisponíveis são convertidos nas suas formas inorgânicas tornando-se disponíveis às plantas, é conhecido como mineralização. É durante a decomposição de materiais orgânicos nos solos que a MOS é formada e os nutrientes são libertados. Pode-se, por conseguinte, dizer que a MOS é constituída de materiais orgânicos de origem diversa em vários estágios de decomposição pela acção dos microrganismos do solo.

Os microrganismos do solo também crescem, multiplicam e morrem durante o processo de decomposição, contribuindo eles próprios para as mudanças dinâmicas ocorridas na formação da MOS e mineralização (libertação de nutrientes). As quantidades da MOS formadas bem como as quantidades de nutrientes libertadas, dependem da quantidade e frequência da adição de materiais orgânicos ao solo.

Sob vegetação natural intacta como florestas ou pastagens permanentes, há geralmente um equilíbrio entre materiais orgânicos adicionados ao solo na forma de restos de plantas e o estado da MOS, porque os nutrientes estão reciclados “sem fugas” e não são removidos durante a colheita de produtos agrícolas. Quando o solo é

usado para o cultivo, porém, a taxa de formação da MOS e a libertação dos nutrientes é menor do que a exigência de nutrientes pelas culturas, particularmente quando os agricultores visam rendimentos comerciais. É necessário um esforço adicional para adicionar mais materiais orgânicos ao solo, o que pode justificar o uso de fertilizantes minerais a fim aumentar a produção de materiais orgânicos a utilizar posteriormente na produção agrícola.

A matéria orgânica do solo é uma fonte significativa de Nitrogénio (N), Fósforo (P) e Enxofre (S) para a produção de culturas. O fornecimento destes nutrientes pela MOS está dependente de uma série de factores, incluindo:

- A quantidade e a frequência com que os materiais orgânicos são adicionados ao solo;
- A qualidade desses materiais orgânicos; e
- o efeito do tipo de solo (isto é, textura e mineralogia) e das condições ambientais (principalmente humidade e temperatura) que proporcionam o ambiente em que os processos de decomposição e mineralização ocorrem.

Embora as condições ambientais tenham uma influência significativa na taxa de actividade dos microrganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica, um outro factor chave é a composição química ou "qualidade" dos materiais orgânicos. Os microorganismos do solo (micróbios) consomem Carbono (C) como fonte de energia e Nitrogénio (N) para síntese de proteínas e crescimento da população. O rácio entre estes dois elementos químicos num dado material orgânico, designado rácio de C:N, determina a taxa de mineralização.

Como regra geral, os materiais orgânicos com um teor de N > 2,5% ou um rácio de C:N < 16 libertam nutrientes a curto prazo, permitindo um rápido fornecimento de nutrientes para o crescimento das culturas na mesma temporada, com a libertação de nutrientes atingindo o seu máximo após 3 semanas de incorporação no solo. A maioria dos materiais orgânicos que contém elevadas quantidades de Nitrogénio, tais como a biomassa de leguminosas fixadoras de N_2 com conteúdos de N ≥2 % nos tecidos, e resíduos da compostagem das culturas são abrangidos nesta categoria.

Por outro lado, materiais orgânicos com um teor de N <2,5% ou rácio de C:N> 16 imobilizam (literalmente detêm) nutrientes por períodos prolongados. Isto efectivamente significa que, quando um material orgânico com um valor elevado de rácio C:N, como a palhada, é adicionado ao solo, este imobilizará o N por um longo período de tempo dado que os microorganismos do solo vençem as plantas no uso de N, inibindo o crescimento das mesmas e consumindo o escasso N proveniente da decomposição da matéria orgânica do solo para a produção do seu próprio tecido.

Isto explica por que a incorporação de resíduos de milho no solo, muitas vezes causa a insuficiência de N a menos que uma quantidade suficiente de fertilizante seja adicionada para complementar o fornecimento de N. A maioria dos resíduos de cereais (milho, trigo, sorgo e arroz), resíduos florestais e estrume animal enquadra-se nesta categoria.

Polifenóis (taninos) e lenhina são os outros dois principais componentes químicos dos materiais orgânicos que influenciam a libertação de nutrientes durante a decomposição, quando presentes em grandes quantidades. A mineralização do N a partir de materiais organicos que contêm grandes quantidades de polifenóis e de lenhina, ocorre muito lentamente. Alguns grupos de polifenóis formam ligações irreversíveis ao Nitrogénio. A lenhina é a principal componente da madeira - uma estrutura complexa de carbono de difícil decomposição para os microrganismos.

Usando estes parâmetros químicos de qualidade, é portanto possível classificar os materiais orgânicos numa escala de acordo com a facilidade com que se mineralizam e libertam nutrientes para absorção pelas plantas em crescimento. Após a análise laboratórial, um simples diagrama de apoio á decisão poderá ser usado para classificar materiais organicos com base no seu teor de N e lenhina/ polifenóis (Figura 4.1). Quando a análise laboratorial não é possível, um método mais simples baseia-se na cor, teor das fibras e sabor dos materiais orgânicos (Figura 4.2).

4.2.2 O papel da matéria orgânica na fertilidade do solo

Pelo fornecimento directo de formas disponíveis de C, que estimulam a actividade biológica do solo e contribuem para a formação da MOS, os materiais orgânicos também influenciam as propriedades químicas e físicas do solo.

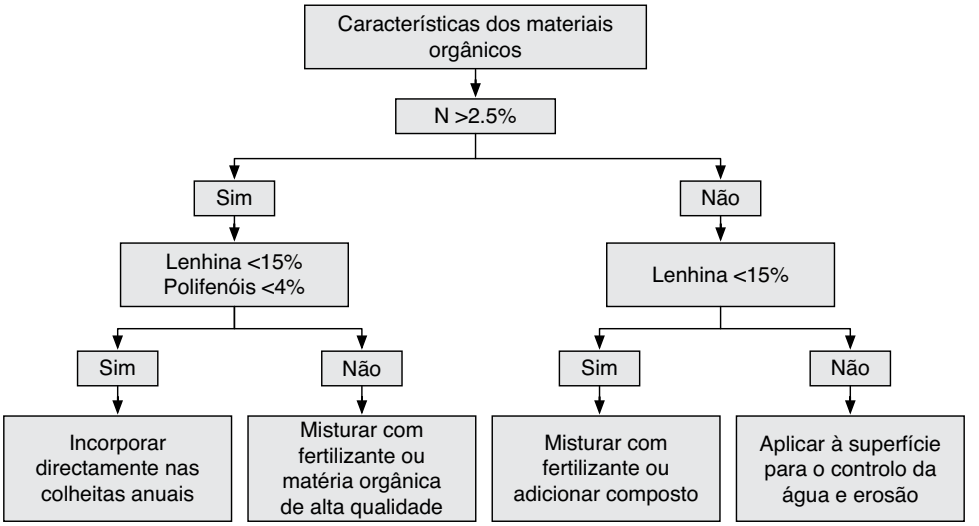


Figura 4.1 Uma chave de decisão para auxiliar na gestão de recursos orgânicos na agricultura

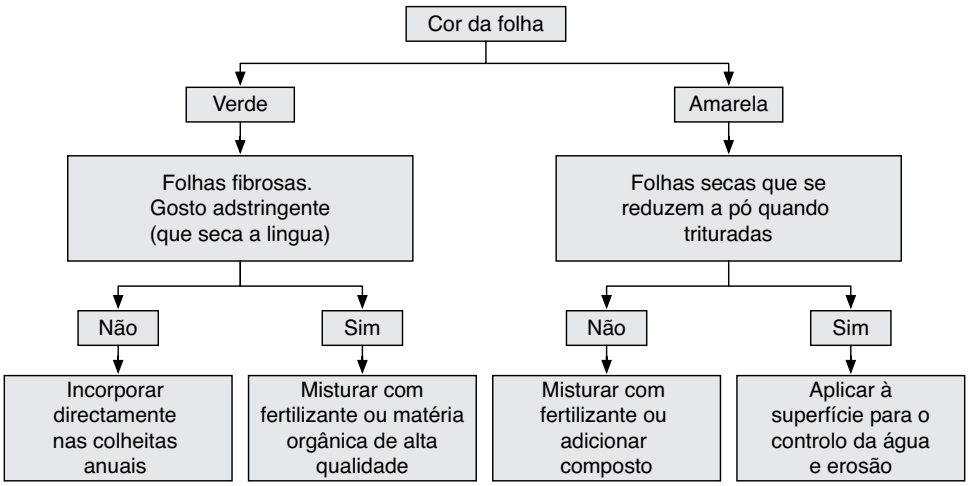


Figura 4.2 Uma versão do diagrama Figura 4.1 de fácil utilização pelo agricultor para o ajudar na tomada de decisão.

As funções da MOS na melhoria da produtividade do solo incluem:

- Regulação das taxas e quantidades de nutrientes libertados para absorção das plantas nos solos;
- Melhoria da taxa de infiltração de água no solo e da capacidade de retenção da água;
- Aumento da capacidade de troca catiónica, ou a capacidade do solo para armazenar nutrientes;
- Aumento da agregação do solo (as partículas de MOS actuam como agentes de adsorcão), melhorando a estrutura do solo, reduzindo a densidade e promovendo um bom arejamento;
- Permitindo a fixação de elementos tóxicos nos solos, minimizando os seus impactos no crescimento das plantas.

4.2.3 Vantagens e desvantagens dos materiais orgânicos

Os materiais orgânicos têm várias vantagens no maneio da fertilidade dos solos. Além de proporcionarem os nutrientes para as plantas, também contribuem directamente para a construção da MOS e seus benefícios associados. Os nutrientes são libertados lentamente a partir dos materiais orgânicos, em comparação com

fertilizantes minerais (inorgânicos), e proporcionam um fornecimento contínuo de nutrientes durante a estação do cultivo. As perdas de nutrientes (por exemplo, por lixiviação), são pequenas, desde que as culturas se estejam a desenvolver bem criando uma procura suficiente pelos nutrientes libertados. Os materiais orgânicos modificam o ambiente do solo, melhorando directamente as suas propriedades biológicas o que leva frequentemente a um aumento da produtividade geral do solo.

A principal desvantagem dos materiais orgânicos é o seu teor relativamente baixo em nutrientes. Por exemplo, a maior parte dos materiais orgânicos usados nas explorações agrícolas contêm 0.5–2.5% de N, o mesmo que 5–25g de N/kg, em comparação com >100–460g de N/kg, contido nos fertilizantes minerais. Os materiais orgânicos são, portanto, necessários em grandes quantidades a fim de fornecer quantidades significativas de nutrientes para o crescimento das culturas. Por exemplo, cerca de 2000kg de matéria seca de biomassa de leguminosa de alta qualidade fornecerá cerca de 50kg de N suficiente para a produção de cerca de 1t de grão de milho. A mesma quantidade de N pode ser fornecida por cerca de 90 kg ou dois sacos de fertilizante de ureia.

Porém, tais quantidades elevadas de biomassa nem sempre são fáceis de encontrar em exploração agrícolas de pequenos agricultores de recursos limitados. Por um lado, é preciso um solo razoavelmente fértil para crescer grandes quantidades de biomassa, mesmo que seja de leguminosas relativamente tolerantes ao stress. Mais ainda, o agricultor pode ser confrontado com a escolha entre manter os resíduos das colheitas no campo para melhoraria da fertilidade do solo e a remoção desses resíduos para fornecer forragem para o gado ou para venda. O agricultor pode estar bem consciente que a remoção de resíduos das colheitas priva o solo da reposição de nutrientes, mas ao mesmo tempo, dá prioridade à forragem para o gado, que fornecem um meio de acumular bens de valor que podem ser convertidos posteriormente em dinheiro de forma mais imediata.

O manuseamento dos materiais orgânicos na exploração agrícola também exige investimentos substanciais na mão-de-obra para o transporte e aplicação no campo. A adubação verde de biomassa pode ser produzida no próprio solo onde vai ser incorporada, mas isso pode envolver investimentos em fertilizantes minerais em terras que por outro lado, poderiam ser usadas para o crescimento de culturas para consumo próprio ou para venda. Essas práticas só são possíveis quando os retornos do sistema de cultivo, em que se faz aplicação de materiais orgânicos, são muito elevados.

Deve-se realçar que os materiais orgânicos também podem aumentar a actividade de pragas de insectos e outros organismos do solo poderão revelar-se prejudiciais para o crescimento das culturas, podendo trazer custos adicionais no controlo de doenças e pragas.

4.3 Uso de fertilizantes minerais

O fertilizante é um material que contém pelo menos um dos nutrientes da nutrição vegetal em forma química, solúvel na fase de solução do solo e "disponível" para a absorção pelas raízes das plantas. Alguns fertilizantes, tais como ureia, cloreto de potássio (KCl) e fosfato de diamónio (FDA) são completamente solúveis em água, enquanto outros como rocha fosfatada e dolomite são apenas parcialmente solúveis sendo a libertação destes nutrientes lenta, ocorrendo ao longo de vários meses ou anos.O objectivo do uso de fertilizantes é fornecer nutrientes para as culturas. Como guia, os materiais fertilizantes devem conter pelo menos 5% de um ou mais dos nutrientes essenciais numa forma imediatamente disponível. O teor de nutrientes deverá estar sempre indicado no rótulo do saco. O teor em Fósforo (P), Potássio (K) e Magnésio (Mg) é expresso sob a forma de óxido, isto é, P_2O_5, K_2O e MgO. Os elementos secundários e micronutrientes são frequentemente incluídos em fertilizantes compostos.

4.3.1 Fertilizantes

A maioria dos nutrientes mais importantes, quer macro ou micro, pode ser obtida de produtos fertilizantes. O fertilizante de fundo ou de "arranque" é aplicado na plantação, geralmente seguido por uma segunda aplicação de N (referida como de "cobertura") numa fase posterior da estação de crescimento. Os fertilizantes de fundo contêm nutrientes (por exemplo, N, P, K, Mg) necessários para as fases iniciais do crescimento das culturas e outros nutrientes que não são facilmente lixiviados.

Fertilizante N

É importante recordar que o N usado pelas culturas é, em última análise, derivado do N atmosférico. Enquanto as culturas leguminosas convertem o N_2 atmosférico em mineral N por meio da fixação biológica, o fertilizante sintético N é produzido pela conversão de N_2 atmosférico, em amónia (NH_3), utilizando o processo industrial de Haber-Bosch que utiliza o gás natural como fonte de energia.

O N fertilizante mais comum é a ureia, mas as misturas NPKs são muitas vezes utilizadas como a fonte de N na aplicação de fertilizantes de fundo. Outros fertilizantes N incluem amónia anidra, nitrato de amónio e cálcio, nitrato de amónio e sulfato de amónio.

O nitrato (NO_3^-) e o amónio(NH_4^+) são as principais fontes N fornecidas pelos fertilizantes e disponíbilizadas para absorção pelas plantas. Os aniões nitrato estão directamente disponíveis para as plantas, mas também são facilmente lixiviados para fora da zona da raiz. O amónio pode ser absorvido directamente pelas plantas ou oxidado em nitrito por um processo denominado nitrificação e em seguida transformado em nitratos por microrganismos nitrificantes.

O processo de nitrificação resulta na libertação de íões de hidrogénio (H^+), que levam à acidificação do solo. Se todos os iões nitratos produzidos através de nitrificação fossem absorvidos pelas raízes das plantas, a excreção de OH^- pelas plantas neutralizaria os iões de hidrogénio. Contudo, em geral, apenas uma fracção de nitrato total produzido é absorvido pelas raízes das plantas.

Fertilizante P

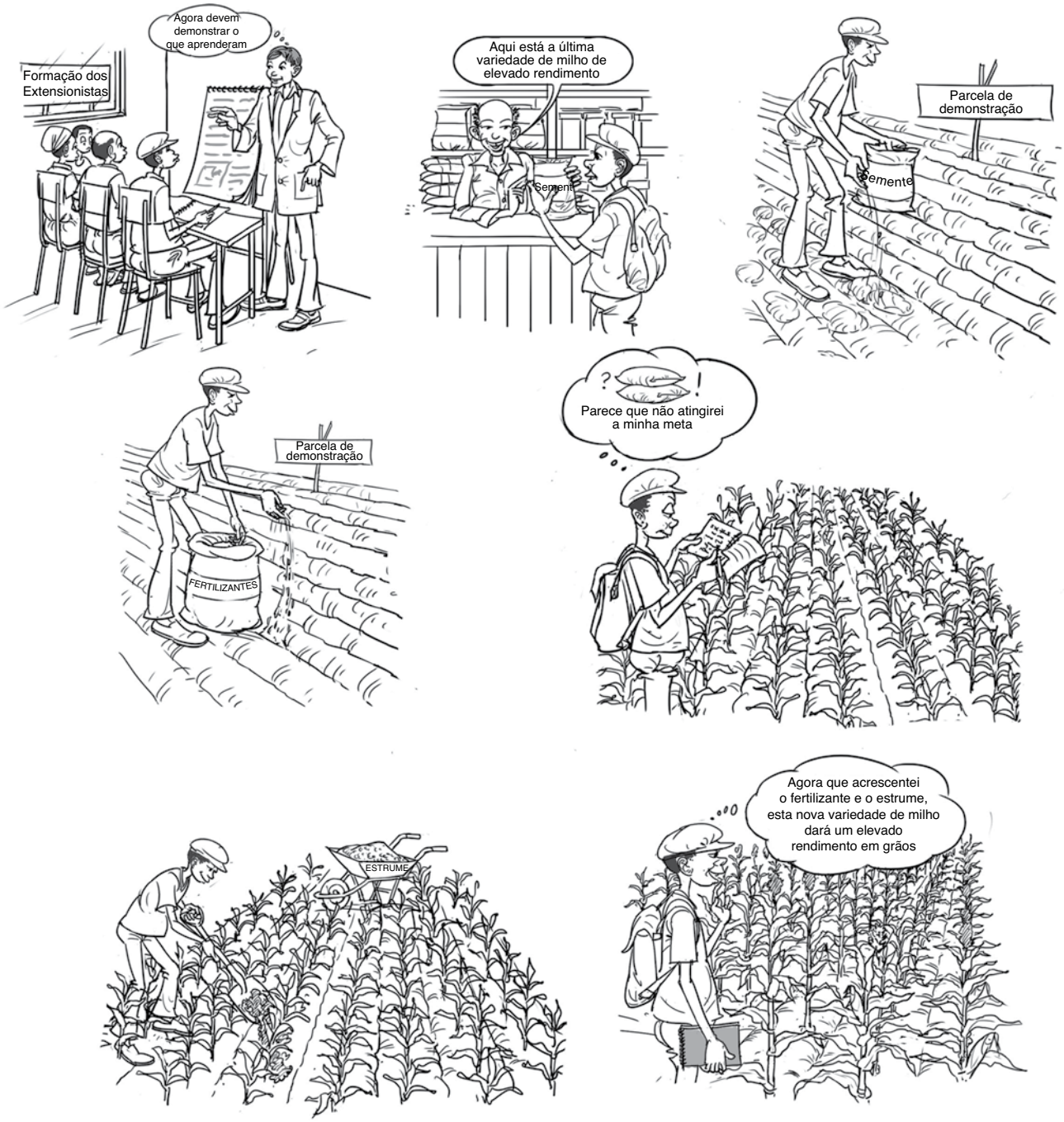
Todo o fertilizante de fósforo é derivado de rochas fosfatadas com origem em depósitos sedimentares ou ígneos. A rocha fosfatada (RF) de origem sedimentar é geralmente mais reactiva com o solo do que RF de origem ígnea e é, portanto, mais adequada para aplicação directa, desde que seja triturada em partículas pequenas, de modo a aumentar a área de superfície de reacção com o solo e fornecer P para absorção pelas plantas. As rochas fosfatadas são altamente variáveis, tanto no teor como no grau de disponibilidade de P.

Existem várias desvantagens ao uso da RF em aplicação directa:

- A RF tem um teor de P relativamente baixo em comparação com a maioria dos fertilizantes produzidos, o que aumenta os custos de transporte e mão-de-obra na aplicação.
- O pó muito fino, que deve ser utilizado para assegurar solubilidade suficiente, pode ser difícil de manusear e aplicar (algumas RF, como por exemplo a Minjingu, estão disponíveis na forma de granulado).
- O solo tem de ser suficientemente ácido (geralmente pH <5,5) para proporcionar uma reacção com o RF e libertar P para a absorção das plantas.
- A taxa de libertação de P pela RF pode ser demasiado lenta para satisfazer a necessidade das culturas. A RF é uma boa fonte de P para as culturas perenes e arbóreas, onde uma lenta e contínua libertação de P é necessária a longo prazo. A RF tem sido também usada para repor as reservas de P nos solos degradados. No entanto, na maioria dos sistemas de cultivo, os fertilizantes P solúveis, como o superfosfato triplo (TSP) e DAP são mais adequados para a produção de culturas anuais.

O teor total de P_2O_5 na RF, é de uso limitado como medida da quantidade de P que poderá ser disponibilizado para absorção das plantas. Em vez disso, é mais útil medir a quantidade P solúvel nas formas de ácido cítrico e ácido fórmico, bem como a dimensão das particulas que também afecta a taxa de fornecimento de P pelo material (Quadro 7.39).

Em geral, a RF derivada das rochas sedimentares é mais solúvel e fornece melhor o P do que a RF derivada de fontes ígneas. Embora a RF seja por vezes utilizada em aplicação directa, é mais habitualmente utilizada como matéria-prima para o fabrico de fertilizantes solúveis de P. No processo de produção, a RF é submetida a uma reacção com ácido sulfúrico ou fosfórico para produzir fertilizantes comerciais que contêm uma grande quantidade de P disponível para as culturas. A RF geralmente contém cerca de 32% de P_2O_5, enquanto que fertilizantes de P tais como TSP contém 46% de P_2O_5 e superfosfato simples (SSP) contém 20% de P_2O_5. Enquanto a RF é pouco solúvel, os fertilizantes de P fabricados são totalmente solúveis no solo.



Fertilizante K

Todo o fertilizante de potássio é fabricado a partir de grandes depósitos de minerais de K solúvel, que se acumularam como resultado da evaporação de mares pouco profundos ou lagos naturais ao longo do tempo geológico. Os sais de K mais amplamente usados para a produção de fertilizantes agrícolas são os sais duplos, que também contêm quantidades significativas de Mg e S. Os fertilizantes K mais comuns no mercado são o cloreto de potássio (KCl) que contém 60% de K_2O e o sulfato de potássio (K_2SO_4) que contém 50% de K_2O.

O sulfato de potássio é geralmente mais dispendioso do que o cloreto de potássio, mas é mais adequado para uso em culturas de elevado valor acrescentado, onde o conteúdo de açúcar é importante (ananás, cana de açúcar, fruteiras) e de tabaco onde o conteúdo em cloro deve ser minimizado.

Fertilizantes multinutrientes

Os fertilizantes multinutrientes podem ser divididos em três tipos:

- **Os fertilizantes complexos** são concebidos para uso em horticultura, onde são necessários fertilizantes de alta qualidade. São geralmente muito dispendiosos para uso em agricultura de pequena escala em ASS.
- **Os fertilizantes compostos** são fabricados através da mistura compatível de fertilizantes simples, para produzir uma lama a partir da qual um produto granulado é preparado. Adubos compostos são menos caros para produzir do que fertilizantes complexos.
- **Mistura de adubos a granel** são preparados por uma mistura mecânica de diferentes fertilizantes para alcançar uma composição específica de nutrientes. Uma mistura de adubos a granel tem menor custo de produção que um fertilizante composto.

O fertilizante composto e a mistura a granel são frequentemente produzidos com teor de nutrientes adequados para determinadas culturas, como 8-14-7 (milho), 5-18-10 (algodão) e 5-7-15 (tabaco) (Tabela 7.33). Outros tipos de composições de misturas a granel e fertilizantes compostos (por exemplo, 15-15-15, 12-12-17+2, 4 15-15-6) estão disponíveis no mercado e podem ser utilizados para uma grande variedade de culturas.

É importante comparar o custo dos fertilizantes de diferentes origens. Os fertilizantes multinutricionais são geralmente mais dispendiosos do que os fertilizantes simples em termos de dólares por quilograma de nutrientes devido aos custos de fabrico envolvidos. Misturas a granel são de forma geral, apenas ligeiramente mais dispendiosas do que os adubos simples, porque o processo de mistura é relativamente barato. Misturas a granel sofrem separação dos seus componentes durante o transporte e podem necessitar de mistura antes da aplicação.

Alguns fabricantes comercializam os fertilizantes em pequenos sacos (25 kg / saco ou menos) que poderão ser mais convenientes para os pequenos agricultores do que o tamanho normal de 50 kg.

Exemplo prático

É sempre vantajoso comparar o custo do fertilizante composto com o custo dos fertilizantes simples constituintes.

Um agricultor quer comparar o custo de aplicação de nutrientes em forma de fertilizante composto (15-10-12) com aplicação em forma de adubos simples (ureia, SPT e KCl). O conteúdo em nutriente e o custo dos fertilizantes pode ser visto na tabela 4.1.

Primeiro calculamos quanto custam os nutrientes N, P_2O_5 e K_2O que estão contidos num saco de 50 Kg de composto (15-10-12):

- Um saco de 50 Kg de composto de 15-10-12 contém 7.5Kg de N, 5 kg P_2O_5 e 6 kg de K_2O.

Para fornecer a mesma quantidade de nutrientes como adubos simples precisamos de aplicar:

Ureia (Nitrogénio)

- Composto de 50 kg (15-10-12) x 15% N = 7.5 kg N
- 7.5 kg N ÷ 46% N de ureia = 16.3 kg ureia

SPT (fósforo)

Tabela 4.1 Teor de nutriente e o custo de fertilizantes disponível no mercado.

Fertilizante	Teor de nutriente (%)			Preço ($/50 kg saco)
	N	P_2O_5	K_2O	
Composto 15-10-12	15	10	12	32
Ureia (46% N)	46	–	–	17
SPT (46% P_2O_5)	–	46	–	22
KCl (60% K_2O)	–	–	60	30

- 50 kg de mistura (15-10-12) x 10% P_2O_5 = 5 kg P_2O_5
- 5 kg P_2O_5 ÷ 46% P_2O_5 in TSP = 10.9 kg SPT

KCl (potássio)

- 50 kg mistura (15-10-12) x 12% K_2O = 6 kg K_2O
- 6 kg K_2O ÷ 60% K_2O in KCl = 10 kg KCl

Agora, podemos calcular o custo:

- Um saco 50 kg de composto (15-10-12) custa $32
- Um saco de 50 kg de ureia custa $17, então, 1 kg custa 17 ÷ 50 = $0.34 e 16.3 kg custa 16.3 kg x $0.34= $5.54.
- Um saco de 50 kg de TSP custa $22, então, 1 kg custa 22 ÷ 50 = $0.44 e 10.9 kg custa 10.9 kg x $0.44 = $4.78.
- Um saco de 50 kg de KCl custa $30, então, 1 kg custa 30 ÷ 50 = $0.60 e 10.0 kg custa 10.0 kg x $0.60 = $6.00.

O custo total de adubos simples = $ 5,54 + $ 4,78 + $ 6,00 = $ 16,32.

O custo de nutrientes equivalente a um saco de mistura de fertilizante mas na forma de adubos simples é $16,32, uma economia de $15,68. É importante também notar que a quantidade total de adubo simples requerido neste exemplo é de 37,2 kg, uma quantidade menor do que os 50 kg de adubo composto.

Neste exemplo, os fertilizantes simples são menos dispendiosos. O agricultor pode ainda escolher o fertilizante composto, porque considera a que as vantagens de aplicação de todos os nutrientes num só fertilizante ultrapassam o custo adicional de $15,68.

Misturas a granel e outros fertilizantes

As misturas secas a granel de fertilizantes NPK podem ser preparadas ao misturar fisicamente os adubos simples em forma granular nas proporções necessárias de forma a obter a quantidade de cada nutriente requerida pela cultura. O enxofre e os micronutrientes são por vezes adicionados a misturas NPK quando necessários.

A maioria das misturas NPK são preparadas usando P provenientes de DAP. O TSP granular é usado no fabrico de fertilizantes contendo P e K não podendo, contudo, ser usado na mistura a granel de fertilizantes NPK pois é incompatível com a ureia, a fonte de N mais frequentemente utilizada em misturas a granel. As misturas são preparadas de acordo com os requisitos específicos das culturas. Por exemplo, a mandioca e a banana requerem misturas que contêm uma grande quantidade de K.

Os agricultores também podem fazer misturas de fertilizantes desde que os componentes de adubo simples sejam compatíveis (Tabela 7.34).

4.3.2 Correctivos do solo

Calcário

Material calcário é usado para aumentar o pH em solos ácidos utilizados no cultivo de culturas intolerantes à saturação por alumínio (Al) que muitas vezes (mas nem sempre) acompanha o baixo pH do solo. Através da sua acção na correcção do pH do solo e no fornecimento de cálcio (Ca) o calcário melhora o ambiente do solo para o crescimento das plantas. Em solos muito ácidos (pH <5,5) a aplicação de calcário (calagem) leva a uma redução da toxicidade pelo Al e manganésio (Mn) e a um aumento da disponibilidade de P e molibdénio (Mo). Outros processos microbiológicos, como nitrificação e fixação de N_2, também são melhorados e calagem pode contribuir para a melhoria das propriedades físicas do solo ao aumentar a actividade microbiana. A acidez é geralmente associada com solos altamente lixiviados, que apresentam deficiências em Ca e Mg, de modo que, o calcário desempenha um papel importante no fornecimento destes nutrientes.

O material de calagem frequentemente utilizado é a rocha calcária ou carbonato de cálcio ($CaCO_3$), e todos os outros materiais de calagem são avaliados em termos da sua eficácia relativa quando comparados com o carbonato de cálcio (eficácia expressa em equivalentes de carbonato de cálcio, ECC, onde $CaCO_3$ tem um ECC de 100).

Os depósitos de calcário são encontrados por todo o mundo e são geralmente extraídos pelo uso de explosivos em minas a céu aberto. Os pedaços de rocha são triturados até se atingirem tamanhos de <2,5 cm até á pulverização. A qualidade de calcário comercial é geralmente 90–98% ECC. Os outros materiais de calagem incluem óxido de cálcio (CaO), com uma ECC de cerca de 180%, de hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) com uma ECC de cerca de 135% e dolomite ($CaMg(CO_3)_2$), com uma ECC de cerca de 110%.

A distinção é feita entre o calcário dolomítico, que contém $MgCO_3$ e $CaCO_3$, e calcário calcítico, que contém apenas pequenas quantidades de $MgCO_3$. Em alguns solos o calcário calcítico pode induzir a insuficiência de Mg, se aplicado em grandes quantidades.

A exigência de calagem do solo depende do nível de acidez do solo e do nível de Al^{3+} dissolvido que uma determinada cultura consegue tolerar. O requisito de calcário é muitas vezes calculado como a quantidade necessária para reduzir a saturação por Al até ao nivel de 15%. Os solos arenosos apresentam fraca capacidade tampão, de modo que, são precisas quantidades pequenas de calcário para fornecer o Ca necessário e corrigir a acidez. Em contraste, grandes quantidades de calcário são necessárias para reduzir a saturação de Al em solos argilosos fortemente ácidos devido à sua maior capacidade tampão. Os requisitos de calagem são calculados usando as fórmulas empíricas que são uma função da saturação em Al no complexo de troca do solo.

Gesso

Gesso ($CaSO_4.2H_2O$) é um mineral que ocorre como um depósito natural em regiões áridas e semi-áridas, pouco solúvel em água. O gesso é usado para recuperar os solos sódicos que têm, por definição, uma percentagem muito elevada de sódio no complexo de troca catiónica (isto é >15%). Tais solos sódicos têm muitas vezes uma estrutura de solo degradada, devido ao colapso dos minerais de argila. O gesso é geralmente incorporado durante a preparação da terra até uma profundidade de 0–15 cm. O gesso reage com sais de sódio (Na), (por exemplo com o carbonato de sódio) e substitui o Na dissolvido no complexo de troca, que é então lixiviado na forma de sulfato de sódio.O gesso é também utilizado para corrigir a insuficiência de Ca em culturas, tais como o amendoim, que têm uma grande necessidade de Ca durante a formação das vagens.

4.4 Eficiência da utilização de fertilizantes

A maioria dos solos não consegue fornecer todos os nutrientes essenciais em quantidades suficientes para sustentar o bom crescimento das culturas sendo a aplicação de fertilizantes um dos meios mais eficazes de os fornecer e assim melhorar a produtividade.

Os nutrientes aplicados no solo podem ser:

- absorvidos pela cultura;
- retidos no solo como reserva de nutrientes no solo, ou
- perdidos através de vários processos.

Os fertilizantes produzem benefícios directos no rendimento das culturas e benefícios indirectos pelo aumento da quantidade de resíduos das culturas que podem ser utilizados na reposição da matéria orgânica do solo ou como forragem para o gado. Quando mais forragem animal houver, maior será a produção de estrume contendo nutrientes que podem então ser reciclados para o campo. Desta forma nutrientes contidos nos adubos minerais tornam-se parte do ciclo de nutrientes entre o solo, as culturas e o efectivo pecúario.

Para a utilização sustentável de fertilizantes, as práticas de gestão do solo devem ter por objectivo maximizar a quantidade de nutrientes absorvidos pela cultura e minimizar a quantidade de nutrientes perdidos a partir do solo. A proporção de nutrientes que são efectivamente absorvidos e utilizados na produção de grãos é referida como eficiência agronómica (EA). Podemos medir a eficiência do uso de fertilizantes respondendo a duas perguntas:

- *Por cada quilograma de nutriente que aplico, quanto é absorvido pela cultura?* Cientistas chamam a isso a "fracção do aproveitamento" do fertilizante.
- *Quanto rendimento adicional poderei obter por cada quilograma adicional de nutriente absorvido pela cultura?* Cientistas referem a isso como "eficiência de uso interno".

Usamos estas duas perguntas porque precisamos de averiguar primeiro se os nutrientes aplicados foram realmente absorvidos pelas culturas e, caso o tenham sido, se esta absorção resultou realmente num aumento de produtividade das culturas.

A eficiência do uso de fertilizantes pode ser estimada comparando a produtividade de parcelas onde a aplicação de um fertilizante simples foi omitido com a produtividade de parcelas onde esse fertilizante foi aplicado. Por exemplo, para estimar a eficiência do uso do fertilizante N, comparamos a absorção de N em uma parcela à qual foram adicionados fertilizantes N, P e K com outra à qual apenas o P e K foram aplicados. Em ambas as parcelas, P e K são aplicados para evitar que a ausência destes nutrientes afecte à absorção de N. Obviamente, só se poderão utilizar fertilizantes simples nestes ensaios.

Para calcular a eficiência agronómica primeiro devemos estimar a fracção de aproveitamento:

A fracção de aproveitamento (FA) de nutrientes aplicados é definida como:

$$FA\text{-}X = \frac{Xabs_F - Xabs_C}{X_{apl}}$$

onde:

- FA-X é a fracção de aproveitamento do nutriente X aplicado (kg de X absorvido/kg de X aplicado).
- $Xabs_F$ é a quantidade de nutriente X absorvido pela planta, medido na colheita, quando se aplica o nutriente X (kg de X absorvido/ha).
- $Xabs_C$ é a quantidade de X absorvido pela planta, medido na colheita, quando não se aplica o nutriente X (kg de X absorvido/ha) (control).
- X_{apl} é a quantidade do nutriente X aplicado (kg de X/ha).

A **eficiência do uso interno de** nutrientes é definida como:

$$EI\text{-}X = \frac{R_F - R_C}{Xabs_F - Xabs_C}$$

onde:

- EI-X é eficiência interna do nutriente X (kg produtos da cultura/kg de X absorvido).
- R_F refere-se ao rendimento (kg/ha) obtido quando se aplica o nutriente X.
- R_C refere-se ao rendimento (kg/ha) obtido quando não se aplica o nutriente X (control)
- $Xabs_F$ é a quantidade do nutriente X absorvido pela planta quando se aplica o fertilizante X (kg de X absorvido/ha)
- $Xabs_C$ é a quantidade do nutriente X absorvido pela planta quando não se aplica o fertilizante X (kg de X absorvido/ha).

Podemos agora combinar estes dois termos para calcular a **eficiência agronómica** (EA) de cada nutriente (EAN) expresso em (kg produtos da cultura/kg de X aplicado), que é definido como:

$$EA = \frac{R_F - R_C}{X_{apl}}$$

onde:

- EA-X e a eficiência agronómica do nutriente X.
- R_F refere-se ao rendimento (kg/ha) obtido quando se aplica o nutriente X.
- R_C refere-se ao rendimento (kg/ha) obtido quando não se aplica o nutriente X (control).
- X_{apl} é a quantidade do nutriente X aplicado (kg de X/ha).

A eficiência agronómica pode ser obtida multiplicando a fracção de aproveitamento pela eficiência de uso interno:

$$EA\text{-}X = FA\text{-}X \times EI\text{-}X$$

A eficiência do fertilizante é ainda muito reduzida na maioria das culturas e sistemas de produção agrícolas. Por exemplo, estima-se que dois terços do fertilizante de Nitrogénio aplicado em sistemas de arroz irrigado não seja absorvido pela cultura de arroz para a produção de biomassa e no desenrolar de funções fisiológicas, mas em vez disso, são perdidos devido processos como lixiviação, volatilização e desnitrificação.

A melhoria da eficiência agronómica traz benefícios económicos, tanto directos como indirectos:

- Para uma determinada quantidade de fertilizante aplicado pode ser alcançado um maior aumento no rendimento da cultura.
- Menor quantidade de fertilizante se torna necessária para atingir um rendimento específico.

Exemplo prático

A eficiência do uso de fertilizantes depende em grande medida das condições iniciais da fertilidade do solo. Quando dois agricultores, com campos que variam em fertilidade do solo, aplicam 50Kg de N/ha com um sistema de maneio semelhante, o rendimento das culturas aumenta mas a eficiência do uso pode variar da seguinte forma:

Agricultor 1

Histórico do campo: Campo degradado, cultivado durante muitos anos sem a adição de fertilizantes ou estrume.

Rendimento sem a aplicação de N: 400 Kg/ha

Rendimento com aplicação de 50 Kg de N/ha: 900 kg/ha

Eficiência agronómica de N usada = (900 – 400) ÷ 50 N

= 10 kg de grão/kg N

Agricultor 2

Histórico do campo: Fértil mas com deficiência de N, campo que recebeu quantidades moderadas de estrume no passado.

Rendimento sem aplicação de N: 2000 Kg/ha

Rendimento com aplicação de 50 kg de N /ha: 4500 kg/ha

Eficiência agronómica de N usada = (4500 – 2000) ÷ 50

= 50 kg de grãos/kg N

Interpretação

Claramente, o agricultor 2 está alcançar muito melhor retorno para o seu investimento em fertilizantes minerais em comparação com o agricultor 1. É importante perceber que a eficiência agronómica (EA) de um nutriente, tal como o N, é influenciada por muitos outros factores além da quantidade aplicada. Para aumentar a eficiência de fertilizantes minerais é essencial adoptar uma abordagem de maneio integrado da cultura para gerir todos os factores de crescimento que limitam ou reduzem o desenvolvimento da cultura de melhor. Nestes dois exemplos, a EA de N pode ser melhorada através da aplicação de outros nutrientes, tais como fertilizantes P e K.

Com um bom maneio da cultura, a eficiência do fertilizante mineral pode ser ainda melhorada utilizando técnicas adequadas para a aplicação de fertilizantes. Estas técnicas são muitas vezes chamadas de as regras dos '4 Cs' do uso de fertilizantes.

4.5 Os "4 Cs" da utilização eficiente de fertilizantes

As quatro melhores práticas de gestão do solo, geralmente referidas como as regras dos "4 Cs" ou quatro "certos" de gestão de fertilizantes englobam a aplicação do fertilizante "certo", na taxa de aplicação "certa", na hora

"certa" e no lugar "certo" para responder às necessidade das culturas. Estes 4 Cs ajudam a melhorar a fracção de aproveitamento dos fertilizantes contribuindo assim para a melhoria da eficiência agronómica.

4.5.1 Tipo de fertilizante "certo"

A regra do fertilizante "certo" significa ajustar o tipo de fertilizante às necessidades das culturas e as propriedades do solo.

- O fertilizante pode ser aplicado como fertilizante simples, que fornece apenas um nutriente, ou como fertilizante composto, ou ainda como fertilizante misto, ou seja, à base de uma misturas de nutrientes a granel. Como mencionado acima, os fertilizantes compostos fornecem vários nutrientes num só produto, e por conseguinte, oferecem mais conveniência ao agricultor na hora da aplicação que os fertilizantes simples. Estes tipos de fertilizante composto são muitas vezes mais caros de adquirir, no entanto, devem ser usados se oferecerem melhor retorno do que os fertilizantes simples. Em última análise, a escolha do agricultor será afectada pela disponibilidade local de fertilizantes.
- É importante estar atento à interacção entre os nutrientes. Por exemplo, a aplicação de fertilizantes P e K pode ser necessária a fim de conseguir uma resposta completa ao fertilizante N. Portanto, a chamada "fertilização equilibrada", é um aspecto importante no aumento da eficiência do uso de fertilizantes.
- A escolha de fertilizante dependerá de cada cultura e da utilização recente e passada do estrume, bem como das propriedades do solo e das condições climáticas. Por exemplo, em locais onde os solos têm uma baixa capacidade tampão (solos arenosos) seria imprudente utilizar sulfato de amónio como fonte de N devido ao seu potencial de acidificação do solo enquanto que, em áreas com chuvas muito fortes durante a época da cultura é sempre melhor evitar fertilizantes baseados em nitrato, porque são mais propensos à lixiviação do que fertilizantes à base de amónio tais como a ureia.
- Vários métodos são utilizados para identificar quais os nutrientes em deficiência no solo incluindo a análise ao solo, os ensaios por omissão de nutrientes e a observação dos próprios sintomas de deficiência de nutrientes nas culturas.
- Apesar de certos nutrientes não estarem numa situação de deficiência no curto prazo, pode ser vantajoso aplicar pequenas quantidades dos mesmos para evitar o esgotamento das reservas destes nutrientes no solo que no longo prazo resultariam em deficiências nutricionais das plantas. Alguns solos têm grandes reservas de nutrientes específicos que podem ser exploradas por muitos anos sem quaisquer efeitos negativos. As análises do solo e os ensaios por omissão de nutrientes são necessários para determinar se existem reservas suficientes de nutrientes específicos que sustentem a produção das culturas sem aplicação de fertilizantes.
- Nem todos os produtos fertilizantes disponíveis no mercado são de boa qualidade. Se o agricultor compra e usa fertilizante adulterado ou de baixa qualidade, não irá aumentar a produtividade tanto como esperado uma vez que não adicionou as quantidades correctas dos nutrientes requeridos pela cultura. Para os adubos totalmente solúveis como a ureia, sulfato de amónio, nitrato de amónio, KCl, SPT e DAP, os agricultores poderão investigar se o fertilizante foi adulterado com areia ou pó de tijolo adicionando 100 g de fertilizante a um 1 litro de água. Fertilizantes não adulterados irão dissolver-se em água, provocando uma diminuição da temperatura da água, deixando apenas uma quantidade de resíduo muito pequena não dissolvido.

4.5.2 Taxa de aplicação "certa"

Orientações gerais

A regra da "taxa de aplicação certa" de fertilizantes implica ajustar a quantidade de fertilizantes às necessidades das culturas.

- Doses de fertilizantes devem ser ajustadas ao local e o sistema de cultivo e ser estimadas após se considerar:
  - a necessidade nutricional da cultura;
  - a capacidade do solo em fornecer nutrientes (medidos pela análise de solo e por ensaios de omissão de nutrientes;

- a quantidade de nutrientes aplicados sob a forma de resíduos das culturas e estrumes de curral;
- a quantidade de nutrientes aplicados às culturas anteriores;
- o rendimento esperado;
- o rendimento atingível sob condições climáticas locais, e
- o custo dos fertilizantes e o valor dos produtos das culturas.

- Aplicação excessiva de fertilizantes leva ao desperdício de nutrientes não absorvidos pelas culturas e possível contaminação do ambiente. Por outro lado, a baixa aplicação de fertilizantes resulta em menor rendimento e qualidade, menos resíduos da cultura para proteger e recuperar o solo e/ou para uso como forragem animal.
- Em muitas áreas de ASS, as referências bibliográficas que contêm recomendações sobre as taxas de fertilizantes por localidade estão desactualizadas, sendo orientadas para a maximização da produtividade da cultura em vez de para a maximização do retorno económico do agricultor. É muito importante avaliar os objectivos do agricultor e a sua atitude ao risco antes de recomendar doses de aplicação de fertilizantes.

Capacidade de respostas aos fertilizantes minerais

A capacidade de resposta aos fertilizantes minerais pode ser classificada da seguinte forma:

- Baixa capacidade de resposta em solos férteis com grandes reservas de nutrientes (muitas vezes em campos perto da casa do agricultor, onde fertilizantes orgânicos tais como o estrume animal e os resíduos das culturas têm sido regularmente aplicados);
- Grande capacidade de resposta em solos deficientes em nutrientes (muitas vezes em campos mais distantes da casa do agricultor onde fertilizantes, estrumes e resíduos das culturas não têm sido aplicados), e
- Baixa capacidade de resposta em solos degradados, onde fertilizantes minerais e grandes quantidades de materias orgânicos (resíduos vegetais, estrume de origem animal) devem ser aplicados de forma combinada a fim de obter respostas satisfatórias ao fertilizante mineral.

Abordagens a adoptar incluem:

- Aplicação de pequenas quantidades de fertilizantes e /ou estrume em solos férteis no intuito de manter a fertilidade do solo.
- Agricultores com poucos recursos podem investir o seu dinheiro de forma eficaz, priorizando a aplicação de fertilizantes nos campos com maior capacidade de resposta e utilizando quantidades moderadas de fertilizantes com intuito de atingir o maior retorno em produtividade por kg de adubo aplicado (ou seja obtendo uma alta EA).
- A aplicação dos materiais orgânicos pode ser necessária para a recuperação de solos degradados com baixa capacidade de resposta aos fertilizantes minerais. Em alguns destes solos a aplicação de materiais orgânicos pode não ser suficiente por si só, e outras técnicas podem ser aplicadas (por exemplo, lavoura, aplicação de micronutrientes) de forma a melhorar a capacidade resposta destes solos ao fertilizantes minerais.

Medidas práticas para melhorar as taxas de aplicação de fertilizantes

- Análise do solo, ensaios por omissão de nutrientes, análise da eficiência no uso de nutrientes das culturas, análises de tecido, observações de campo, calibração do fertilizador, utilização de métodos de previsão de incidência de pragas e doenças, manutenção de registos detalhados e o planeamento do maneio de nutrientes são ferramentas que irão ajudar a determinar a dose correta de aplicação de fertilizantes.
- Aqui estão alguns passos práticos para ajudar os agricultores a determinar doses de aplicação de fertilizantes apropriadas:
- Reúna quaisquer informações obtidas de ensaios de fertilizantes, especialmente se foram realizados na localidade em que está a trabalhar. Quais os nutrientes que mais melhoraram a produtividade das culturas? Será que os fertilizantes aumentaram tanto a produtividade como o retorno económico dos agricultores? Quanto de cada nutriente foi necessário

para conseguir aumentos na produtividade?

- Tal informação pode não estar disponível, mas, mesmo que esteja é necessário complementa–la com informação actual. Elabore uma tabela listando cada agricultor, o tipo de fertilizante aplicado, a quantidade de nutrientes aplicada, a história de campo (isto é, se os fertilizantes têm sido aplicados de forma consistente nas últimas épocas de cultivos) e a produtividade e retorno económico alcançados.
- Aconselhe os agricultores a visitarem os campos o mais frequentemente possível, observando as culturas à procura de sintomas de deficiência em nutrientes, plantas atrofiadas e com desenvolvimento retardado (muitas vezes devido à deficiência de P).
- Identifique os agricultores que têm conseguido obter as mais altas produtividades e retornos económicos. Descubra a quantidade de fertilizante que usam e que rendimentos estão conseguindo. Faça um inventário de todas as suas práticas de manutenção de fertilidade do solo que podem ser aplicáveis a outros agricultores.
- Se possível, realize a amostragem e análise do solo para avaliar a fertilidade do solo, em particular a quantidade de fósforo disponível e o potássio e magnésio de troca.
- Faça o acompanhamento dos agricultores a fim de testar as doses recomendadas de fertilizantes, começando com as doses de aplicação mais baixas.
- Registe os resultados do seu trabalho num caderno de campo de forma a construir uma base de informações fiáveis sobre o uso de fertilizantes e resposta das culturas na sua localidade. Após alguns anos poderá ser possível fazer uma avaliação do risco de "falha de produção" que irá permitir informar os agricultores sobre os riscos económicos associados à aplicação de fertilizantes.

Técnicas para uma aplicação de precisão

Uma medida calibrada deverá sempre ser usada na aplicação de fertilizante. A fim de aplicar o fertilizante de uma forma uniforme e à taxa de aplicação correcta numa parcela de grandes dimensões, uma carica de garrafa de refrigerante pode ser usada como medida para a quantidade de fertilizante aplicado a cada planta. Por exemplo, uma carica nivelada contém cerca de 6g de fertilizante. Num campo de milho com uma populaçao de 40000 plantas/ha a aplicação de 1 carica nivelada de ureia por planta será equivalente a 110 kg N/ha.

4.5.3 Momento "certo" de aplicação

A regra do "momento certo" para a aplicação de fertilizantes implica o garantir que os nutrientes estejam disponíveis quando as culturas necessitem deles.

- Os nutrientes são usados de forma mais eficiente quando a sua disponibilidade é sincronizada com a necessidade da cultura. A adubação de fundo é feita durante (ou logo após) a plantação para fornecer N, P, K e outros nutrientes necessários para o crescimento das culturas na fase inicial.
- O fertilizante N é de alta mobilidade e perde-se facilmente no solo por lixiviação de modo que parte do fertilizante N devará ser aplicado em adubação de "cobertura" de forma faseada, isto é em diferentes etapas do desenvolvimento das culturas, geralmente quando a cultura está a crescer de forma acelerada.
- O fertilizante N de cobertura pode ser aplicado como varias aplicações faseadas de forma a melhorar a eficiência do uso deste nutriente.
- As doses de cobertura deverão ser ajustadas de acordo com a forma como a cultura se está a desenvolver, levando também em consideração o preço esperado do produto de venda.
- Adubos de cobertura tendem a produzir bons resultados agronómicos quando a cultura se está a desenvolver bem sob condições climáticas favoráveis e bons resultados económicos e se for esperado um preço de venda elevado. Por outro lado, se a cultura se está a desenvolver mal devido á falta das chuvas e/ou o preço esperado de venda for baixo as adubações de cobertura poderão ser canceladas e os fertilizantes guardados até á próxima época de plantação.
- O momento de aplicação (pré-plantação ou aplicação faseada), o uso de tecnologias de libertação controlada de nutrientes, estabilizadores, inibidores e o tipo de fertilizante são exemplos de práticas que influenciam o

período de disponibilidade de nutrientes.

- As cartas de cor de folhas e aparelhos medidores de clorofila estão disponiveis no mercado e permitem guiar a aplicação de N, com base nas necessidades da cultura.
- Fertilizantes azotados de libertação lenta e a colocação profunda permitem uma melhor ajuste entre o período de libertação dos nutrientes e os períodos de maior necessidade da cultura (por vezes referida como sincronia).
- Estão disponíveis, também, tabelas de consulta que permitem uma tomada de decisão informada sobre o momento certo de aplicação de fertilizantes.

4.5.4 Modo de colocação "certo" do fertilizante de fundo

A regra do "modo de colocação certo" de fertilizantes implica a aplicação do fertilizante em locais do solo onde as raízes da cultura possam aceder facilmente aos nutrientes contidos no fertilizante. A escolha do método de aplicação pelo agricultor vai depender da quantidade de trabalho associado a cada método.

- Os métodos de aplicação devem ser seleccionados com base na cultura, sistema de cultivo e propriedades do solo. De forma geral, é melhor incorporar fertilizantes de fundo no solo durante ou antes da plantação de forma a garantir um uso eficiente de fertilizantes.
- Existem quatro principais métodos de colocação de fertilizantes:
  - **A lanço**. Os fertilizantes são aplicados uniformemente na superfície do solo. Isto é, feito antes da sementeira ou, quando a cultura já está implantada. O método é fácil de implementar e tem baixos requisitos de trabalho. Os fertilizantes de cobertura N são normalmente adicionados a lanço em campos de arroz irrigado.
  - **Em faixas**. Os fertilizantes são colocados numa faixa a uma profundidade de 5–8 cm abaixo da superfície e recobertos com solo. As sementes são depois semeadas no solo nessa faixa. Aplicação em faixas é o método mais usado para a aplicação de fertilizantes de fundo.
  - **Aplicação localizada**. Os fertilizantes são aplicados em pequenas quantidades durante a plantação permanecendo junto de cada semente ou planta durante a estação de crescimento das culturas. A aplicação localizada é mais apropriada em sistemas onde as plantas são amplamente espaçadas e onde o solo e as condições climáticas aumentam o risco de perdas de nutrientes por lixiviação. A aplicação localizada está a tornar-se cada vez mais popular entre os agricultores porque é mais eficiente em termos económicos do que a lanço.
  - **Colocação profunda**. A colocação em profundidade do fertilizante, que garante a libertação lenta do nutriente N em campos alagados.
- Lavoura de conservação, utilização de sebes vegetais de proteção em volta das culturas e gestão da irrigação são medidas que poderão ser implementadas de forma a conservar os nutrientes nos locais onde foram colocados inicialmente, mantendo-os acessíveis para o crescimento das culturas.

4.5.5 Um quinto "certo" para a utilização de fertilizante em ASS: identificação das opções mais remunerativas

Dado que os agricultores na ASS têm muitas vezes recursos limitados que lhes permitem adquirir apenas pequenas quantidades de fertilizantes, é importante identificar a parte do sistema de produção onde a aplicação de fertilizantes vai trazer o maior retorno económico. Quando usados nesse prisma, os fertilizantes tornam-se a chave para desbloquear o potencial das explorações agrícolas. Como foi já discutido, a fertilidade do solo varia muito dentro da exploração agrícola, tornando-se importante saber quais os campos que irão garantir o maior retorno pelo uso de fertilizantes.

É também importante considerar o sistema de cultivo como um todo em vez das cultura isoladas quando se está a fazer o plano do uso de fertilizantes. Por exemplo, numa rotação de leguminosa-milho-grão os fertilizantes (particularmente o N) aplicados à cultura do milho providenciarão um benefício residual em termos do fornecimento de nutrientes para cultura leguminosa que poderá, portanto, não precisar de ser fertilizada.

Os fertilizantes devem ser fornecidos para a cultura principal em sistemas de consociação. Em um campo de milho

consociado com feijão, por exemplo, o fertilizante N deve ser aplicado para a cultura do milho, porque o feijão é capaz de satisfazer muitas das suas necessidades em N pela fixação biológica de N_2 atmosférico.

A regra da "opção mais remunerativa' ou "quinto C" implica considerar o "custo de oportunidade" de fertilizantes, certificando-se de que os escassos recursos de fertilizantes são entregues à parte do sistema de cultivo que oferece o máximo benefício económico para o agricultor.

4.6 Utilização de fertilizantes e o meio ambiente

Intensificação da produção agrícola utilizando MIFS fornece os meios para aumentar a produtividade de terras cultivadas já existentes, contribuindo assim para reduzir a necessidade de expanção da área de cultivo para atender às necessidades actuais e futuras em alimentos, fibras e combustível. Portanto, a intensificação da produção agrícola, pode contribuir indirectamente para os esforços de conservação do zonas selvagens, ao reduzir a área de terra necessária ao cultivo.

No entanto, devem-se evitar os efeitos negativos que acompanham a utilização excessiva de fertilizantes. Em alguns casos, o uso excessivo de fertilizantes minerais nos países industrializados, resultou na lixiviação de N e P para dentro de reservatórios de água, causando a contaminação da água e eutrofização. Tais efeitos negativos podem ser evitados através da aplicação de boas práticas de gestão de fertilizantes. A utilização em excesso de fertilizantes minerais não é uma preocupação prioritária na ASS. Os casos de eutrofização em África estão normalmente associados com os efluentes das cidades ou com práticas de agricultura intensiva peri-urbana e empresas de hortícolas. Pelo contrário, a questão ambiental mais significativa em ASS está associada ao esgotamento da fertilidade e degradação do solo devido ao uso insuficiente de adubos minerais e materiais orgânicos.

O uso adequado de fertilizantes minerais poderá actuar como um verdadeiro catalisador no aumento da produtividade dos solos em ASS. Os fertilizantes contribuiem para o aumento da produção da biomassa, da qual fazem parte os produtos das culturas necessários ao sustento da vida humana. O aumento da produção da biomassa significa também maiores quantidades de resíduos de culturas e de outros sub-produtos orgânicos, que fornecem os materiais para a reposição da matéria orgânica do solo. Além disso, mais forragem para gado se torna disponível.

4.6.1 Utilização de fertilizantes e a sustentabilidade

Melhorar a eficiência do uso de fertilizantes é a chave para a sustentabilidade. Fertilizantes sintéticos de N são recursos não-renováveis dado que os fertilizantes N são fabricados usando gás natural como fonte de energia para transformar N_2 atmosférico em amónia sendo esta a matéria-prima usada no fabrico de fertilizantes N. Cerca de 3–5% do uso mundial de gás natural ou 1–2% do aprovisionamento mundial de energia é utilizado no fabrico de fertilizantes N.

As reservas de matérias-primas para fabricação de fertilizantes P e K são limitadas. Dada a base de abastecimento actual, as reservas de potássio serão suficientes para pelo menos mais 250 anos, enquanto que as reservas de fosfato serão suficientes para 300–400 anos.

4.7 Minimização das perdas de nutrientes adicionados

Um importante objectivo na gestão de fertilizantes é a implementação de práticas de gestão que minimizem a perda de nutrientes adicionados ao sistema de produção agrícola. Com boas práticas de gestão, uma proporção significativa de nutrientes adicionados ao sistema de produção agrícola na forma de fertilizantes minerais ou resíduos de culturas e estrume pode ser reciclado várias vezes através das colheitas e do gado.

Alguns nutrientes retidos nos produtos de colheitas (grão, tubérculos) vão ser exportados para fora do campo de cultivo, mas uma grande parte dos nutrientes absorvidos pelas culturas pode ser reciclada de volta ao solo na forma de resíduos das culturas. Alternativamente, resíduos das culturas podem ser usados como forragem para gado e produção de estrume, podendo depois ser reciclados para o campo. Com um maneio adequado, os nutrientes aplicados ao campo formam as reservas de nutrientes, verdadeiro capital do campo de cultivo, adicionando valor à terra.

Os nutrientes adicionados como fertilizante mineral, ou reciclados a partir de resíduos de culturas e estrume, bem

como as próprias reservas de nutrientes do solo podem ser perdidos do sistema de produção agrícola ou das parcelas do campo de cultivo através da erosão hídrica e eólica, a lixiviação ou perdas gasosas.

- O nitrogénio é o nutriente mais susceptível a perdas porque é muito móvel e pode facilmente ser perdido por lixiviação, bem como por volatilização. Existem três formas principais de N "capital' no solo:
- O N mineral (NH_4^+ amónio e nitrato NO_3^-),
- O N na matéria orgânica do solo, e
- O N numa forma mais estável da matéria orgânica do solo.

A forma NH_4 de N pode ser retida como um catião de troca ou imobilizado nas camadas do solo por adsorção a minerais de argila do tipo 2:1, como montmorillonita, vermiculita e ilita. Sob condições aeróbicas (solos bem drenados) as bactérias nitrificantes transformam rapidamente o NH_4-N em NO_3-N (nitrificação). O nitrato é altamente móvel e facilmente perdido por lixiviação ou por desnitrificação (NO_3^- é transformado em gases de NO, N_2O e N_2). As perdas substanciais da forma NH_4 do N podem também ocorrer através da volatilização (perdas gasosas como NH_3), especialmente em solos alcalinos e em solos onde ureia é aplicada à superfície do solo.

4.7.1 Erosão hídrica e eólica

A erosão hídrica e eólica são os factores que mais contribuem para a perda de nutrientes. Estudos recentes indicam que as perdas anuais por erosão em sistemas de produção de baixa utilização de factores de produção na ASS são cerca de 10 kg N / ha, 2 kg de P / ha e 6 kg de K / ha. As perdas podem ser maiores em sistemas de produção de elevada utilização de factores de produção, ou em locais onde a pluviosidade é muito elevada. As barreiras contra o escoamento superficial da água, tais como faixas de capim e linhas de pedra são opções eficazes para reduzir a erosão e manter o fertilizante e estrume aplicados no seu lugar.

A erosão e o as águas de escorrência também podem ser reduzidas através da cobertura do solo com uma camada de biomassa viva ou morta, o "*mulch*". A cobertura do solo reduz a velocidade da água, evita a formação de crostas e melhora a porosidade do solo e as taxas de infiltração. Mesmo uma camada relativamente fina de cobertura morta proporciona um aumento significativo na infiltração de água. De facto, os estudos mostraram que com a aplicação de 2 t / ha de palha houve uma redução de 60% do escoamento e uma redução de 90% na erosão. Com 6 t / ha de palha morta, o escoamento foi reduzido em 90% e os níveis de erosão foram reduzidos a zero. Deixando a palha no campo, conduz também a uma redução significativa na perda de solo devido à erosão eólica. No Níger 1.4 t / ha de cobertura palha de mexoeira reduziu as perdas de erosão eólica em 63%. O problema enfrentado pela maioria dos agricultores é a necessidade de dar prioridade à utilização de materiais orgânicos na alimentação animal.

As técnicas de preparação do solo podem também ser eficazes no aumento da infiltração e na redução das escorrências. A técnica chamada "Zai" é eficaz para lidar com a formação de crostas à superfície: pequenas cavidades são criadas no solo e depois preenchidas com pequenas quantidades de minerais e / ou fertilizantes orgânicos adicionados. O melhoramento do conteúdo de MOS irá geralmente reduzir a susceptibilidade do solo à formação de crostas de superfície, melhorando a estrutura do solo e a capacidade de retenção de água.

4.7.2 Lixiviação

A lixiviação de nutrientes ocorre quando a água transporta os nutrientes para longe do alcance das raízes das plantas, sendo estes portanto perdidos em termos de utilidade para as culturas. A lixiviação é um problema particularmente importante em áreas com elevada intensidade de pluviosidade (> 30 mm / dia) e em solos arenosos de textura grosseira (> 35% de areia). A lixiviação afecta sobretudo o N mineral (principalmente nitrato, NO_3^-) e as bases trocáveis (K e Mg), que muitas vezes são lixiviadas juntamente com NO_3^-. O fósforo não é geralmente susceptíveis à lixiviação, excepto em solos arenosos de textura muito grosseira.

Alguns estudos sugerem que 50–60% do fertilizante K aplicado em plantações de banana na Costa do Marfim são perdidos por lixiviação. A redução de perdas devido à drenagem profunda é difícil, mas podem ser consideradas

duas abordagens:

- Promover o desenvolvimento das raízes, aplicando nutrientes e melhorando a estrutura do solo. Isto irá permitir à cultura o acesso à água que se encontra abaixo da profundidade normal de penetração das raízes, desta forma reduzindo a perda de nutrientes.
- Associação das culturas anuais e árvores - as árvores podem 'bombear' água e nutrientes das camadas abaixo da profundidade de enraizamento das culturas anuais, levando a melhor aproveitamento da água e nutrientes.

4.7.3 Perdas gasosas por desnitrificação e volatilização

Em condições anaeróbicas (por exemplo, campos mal drenados ou campos de arroz), o nitrato é reduzido para N_2O e N_2 (desnitrificação). Desnitrificação também ocorre em solos aeróbios, devido a presença de nichos anaeróbicos que são formados depois da aplicação de materiais orgânicos. A melhor maneira de reduzir a desnitrificação em terrenos localizados em cotas mais altas é melhorando a drenagem do solo e mantendo uma boa estrutura do solo, de forma a evitar condições de crescimento anaeróbicas.

O nitrogénio também pode ser desperdiçado por volatilização sendo as perdas de de forma NH_3 de N importantes em solos alcalinos (pH elevado). Cerca de 60% do N aplicado como ureia em arrozais (exemplo campos de arroz inundados) podem ser perdidos pela volatilização. As perdas podem ser reduzidas mediante a colocação profunda de fertilizantes N por incorporação manual.

O nitrogénio é também perdido por volatilização de NH_3 durante o armazenamento e manuseio de estrume. As perdas podem ser reduzidas usando poços de armazenamento anaeróbicos, com ou sem a adição de resíduos das culturas.

4.7.4 Gestão dos resíduos das culturas

Os agricultores utilizam resíduos das culturas de diversas maneiras incluindo:

- o retorno ao campo de forma a criar uma cobertura vegetal "*mulch*" e reciclagem de nutrientes;
- a utilização como alimentação animal (estrume animal devolvido ao campo);
- a utilização como uma fonte de combustível, ou
- a utilização como material de construção (por exemplo, a construção de paredes e cobertura de telhados).

A escolha do agricultor será baseada nas suas circunstâncias particulares. As únicas opções que permitem a conservação de reservas de nutrientes são a incorporação directa de resíduos das culturas no campo ou o seu uso como alimento para o gado reciclando o estrume, ou ainda a compostagem desses resíduos para utilização no sistema de cultivo.

Os resíduos das culturas contêm pequenas quantidades de nutrientes (Tabela 4.2) e o objectivo da reciclagem destes resíduos é a reposição da matéria orgânica do solo e a criação de uma cobertura vegetal de "*mulch*". O tratamento dos resíduos culturais através da compostagem ou digestão animal traz melhorias em termos de disponibilidade de nutrientes.

4.8 Uso de germoplasma melhorado

Tabela 4.2 Concentrações de N, P e K em palha de cereais na África Subsariana.

Nutriente	Peso seco(g/kg)[a]					
	Mexoeira	Sorgo	Milho	Arroz	Soja	Amendoim
Nitrogénio	4–10	4–9	5–8	4–9	8–13	12–20
Fósforo	1–1	0–1	0–1	1–2	1–2	1–3
Potássio	15–27	7–15	7–17	13–27	9–18	8–12

[a]Valor não inclui as folhas, que caem e são maioritariamente deixadas no campo.

O germoplasma melhorado consiste em sementes, estacas e outros materiais de plantação que foram criados para satisfazer os requisitos particulares do ambiente de cultivo. Embora quase todos os germoplasmas melhorados produzam rendimentos superiores aos das variedades "locais", isto nem sempre acontece particularmente quando as sementes são utilizadas sob condições ambientais hostis como as encontradas em muitas áreas da ASS. O maneio da fertilidade do solo é geralmente necessário para obter o máximo retorno dos investimentos em variedades melhoradas. Vamos agora analisar as características do germoplasma melhorado.

4.8.1 Potencial genético do rendimento

Uma característica importante do germoplasma melhorado é o seu maior potencial genético do rendimento, quando cultivado sob condições biofísicas para as quais foi desenvolvido. As variedades melhoradas das culturas são muitas vezes adaptadas a condições ambientais específicas (por exemplo, temperatura, humidade, acidez do solo) de terrenos alvo. Na maioria do germoplasma melhorado, a proporção de biomassa total convertida na parte colhida (por exemplo, grão, tubérculos), referido como o índice de colheita (IC) é maior do que em variedades locais.

Ao longo dos últimos 10 anos o germoplasma melhorado foi produzido com características adicionais sendo exemplos disto:

- arroz com alto teor de vitamina A;
- alta qualidade de proteína no milho;
- polpa da batata amarela rica em vitamina A; e
- arroz tolerante a inundação.

Os melhoradores geralmente produzem germoplasma adaptado, ou tolerante, a stresses ambientais específicos tais como a toxicidade por alumínio, temperaturas muito baixas encontradas em altitudes elevadas ou a seca.

4.8.2 Resistência a pragas e doenças

As pragas e doenças enfraquecem as plantas e resultam em perda de rendimento das culturas ou mesmo em falha total na produção. As plantas afectadas não são capazes de aproveitar os nutrientes do solo de forma eficaz, deste modo, fazem um uso ineficiente de fertilizantes e de outros factores produtivos. A resistência genética a pragas e doenças é muitas vezes incorporada em variedades modernas a de forma a complementar os traços genéticos para a elevada produtividade, mas é importante lembrar que o estado sanitário das culturas e a resistência a pragas e doenças pode também ser melhorada quando são fornecidas nutrientes adequados às culturas.

Alguns materiais de plantação melhorados consistem simplesmente em materiais de propagação isentos de pragas e doenças, tais como as estacas de mandioca isentas de vírus e de plantas de banana isentos de fungos, ambas produzidas por cultura de tecidos. Existem também os organismos geneticamente modificados (OGM), tais como algodão transgénico com resistência a pragas, que têm sido adoptados na ASS.

4.8.3 Eficiência na utilização de nutrientes

As variedades melhoradas apresentam, de forma geral, maior índice de colheita e por isso, também costumam ter maior eficiência agronómica quando comparadas com as variedades "locais". Algumas variedades melhoradas possuem sistemas radiculares mais extensos e profundos que permitem às plantas absorver nutrientes a partir de um maior volume de solo quando comparadas com as variedades locais.

4.8.4 Disponibilidade e qualidade de materiais de sementeira e plantação

Os agricultores precisam de acesso a variedades melhoradas quer através de agro-comerciantes ou outras redes comerciais quer através da própria comunidade de agricultores que poderá organizar uma base de multiplicação e troca de sementes. A continuidade no fornecimento também é obviamente muito importante. É importante que a qualidade do material de propagação satisfaça os padrões mínimos:

- de pureza (identidade da semente ou estacas em conformidade com o rótulo);
- de condição sanitária, estando livre de pragas e doenças;
- de uniformidade no tamanho;
- viabilidade (no caso das sementes medida como a taxa de germinação).

4.8.5 Procura e selecção de germoplasma melhorado para utilização no MIFS

É importante obter informações sobre as variedades melhoradas actualmente disponíveis para uma determinada região, os locais onde podem ser compradas e o seu preço. Também é importante investigar os sistemas de produção e troca de sementes geridos pelas próprias comunidades, visto que variedades melhoradas de certas culturas, especialmente leguminosas, podem não estar disponíveis a partir de fontes comerciais.

Antes da sua utilização em cultivo, as novas variedades devem ser cuidadosamente testadas nas condições ambientais em que se pretendem usar. Como parte da avaliação, as novas variedades devem ser testadas em relação ao crescimento vegetativo, resistência a pragas e doenças, tolerância à seca, e propriedades do pós-colheita para alimentação e armazenamento, para além do rendimento.

4.9 Aproveitamento dos benefícios das leguminosas que fixam o Nitrogénio

Embora muitas culturas estejam privadas de N quando crescem em solos pobres, estas estão, paradoxalmente, cercadas por ar com uma concentração de 79% em gás Nitrogénio (N_2). As leguminosas têm capacidade de capturar o gás N_2 da atmosfera, por formação de nódulos com bactérias simbióticas do solo chamadas *rhizobium*. As plantas leguminosas fornecem aos *rhizobium* energia sob a forma de carbohidratos sintetizados pela fotossíntese e, em troca, os *rhizobium* fixam o gás N_2 em uma forma de N combinado que é libertada para o nódulo de raiz e utilizada pela planta para o crescimento.

As leguminosas têm folhas e sementes que são ricas em N proteíco, o que explica a sua importância na agricultura. As leguminosas são amplamente utilizadas para:

- **Alimentos**. Leguminosas de grão como a ervilha (*Pisum sativum*), feijão comum (*Phaseolus vulgaris*), feijão caupi (*Vigna unguiculata*) e guandu (*Cajanus cajan*). O amendoim (*Arachis hypogaea*) e soja (*Glycine max*) têm de grãos ricos em proteína e óleo.
- **Forragem**. A folhagem de muitas leguminosas herbáceas (por exemplo, *Stylosanthes guianensis*, *Desmodium uncinatum*) e arbustos (por exemplo, *Calliandra calothyrsus*, *Gliricidia sepium*) formam excelente forragem para o gado.
- **Lenha e postes de madeira**. Muitas árvores leguminosas de rápido crescimento são úteis como fornecimento de combustível, madeira para cercas e estacaria e outros fins (por exemplo, *G. sepium*, *Acacia spp*.)
- **Fertilidade**. Todas as leguminosas acima mencionadas têm o potencial de melhorar a fertilidade do solo, mas os maiores benefícios são obtidos com leguminosas utilizadas como adubos verdes (por exemplo *Mucuna pruriens*, *Calopogonium mucunoides*), leguminosas para grão e também com arbustos ou árvores leguminosas de rápido crescimento (por exemplo, *G. sepium*, *Sesbania sesban*), quando estas são cultivadas em rotação com culturas ou em consociação de forma a melhorar a fertilidade do solo (ver caixa 4.1).

Algumas destas leguminosas têm múltiplos usos, e são chamados de leguminosas multi-funcionais.

Caixa 4.1 Benefícios e custos de adubos verdes e leguminosas arbóreas

Apesar de intensivas pesquisas e projectos de implementação do uso de adubação verde e utilização de árvores leguminosas (as chamadas "árvores fertilizantes") na melhoria da fertilidade do solo na ASS, a aceitação por parte dos agricultores tem sido decepcionante. O investimento necessário para preparar a terra incluindo lavrar, semear e sachar sob um regime de adubação verde ou utilização de árvores leguminosas é considerável, sobretudo se tivermos em conta que o benefício do rendimento incrementado é atingido apenas no final do crescimento da cultura subsequente, ou seja, por vezes um ano depois. A regra geral é que um adubo verde à base de leguminosas deve produzir pelo menos 2 t / ha de matéria seca ou cerca de 50–60 kg de N / ha (que permitiria a obtenção de mais uma 1 t / ha de grãos na safra da cultura seguinte) de forma a compensar o potencial de perda de produtividade da terra. Mesmo assim, estes benefícios poderão não pagar o investimento de trabalho extra necessário.

Embora cientistas e técnicos tenham reinvidicado uma expansão do uso de árvores leguminosas a centenas de milhares de agricultores, essas árvores desapareceram dos sistemas de cultivo dentro dum par de anos, a partir do momento em que os projectos de implementação chegaram ao fim.

A plantação de árvores de alqueive revelou ser apenas uma metodologia pseudo-adoptada, ou seja o que acontece efectivamente é os agricultores utilizarem estas árvores para a produção de sementes destinadas a um mercado lucrativo fornecido pelas ONGs e institutos de pesquisa. Este não é um exemplo único na história.

Há muitos exemplos que involvem esforços de implementação de adubos verdes e árvores leguminosas na melhoria da fertilidade do solo, que antecedem o exemplo do ICRAF, onde padrões de rápida expansão foram observados durante os períodos de duração dos projectos quando as sementes das leguminosas estavam em alta procura, seguidos do arranque das árvores após o final desses projectos.

Reuniões participativas sobre as tecnologias para melhoria da fertilidade do solo à base de leguminosas realizadas com pequenos agricultores no Gana, Quénia, Uganda e Zimbabwe indicam que os agricultores valorizam as leguminosas que dão benefícios directos em termos de alimentos, rendimento em dinheiro ou forragem para os animais.

Benefícios das leguminosas em termos de melhoria da fertilidade do solo são reconhecidos mas são considerados de importância secundária.

Poderá no entanto haver situações onde a utilização de adubos verdes e árvores leguminosas na melhoraria a fertilidade do solo é bem-vinda pelos agricultores. Há exemplos onde os adubos verdes alcançaram uma difusão espontânea na agricultura familiar nos trópicos, onde se verificou uma poupança de trabalho associado ao controlo das infestantes. Tais situações precisam de ser identificadas e discutidas de uma forma verdadeiramente participativa, com uma forte presença dos agricultores de forma a comparar abordagens alternativas para a melhoria da fertilidade do solo.

4.9.1 Componentes de uma simbiose bem sucedida para a fixação do Nitrogénio

O sucesso de fixação N_2 por leguminosas (Caixa 4.2) no campo depende da interacção

$$(G_l \times G_r) \times A \times M$$

Onde:

- G_l é o genótipo da leguminosa (a espécie a ser cultivada).
- G_r é as cepas de *rhizobium* encontrados naturalmente no solo ou adicionadas para inocular a linha genética da cultivar de leguminosa.
- A é o ambiente, ou seja, o clima (temperatura, pluviosidade, a duração do dia, etc; incluindo também o número de dias da estação de crescimento) e solo (acidez, toxicidade de Al, nutrientes limites, etc.)
- M é a maneio, ou seja, aspectos de maneio agronómico (uso de fertilizantes minerais, inoculação, épocas de sementeira, densidade de plantações, controle de infestantes).

Uma fixação de N_2 eficaz depende da optimização de todos estes factores de forma sincronizada.

As leguminosas são muitas vezes culturas "das mulheres", cultivadas para consumo doméstico. São cultivadas em solos mais pobres, com pouca aplicação de fertilizantes ou estrume, e com menos atenção em termos de trabalho de manutenção das culturas. Isto significa que A e M acabam por se sobrepor ao potencial genético da simbiose *rhizobium* e leguminosa para a fixação de N_2. Em tais circunstâncias, deve fazer-se uso de todas oportunidades para se incluirem leguminosas em rotação com outras culturas como cereais aos quais se adicionam fertilizantes, de modo que a leguminosa possa beneficiar dos nutrientes residuais no solo. Onde houver oportunidades de mercado para leguminosas de grão, o uso directo de fertilizantes de fundo em leguminosas pode ser adequado e necessário para alcançar bons rendimentos. O nutriente mais procurado pelas leguminosas é P, sendo contudo cada vez mais frequentes as insuficiências de K e outros nutrientes no campo.

4.9.2 Necessidade de inoculação com *Rhizobium*

As leguminosas variam muito na sua capacidade para formar nódulos nas raízes com *rhizobium* "indígena" ou seja, com o *rhizobium* encontrado naturalmente nos solos onde estas são cultivadas.

- Soja (*G. max*) e grão-de-bico (*Cicer arietinum*) formam nódulos com um número restrito de estirpes de *rhizobium* e são, portanto, considerados como "específicos" nas suas necessidades em *rhizobium.*
- Feijão *(V. unguiculata*) é considerado o mais promíscuo (não-específico criando nódulos com *rhizobium* muito facilmente) das leguminosas de grão, e a nodulação com uma vasta gama de *rhizobium* é encontrado em muitos solos.

Na natureza existe uma diversidade enorme em termos de promiscuidade e especificidade, mas o mais comum é as leguminosas serem promíscuas na sua capacidade de nodulação com estirpes nativas no solo. Assim leguminosas como feijão e amendoim, e a grande maioria das leguminosas de forragens e adubo verde e também as leguminosas arbóreas não precisam de ser inoculados com *rhizobium*.

As leguminosas que têm uma exigência específica de *rhizobium*, especialmente a soja e o grão-de-bico, precisam de inoculação. Os inoculantes de *rhizobium* são aplicados sobre a semente durante as sementeiras (ver http://www.n2africa.org/N2media) para uma série de vídeos educativos sobre o fabrico e uso de inoculante).

Muitos dos inoculantes de *rhizobium* são usados com soja, e em solos pobres, esta inoculação pode fazer a diferença entre o sucesso o fracasso da produção. A maioria das variedades de soja são específicas na sua exigência por *rhizobium* e precisam de ser inoculados para obter bons rendimentos. A mais recente (e algumas das mais antigas) variedade de soja é promíscua na capacidade de nodulação, contudo, embora esta possa formar nódulos e fixar N_2 com *rhizobium* indígena, a inoculação ainda aumenta em muitos casos a sua produtividade até 20%.

Embora relativamente pouca pesquisa tenha sido feita sobre a inoculação em grão-de-bico em África, a evidência disponível sugere que essa cultura responde fortemente a inoculantes de *rhizobium*. A situação com o feijoeiro (*P. vulgaris*) é menos clara, muitos resultados experimentais indicam respostas pouco significativas e altamente esporádica aos inoculantes, embora alguns cientistas continuem a recomendar a inoculação com *rhizobium*.

Em geral, três situações levam à necessidade de inoculação:

- Onde os *rhizobium* compatíveis estão ausentes do solo;
- Onde a população de *rhizobium* compatível é pequena; e
- Onde os *rhizobium* nativos são menos eficazes na fixação de N_2 do que as estirpes seleccionadas de inoculantes.

Apesar da inoculação poder dar maiores rendimentos na primeira temporada com leguminosas nunca antes cultivadas na parcela, alguns *rhizobium* compatíveis estão frequentemente presentes. Estes *rhizobium* vão multiplicar-se na rizosfera do hospedeiro compatível, fazendo com que a população de *rhizobium* cresça e fazendo com que a inoculação não seja necessária em épocas posteriores. Quando os inoculantes estão disponíveis, não são caros em comparação com outros meios de produção tais como fertilizantes, de modo que a utilização de

inoculantes é preferível a correr o risco de uma perda de rendimento.

Investigações recentes em inoculantes de alta qualidade indicam que o ganho de produtividade através de inoculação é significativo, mesmo em leguminosas promíscuas no longo prazo.

4.9.3 Contribuição das leguminosas para a fertilidade do solo

A fixação biológica de N_2 pode contribuir com 300kg de N/ha obtido de leguminosas de grão ou adubos verdes e excepcionalmente até 600kg de N/ ha em leguminosas arbóreas por ano. Mas onde as restrições ambientais, como a seca ou deficiência de P ou K limitam a produtividade das leguminosas os productos resultantes da fixaçao de N_2 também são reduzidos.

A contribuição das leguminosas para a fertilidade do solo depende da quantidade de N_2 fixado em relação à quantidade de N tirada do campo no momento da colheita. As leguminosas cultivadas para a melhoria da fertilidade do solo, como adubação verde ou árvores leguminosas em regime agro-florestal, adicionam a maior quantidade de N, dada a pequena fracção exportada do campo (ver caixa 4.2). Existem grandes diferenças entre as leguminosas nas quantidades de N devolvidos ao solo. Em geral, quanto maior for a biomassa produzida, maior a quantidade de N retornado ao solo advindo da fixação de N_2 atmosférico, e sendo assim, as variedades multi-funções da soja ou as variedades rastejantes de amendoim e feijão são as que deixam para trás mais nitrogénio.

Se todos os resíduos de leguminosas forem removidos do campo na altura da colheita da leguminosa a quantidade de N devolvida ao solo pode ser pequena. Muitas vezes os resíduos de leguminosas são removidos do campo e usados na alimentação do gado. É frequentemente o caso do amendoim, onde toda a planta é retirada do solo e as vagens são descascadas no terreiro da casa. As variedades de leguminosas de ciclo curto de soja e feijão que são colhidas quando as vagens se encontram já secas, no campo, tendo ja perdido a maior parte das

Caixa 4.2 Nodulação na família das leguminosas (*Leguminosae*)

A família *Leguminosae* contém cerca de 19.000 espécies classificadas em três sub-famílias: a *Caesalpiniodeae*, a *Mimosoideae* e *Papilionoideae.* A *Caesalpiniodeae* é considerada a subfamília ancestral da qual as outras sub-famílias divergiram.

A maioria das leguminosas *Mimosoideae* e *Papilionoideae* são capazes de formar nódulos radiculares e de fixar gás N_2, mas apenas um quarto das espécies de leguminosas *Caesalpiniodeae* podem nodular e fixar N_2.

Um exemplo bem conhecido de uma leguminosa *Caesalpiniodeae* fixadora de N_2 é a forrageira Wynn cássia (*Chamaecrista rotundifolia*).

Algumas leguminosas não-nodulares são amplamente usadas como plantas ornamentais (por exemplo, *Bauhinia spp.*, *Delonix regia*) ou são usados como árvores agro-florestais (por exemplo *Senna siamea*, *Senna spectabilis*) por terem um crescimento rápido e proporcionarem sombra e lenha.

Em algumas circunstâncias *Senna spp.* mostrou-se adequada para a recuperação de solos degradados. Em Benin, o profundo enraizamento de *S. siamea* permitiu recuperar os nutrientes dos horizontes profundos do solo que não se tinham conseguido alcançar por outras árvores leguminosas, permitindo assim o aproveitamento de um subsolo relativamente rico.

No sul do Malawi um programa “comida pelo trabalho” no início da década de 1990, levou à disseminação da prática de plantações em faixas por mais de 100 mil agricultores. Muitos agricultores foram fornecidos com mudas de *S. spectabilis*. Infelizmente, os benefícios foram mínimos sobre os solos não férteis de campos de pequenos agricultores e os rendimentos não se revelaram melhores, chegando até a ser piores do que sem as árvores. A selecção da *Senna* no Malawi foi em grande parte devida à falta de quantidades suficientes de sementes de outras árvores leguminosas fixadoras de N_2 como *Gliricidia sepium*. Assim, leguminosas não-fixadoras de N_2 podem também trazer beneficios para a fertilidade do solo, benefícios esses não relacionados com a fixação de N_2 atmosférico.

folhas através da senescência, contribuem com folhas, raízes e nódulos deixados no solo, fornecendo o N para a cultura subsequente. No Sahel, alguns agricultores vendem forragem de feijão nhemba como cultura de rendimento e, como resultado, todos os nutrientes contidos na biomassa são "exportados" do campo, embora o dinheiro da forragem do feijão possa ser usado pelo agricultor para comprar fertilizantes para aplicação em outras culturas.

Os rendimentos do milho cultivado após leguminosas de grão podem ser o dobro das do milho crescidos ano após ano sobre a mesma parcela. Alguns dos benefícios da rotação de culturas não pode ser imputados directamente à fixação de N_2, mas devem-se a benefícios de supressão de pragas e doenças que ocorrem pela quebra da monocultura contínua do milho.

Muitas leguminosas de grão são cultivadas em consociação com cereais, contudo outras oportunidades como a consociação de leguminosas durante o estabelecimento de culturas amplamente espaçadas, como mandioca deverão ser exploradas. Quando consociadas, os benefícios do cultivo de leguminosas fixadoras de N_2 recaem mais na obtenção desta cultura adicional e na "reserva" do N para o cereal, do que propriamente o incremento directo da fixação de N_2 no solo.

4.10 Uso de inoculantes de fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são organismos benéficos que podem ser preparados como produtos comerciais e são amplamente utilizados na agricultura. As plantas variam em sua resposta à micorrizas, sendo algumas espécies vegetais inteiramente dependentes (obrigatório), outras parcialmente dependentes (facultativo) e outras totalmente indiferentes às micorrizas. Os inoculantes comerciais de FMA existem no mercado e têm sido usados para aumentar a produtividade das plantas em agricultura, florestas e programas de restauro de terras. Os FMA formam uma associação eficaz com mais de 80% das culturas economicamente importantes, e aumentam a absorção de nutrientes e água, reduzindo os danos causados por pragas e doenças, melhorando ainda a estrutura do solo.

Propágulos micorrízicos estão presentes em todos os solos, mas à inoculação pode ser benéfica nos casos onde a população indígena é pequena.

A inoculação com FMA funciona melhor nos solos de baixa fertilidade e especialmente nos que contêm pequenas quantidades de P. Contudo, os FMA não são substitutos de fertilizantes e em solos de baixa concentração de P, a aplicação prévia de fertilizantes P é necessária para se poder obter uma resposta positiva à inoculação com FMA.

O P tem baixa mobilidade no solo e o seu suprimento é rapidamente esgotado pelas culturas na zona radicular. As hifas do FMA melhoram o acesso da raiz ao P e a outros nutrientes, tais como o zinco para além da zona de depleção circundante às raízes da cultura.

Os produtos do FMA funcionam melhor nas seguintes condições:

- solos onde houve erosão grave da qual resultou na perda da parte superficial do solo;
- culturas de baixa utilização de factores de produção, onde o fertilizante mineral tem sido pouco utilizado;
- as culturas estabelecidas após o alqueive onde a população dos propágulos de FMA se tornou pequena devido à ausência de plantas hospedeiras;
- uso do solo com espécies de plantas não micorrízicas, como as brassicas (couves);
- solos com baixa capacidade de resposta (ou seja, solos que respondem mal a aplicação de fertilizantes).

As características das plantas que mais beneficiam do estabelecimento de FMA são:

- espécies de plantas com pobre desenvolvimento radicular;
- as leguminosas fixadoras de N_2 altamente exigentes em P para nodulação;
- Plantas de propagação vegetativa (por exemplo, raízes de tubérculos, bananas, recortes de espécies de árvores) com pobre desenvolvimento inicial das raízes;
- Plantas obtidas sob condições de viveiro, que devem ser inoculadas antes do estabelecimento do campo.

Os produtos comerciais de alta qualidade de FMA apresentam as seguintes propriedades:

- uma alta densidade de propágulos viáveis e infecciosos (esporos e fragmentos de raízes com hifas infectadas) presente no produto, e
- a habilidade de colonizar o hospedeiro com arbúsculos e vesículas que se tornam evidentes nas raízes das plantas hospedeiras.

A inoculação pode não fornecer uma resposta se:

- Os solos são férteis e contêm um alto fornecimento de P.
- O hospedeiro não é dependente da associação de micorriza.
- Os solos possuem uma alta concentração de FMA indígenas- propágulos infecciosos.

4.11 Outras práticas do maneio da fertilidade dos solos

Outras medidas são muitas vezes necessárias, além do uso de germoplasma adequado, aplicação de fertilizantes e materiais orgânicos, principalmente se há outras restrições da fertilidade do solo que impedem o bom crescimento da cultura. Alguns exemplos são dados abaixo, tendo em consideração que esta lista não é necessariamente completa:

- **Correcção da acidez do solo**. Alguns solos são fortemente ácidos devido às propriedades intrínsecas do solo ou devido a práticas de gestão do solo que induziram à acidez (por exemplo o uso prolongado de amónio como fertilizante de fundo). A acidez em si não é o maior problema, a menos que o pH seja muito baixo (pH < 4), mas os solos ácidos estão associados a um teor elevado de Al de troca que restringe severamente o crescimento de algumas culturas (por exemplo milho). As taxas de aplicação de calcário devem ser calculadas para com o propósito de reduzir o Al de troca (até cerca de 15%) e não o de aumentar o pH do solo em sí.
- **Insuficiências dos micronutrientes**. As deficiências de micronutrientes podem ser observáveis (por exemplo em Zn, B). Essas deficiências são muitas vezes expressas durante o crescimento das plantas. Os fertilizantes compostos, como Mavuno no Quénia, contém muitos micronutrientes.
- **Ruptura de calos de lavoura**. A utilização contínua de solos propensos à compactação pode resultar na formação de uma camada sub-superficial no solo muito densa, verdadeira barreira ao crescimento das raízes das culturas. A ruptura de tais camadas de solo compactado pode ser feita pela charrua (lavoura profunda) ou pelo subsolador (subsolagem) atingindo uma profundidade de até 30 cm, o que irá permitir uma maior penetração das raízes e um maior acesso a nutrientes e água, do que resultará um melhor crescimento das culturas.
- **Aproveitamento da água**. Os nutrientes apenas serão usados de forma eficiente se as culturas tiverem acesso a água suficiente. A quantidade de chuvas recolhida e colocada à disposição das culturas pode ser aumentada em áreas propensas à seca. A maioria das abordagens têm o objectivo de recolher as água instalando estruturas que reduzam a escorrência (por exemplo, o sistema de "Zai" usado no Sahel ou a utilização de covas de plantação na África do Sul), ou através da manutenção de cobertura vegetal orgânica sobre a superfície do solo, para promover a infiltração e reduzir a evaporação a partir da superfície do solo. Todas essas práticas exigem mais recursos em termos de materiais orgânicos ou trabalho e portanto torna-se necessário fazer uma avaliação do risco de seca para cada área em particular que irá determinar se a mobilização destes recursos adicionais será ou não vantajosa.
- **Controle de erosão**. A erosão do solo pode ser um problema grave, especialmente em campos localizados em encostas íngremes, mas também em campos ligeiramente inclinados e com textura grosseira à superfície, zona mais exposta à erosão. A matéria orgânica e nutrientes perdem-se dos solos erodidos o que pode reduzir substancialmente a eficiência agronómica de factores de produção aplicados. Várias medidas podem ajudar a controlar a erosão, incluindo a plantação de barreiras vegetativas (por exemplo, faixas de gramíneas), construção de terraços, ou a aplicação de cobertura vegetal de superfície "*mulch*".
- **Preparação da terra**. A adequada preparação da terra para a sementeira é um pré-requisito importante a uma boa cultura, principalmente no caso de sementes pequenas. A germinação é

melhorada (e as necessidades das plantas reduzidas) quando o solo é trabalhado de forma a se obter uma estrutura friável contendo partículas finas.

- **Data de plantação**. Um atraso na data de plantação ou sementeira pode afectar negativamente os rendimentos, especialmente quando a estação de crescimento é curta. A data das plantações deve ser escolhida com base no início da estação das chuvas. A plantação precoce é geralmente um requisito para se conseguir rendimentos elevados.
- **Espaçamento**. Quando as culturas são plantadas em conjunto competem umas com as outras por nutrientes, luz e água. Densidades apropriadas de plantação, expressas como o número de plantas por hectare necessitam de ser ajustadas a diferentes condições ambientais, sendo muitas vezes reduzidas quando as chuvas e condições da fertilidade do solo não são ideais (Tabela 7.40). Por exemplo, em monocultura, recomenda-se uma taxa de sementeira de milho de cerca de 50.000 plantas / ha e para a soja de 300.000 plantas / ha. É importante considerar a distância entre linhas e entre plantas dentro da linha bem como o número de plantas por cova de plantação.
- **Práticas de sementeira e plantação.** A viabilidade das sementes deve ser de pelo menos 80% para se atingir a implantação completa da cultura. As sementes de cereais e leguminosas de grão devem ser plantadas á profundidade correcta. Mais sementes do que necessário deverão ser semeadas para se atingir a densidade final ideal para compensar falhas de germinação e permitir o raleio. Estacas de mandioca devem ser inseridas no solo, com o ângulo correcto. O tamanho do tubérculo é importante para culturas de raízes (por exemplo, inhame, batata-*Solanum tuberosum*).
- **Controlo de infestantes**. As infestantes competem com as culturas pela absorção dos nutrientes, água e luz, e a sua remoção atempada tem um impacto substancial na produtividade da cultura. Também é importante para eliminar os infestantes antes de aplicar os fertilizantes de cobertura, de modo que os nutrientes aplicados beneficiem a cultura e não o crescimento das infestantes.
- **Maneio de pragas e doenças**. As pragas e doenças devem ser controladas em estágios específicos do crescimento das culturas. As sementes tratadas devem ser usadas onde existe um risco de ataque de pragas na cama da semente. Em muitas culturas, o controle de pragas e doenças vão ser necessários, geralmente entre floração e enchimento do grão ou vagem. A falta deste controle sanitário resultaria em culturas enfraquecidas com um uso de água e nutrientes ineficiente.
- **Cultivo em consociação**. Em muitos sistemas de cultivo na ASS, diferentes culturas são 'consociadas' ou cultivadas no mesmo terreno ao mesmo tempo. Estas combinações de culturas múltiplas devem levar em conta as características específicas de crescimento e as necessidades das culturas individuais de minimizar a competição entre culturas. Por vezes, a plantação das culturas consociadas é desfasada para minimizar a competição. Por exemplo, enquanto que com o feijão se pode manter o espaçamento de milho normal, este espaçamento deverá ser aumentado (ou seja, menos plantas de milho por hectare) quando consociado com soja, que requer mais espaço em comparação com feijão. As leguminosas podem ser consociadas com a mandioca de forma relativamente fácil, desde que o espaçamento da mandioca seja ligeiramente reduzido para permitir que as leguminosas cresçam bem e minimizar a competição entre as culturas. Obviamente, práticas de maneio das culturas consociadas precisam ser adaptadas às necessidades de cada cultura em termos de espaçamento, maneio de nutrientes, das datas de sementeira ou plantação de cultura e controlo de pragas e doenças.

4.11.1 Agricultura de conservação (AC): uma solução "milagrosa"?

A agricultura de conservação (AC) é sustentada por três princípios básicos:

- A perturbação do solo é minimizada pela redução da lavoura ou pelo uso de sementeira directa.
- O solo é mantido coberto com materiais orgânicos (resíduos de colheita ou culturas de cobertura) - pelo menos 30% de cobertura de solo.
- São usadas a rotação de culturas e as consociações.

Todos os três princípios são importantes opções em MIFS mas, como todas as técnicas, o seu uso deve depender de uma avaliação caso a caso das condições locais.
A AC fornece um número de vantagens incluindo:

- Sementeira ou plantação rápida de grandes áreas; e
- redução ou eliminação da erosão do solo.

A implementação plena de AC sem uma adaptação ajustada às condições locais tem encontrado muitas dificuldade:

- Quantidade insuficiente de resíduos das culturas disponíveis para cobertura quando devido ao seu uso alternativo para alimentação animal que traz maior retorno para o agricultor a curto prazo.
- A AC frequentemente resulta em baixos rendimentos a curto prazo, sendo que os mesmos aumentam significativamente a longo prazo.
- A AC pode aumentar as exigências de trabalho a nível da monda, a menos que os herbicidas de baixo custo estejam disponíveis para controlo de infestantes.
- A implementação total da AC requer uma mudança fundamental no sistema de produção agrícola que pode não ser prático ou económico para o agricultor.

O potencial de acumulação de carbono orgânico no solo depende da textura do solo (especialmente o teor de argila) e da sua capacidade máxima em armazenar carbono.

A AC pode não resultar numa melhoria de eficiência agronómica (EA) do uso de fertilizantes. A EA pode mesmo ser reduzida sob prolongada AC devido ao aumento de lixiviação associada a uma maior infiltração de água associada a um sistema de macroporos no solo mais contínuo.

4.12 Agricultura biológica

A agricultura biológica, a agricultura de baixa utilização de factores de produção e a agricultura verde enfatizam a dependência em recursos orgânicos para fornecer nutrientes de modo a manter a fertilidade do solo e produzir rendimentos económicos das culturas. Estas técnicas podem parecer à primeira vista atractivas, porque sugerem ser possível produzir rendimentos económicos das culturas sem uso de fertilizantes minerais.

Contudo, as pesquisas mostram que, além de casos específicos onde a produção para nichos de mercado é possível, os fertilizantes minerais são componentes essenciais na agricultura sustentável, pois:

- A maioria de nutrientes no solo em muitas partes da ASS já está esgotada e necessita de reposição.
- Os agricultores não possuem quantidades suficientes de materiais orgânicos para reabastecer e manter as reservas de nutrientes no solo.
- As respostas ao fertilizante mineral são amplas e económicas na ASS.
- Os materiais orgânicos ocupam muito volume e a sua gestão requer trabalho intensivo. A aplicação de grandes quantidades de materiais orgânicos é muitas vezes insuficiente para superar as deficiências em nutrientes.

O MIFS defende o uso de fertilizantes minerais em combinação com o uso de materiais orgânicos sendo esta perspectiva suportada por pesquisas que mostraram que este uso combinado proporciona mais benefícios do que o uso exclusivo de materiais orgânicos ou fertilizantes minerais.

4.13 Adaptabilidade das intervenções

No fim de contas, a adopção de práticas agrícolas vai depender da harmonização entre o desempenho técnico (P) à escala de cada parcela, as oportunidades e compromissos (T) à escala da exploração agrícola e da aldeia e contexto dos sistemas de produção agrícolas (C) à escala regional. A decisão para adopção de uma prática agrícola deverá, então, ter em conta o desempenho da tecnologia, as soluções de compromisso entre as várias opções, e a relevância para o sistema de produção agrícola, bem como as interações entre estes três elementos (Figura 4.3).

Figura 4.3 Alguns requisitos devem ser preenchidos antes que a agricultura de conservação (AC) seja adoptada de forma eficaz pelos agricultores numa determinada localidade.

Adopção = Desempenho + Compromissos + Contexto + (PTC)

4.14 Análise ecónomica

O capital solo é o activo produtivo mais importante para o agricultor. Os agricultores fazem uso desse activo combinando-o com os factores de produção variáveis como trabalho, sementes, fertilizantes e materiais orgânicos de forma a obter um aumento da produção das culturas, produção essa que pode depois ser usada para alimentação, lucro monetário ou matéria-prima para outros processos de produção.

Capital é simplesmente definido como sendo dinheiro, recursos de produção ou propriedade usados para gerar lucro ecónomico. No caso do “capital solo’, o agricultor poderá ver-se forçado a gastar mais noutros recursos de produção de forma a compensar o declínio inevitável das propriedades do solo, se quizer manter o seu lucro económico, O “capital solo” consiste de várias propriedades, tais como conteúdo em nutrientes (ou seja, a fertilidade), matéria orgânica, humidade, organismos vivos, propriedades essas que mudam ao longo do tempo e são distribuídos de forma muito desigual quer entre os agricultores, entre as parcelas e ao longo do perfil do solo em cada parcela. Portanto, a manutenção deste “capital solo” requer a manutenção de todas as propriedades deste recurso.

Tal como com outros tipos de capital agrícola (por exemplo os equipamentos agrícolas) o agricultor incorre em custos para manter o capital solo, existindo então dois componentes de custos primários:

- **Os custos directos** são os custos do agricultor associados ao esforço (trabalho), materiais (por exemplo, fertilizantes), equipamentos e estruturas físicas necessários para manter ou melhorar as reservas do solo.
- **Os custos indirectos** (ou rendimento precedente) os custos associados a qualquer futura perda de produção resultante do declínio nas propriedades do solo devido ao uso presente de práticas do solo não sustentáveis.

Os custos directos são facilmente avaliados pelo agricultor, porque envolvem despesas directas no trabalho, materiais e equipamentos. No entanto, os custos indirectos ocorrem a longo prazo e não são de estimativa fácil. Os benefícios que provém dos investimentos na manutenção das reservas do solo providenciam um ganho duplo:

- Os benefícios de curto prazo obtidos do aumento do lucro com as culturas anuais, que pode ser re-investido em anos subsequentes na compra de fertilizantes, ou para pagar o trabalho necessário à construção de estruturas de conservação de solo e água.
- Os benefícios a longo prazo obtidos pela conservação ou aumento dos rendimentos das culturas no futuro devido aos esforços de manutenção ou melhoria da qualidade do solo no presente.

Tabela 4.3 Produção contínua de milho sem MIFS.

Parâmetros	Unidades	Ano				
		1	2	3	4	5
N Disponível no solo	kg/ha	60	30	15	7	4
Absorção de N pelo milho sem uso de fertilizantes	kg/ha	30	15	8	3	2
Rendimento sem o uso de fertilizantes	kg/ha	1000	900	700	500	350
Custo do declínio no rendimento (rendimento inicial: rendimento do ano corrente x preço de mercado do milho[a])	$	0	40	120	200	260
Benefício líquido (Rendimento x preço: custos indirectos devido ao declínio no rendimento)	$	400	320	160	0	–120

[a]Preço do milho = $0.40/kg.

Tabela 4.4 Produção contínua do milho com MIFS.

Parâmetros	Unidades	Ano				
		1	2	3	4	5
N disponível no solo	kg/ha	60	60	60	60	60
Absorção de N pelo milho sem uso de fertilizantes	kg/ha	30	30	30	30	30
Uso dos fertilizantes (repondo a diminuição do N)	kg/ha	23	23	23	23	23
Adubo orgânico (reposição da matéria orgânica e N)	kg/ha	7	7	7	7	7
Rendimento com uso de fertilizante e estrume	kg/ha	1100	1100	1100	1100	1100
Estrume (trabalho para colecta)	$/ha	20	20	20	20	20
Fertilizante	$/ha	25	25	25	25	25
Benefício líquido (rendimento x preço[a]): custos directos		395	395	395	395	395

[a]preço do milho = $0.40/kg, fertilizante = $0.5/kg.

Portanto, a tomada de decisões sobre a manutenção das reservas do solo requer uma avaliação dinâmica e complexa dos custos directos e indirectos dos benefícios a curto e longo prazo. Para fins de ilustração, apresentamos agora o caso do "capital solo" numa exploração agrícola típica sob cultivo de milho contínuo, descrevendo o que pode acontecer a esse capital ao longo do tempo (Tabelas 4.3 e 4.4).

Sem MIFS, a reserva do solo de N declina anualmente, durante um período de 5 anos sob cultivo de milho. Por uma questão de simplicidade, se assumirmos que o N total do solo é de 60kg /ha e que o milho pode utilizar 30 kg de N /ha na primeira época, podemos ver que á medida que o teor de N disponível se reduz, a cultura absorve menos N nos anos seguintes (Tabela 4.3).

Podemos também supor que a reposição natural de N é insignificante, o que leva a que a reserva de N se vá esgotando a cada ano de cultivo. O custo indirecto desse declínio no capital solo é uma perda de rendimento acumulado de 1550kg de milho sobre o que poderia ter sido produzido se tivesse mantido o capital N. Assumindo o preço de US $0.40/kg de milho, a perda total ao longo do período de 5 anos seria de R $620.

No caso do agricultor aplicar o MIFS, acrescentando os resíduos orgânicos e fertilizante mineral no solo ao longo do período de 5 anos (Tabela 4.4), se assumirmos que um saco de 50 kg de ureia (46% N, 23 kg de N / ha) e 1 t de estrume são aplicados ao solo a um custo de $45 /ano ($ 225 para 5 anos), o custo de manutenção, neste caso, é menor do que o custo indirecto de redução no rendimento ($ 620) como resultado do esgotamento de N mostrada na tabela anterior (Quadro 4.3).

Isso mostra que ao longo do tempo, a manutenção da reserva do solo pode render mais lucro do que permitir que a reserva decline. A aplicação do fertilizante inorgânico e estrume também aumenta o rendimento no primeiro ano. Portanto, o uso de produtos fertilizantes teve um efeito duplo, primeiro aumentando o rendimento e segundo, mantendo a fertilidade do solo, sustentando assim o rendimento ao longo do tempo.

Do ponto de vista do agricultor, as duas principais restrições que afectam a capacidade de investir nas reservas do solo:

- O custo dos factores de produção, e
- O valor da produção.

No entanto, se o valor da produção é menor do que o custo dos factores de produção num determinado ano, o agricultor pode ter perdas. Porém, se a longo prazo o que está sendo extraído (por exemplo, nutrientes do solo) for maior em relação ao investido, o capital vai decrescer, o rendimento diminuirá e a receita agregada ao longo to tempo será menor relativamente aos locais onde os fertilizantes e estrume são utilizados.

Uma vez que os agricultores de subsistência objectivam a maximização da produção de alimentos em vez de rendimento, é pouco provável que tenham recursos financeiros suficientes para investir na manutenção do capital do solo. Os agricultores comerciais que produzem culturas de rendimento são mais propensos a ter os recursos em dinheiro, bem como o incentivo para investir nas reservas do solo.

4.15 Conclusões

Nesta secção fizemos:

- uma revisão detalhada do uso de productos fertilizantes minerais e orgânicos;
- a identificação de uma variedade de práticas que mantêm o capital do solo;
- a avaliação de formas de medir a eficiência do uso de nutrientes e os métodos para evitar perdas; e
- a revisão dos aspectos econômicos da adopção de praticas agrícolas.

Na secção seguinte, iremos discutir a implementação do MIFS em detalhe.

4.16 Bibliografia

Lista de referências bibliográficas relevantes de leitura recomendada. Cada citação é seguida de comentários e explicações sobre a obra em *itálico*. Se a fonte estiver disponível online, é proporcionada uma hiperligação.

Giller K. (2000) Translating science into action for agricultural development in the tropics: an example from decomposition studies. *Applied Soil Ecology* 14, 1–3.

As *figuras 4.1 e 4.2 são apresentadas e discutidas nestes dois artigos.*

Giller, K.E. (2001). Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems*. CAB International, Wallingford, UK*.

Para além deste extenso texto introdutório, veja www.N2Africa.org para aceder a muitos materiais de aprendizagem sobre a fixação de nitrogénio por leguminosas.

Giller, K.E., Cadisch, G. and Palm, C.A. (2002) The North–South divide! Organic wastes, or resources for nutrient management? *Agronomie* 22, 703–709.

Giller, K.E., Witter, E., Corbeels, M. and Tittonell, P. (2009) Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: the heretics' view. Field Crops Research *114, 23–34*.

Os potenciais benefícios da agricultura de conservação são discutidos em relação aos constrangimentos e oportunidades enfrentados pelos pequenos agricultores.

Kamprath, E.J. (1970) Exchangeable aluminium as a criterion for liming leached mineral soils. Soil Science Society of America Proceedings *34, 252–254*.

Este artigo clássico explica porque o cálculo da necessidade da calagem, dos solos tropicais ácidos, deve ser orientado para a redução da saturação de alumínio para <15%, em vez de para a alteração do pH do solo.

Palm, C., Myers, R. and Nandwa, S. (1997) Combined use of organic and inorganic nutrient sources for soil fertility maintenance and replenishment. In: Buresh, R.J., Sanchez, P.A. and Calhoun, F. (eds) Replenishing soil fertility in Africa. Soil Science Society of America, Indianapolis, Indiana USA, pp. 193–219

O gráfico original para Figura 4.1 é apresentado e discutido neste artigo.

Palm, C.A., Gachengo, C.N., Delve, R.J., Cadisch, G. and Giller, K.E. (2001) Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 83, 27–42.

Palm, C.A., Giller, K.E., Mafongoya, P.L. and Swift, M.J. (2001) Management of organic matter in the tropics: translating theory into practice. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 61, 63–75.5.

Estes dois artigos descrevem as diferentes funções das correcções orgânicas no maneio da fertilidade de solos nos trópicos, tendo em consideração a qualidade e quantidade dos materiais orgânicos disponíveis.

Piha, M.I. (1993) Optimizing fertilizer use and practical rainfall capture in a semi-arid environment with variable rainfall. *Experimental Agriculture* 29, 405–415

Uma abordagem prática da variação das taxas de fertilizantes em relação à quantidade de chuva recebida durante a estação de crescimento.

Smaling, E.M.A., Stoorvogel, J.J. and Windmeijer, P.N. (1993) Calculating soil nutrient balances in Africa at different scales. II. District scale. *Fertilizer Research* 35, 237–250

Stoorvogel, J.J., Smaling, E.M.A. and Janssen, B.H. (1993) Calculating soil nutrient balances in Africa at different scales. I. Supra-national scale. Fertilizer Research 35, 227–235.

Dois trabalhos clássicos que explicam o uso de índices de balanço de nutrientes e de declínio da fertilidade do solo e como estes se relacionam com a sustentabilidade da produção agrícola.

Vanlauwe, B. and Giller, K.E. (2006) Popular myths around soil fertility management in sub-Saharan Africa. Agriculture, Ecosystems and Environment *116, 34–46*.

Mal-entendidos frequentes sobre o maneio da fertilidade do solo são apresentados neste artigo geral. Leitura essencial para todos os envolvidos neste campo de desenvolvimento.

Foto 4.1 No oeste da República Democrática do Congo (RDC), a mandioca à base de germoplasma melhorado (à direita) é um pré-requisito para maximizar a eficiência de uso agronómico de factores externos como fertilizantes, já que variedades susceptíveis à doença (neste caso de vírus de mandioca) (à esquerda) não mostram grande procura por nutrientes.

Foto 4.2 Leguminosas de grãos de função dupla, produzem uma grande quantidade de nódulos fixando quantidades consideráveis de N atmosférico.

Foto 4.3 Medidas específicas agronómicas podem aumentar a produtividade em sistemas baseados na mandioca em Sud-Kivu, a zona leste da RDC.

Foto 4.4 Variedades de soja de dupla função (direita) fornecem mais resíduos orgânicos e fixam mais gás N_2 atmosférico em comparação com algumas das variedades de ciclo curto (à esquerda).

Foto 4.5 Pode ser possível plantar duas vezes variedades de ciclo curto de soja conssociada com a mandioca antes da canópia de mandioca fechar.

Foto 4.6 Milho em consociação com soja.

Foto 4.7 Os ensaios de resposta aos fertilizantes N nos campos dos pequenos agricultores de areias graníticas em Chinyika, Zimbabwe.

Foto 4.8 Efeito do fertilizante N sobre a produtividade do milho em solos com deficiência de N, somando aos efeitos de rotação de leguminosas.

Foto 4.9 Um dos efeitos indirectos da melhoria da fertilidade do solo é a melhoria da tolerância das plantas à infestante striga.

Foto 4.10 Sacha atrasada irá reduzir a resposta da cultura à adubação nesta consociação de milho e feijão-guandu no oeste do Quénia.

Foto 4.11 Milho consociado com feijão-guandu. O feijão-guandu será colhido após a colheita de milho.

Foto 4.12 Milho consociado com mandioca. O milho será colhido antes da mandioca amadurecer.

Foto 4.13 Rotação de cultura e conservação da água usando camalhões interligados para aumentar a produtividade da cultura.

Foto 4.14 Lavoura em curvas de nível é uma opção eficaz de gestão da água em MIFS nas zonas semi-áridas.

Foto 4.15 Agricultores constroem terraços para gerir os solos em terrenos declivosos no Burundi.

Foto 4.16 Terreno inclinado sem diques nem terraços no sudoeste de Uganda.

Foto 4.17 Milho plantado sem fertilizante P (1) é atrofiado em comparação com as plantas de milho plantadas ao mesmo tempo mas com fornecimento do fertilizante P (2). As culturas em ambos terrenos foram fornecidos com fertilizantes N e K. Crescimento do milho sofre um atraso de cerca de dois meses quando o P não é aplicado (1). Este atrofiamento poderá passar despercebido se não houver parcelas de referência mostrando o crescimento das plantas onde as insuficiências de nutrientes foram eliminadas.

Foto 4.18 Ambos rebentos e raiz em desenvolvimento são melhores na planta à direita que recebeu fertilizantes P.

Foto 4.19 Esta planta de milho começou a florescer a uma altura de 40 cm, o que sugere uma fertilidade do solo muito baixa e provável deficiência de P.

Foto 4.20 Deficiência de N em bananeiras de montanha no Uganda.

Foto 4.21 Deficiência de N em bananeiras de montanha sob crescimento em estufa.

Foto 4.22 Ensaios de omissão de nutrientes são uma ferramenta útil para avaliar a resposta a cada nutriente no campo.

Foto 4.23 A deficiência de N no milho (em primeiro plano) e os efeitos do fertilizante N sobre o crescimento do milho (ao fundo).

Foto 4.24 Planta de milho jovem mostrando claros sintomas de deficiência de P (1) incluindo crescimento atrofiado (quando comparado com outras plantas que receberam fertilizante P) e coloração arroxeada nas folhas. As folhas de cor vermelha de milho em plantas mais velhas (2) provavelmente não foram causadas pela deficiência de P.

Foto 4.25 Sintomas de deficiência de K em soja plantadas em solos arenosos com deficiência de K, derivados do granito.

Foto 4.26 Deficiência de multinutrientes podem limitar a produtividade em solos degradados. Aqui plantas de milho apresentam sintomas de deficiência de Zn.

Foto 4.27 Resíduos vegetais e ervas são aplicadas como cobertura para a cultura de banana.

Foto 4.28 Nutrientes contidos na palha de cana de açúcar deixada no campo após a colheita irão beneficiar a próxima safra.

Foto 4.29 Nestes campos em Ruanda, os resíduos orgânicos são amontoados em pilhas antes de serem aplicados.

Foto 4.30 Uma grande carga de milho, incluindo palha.

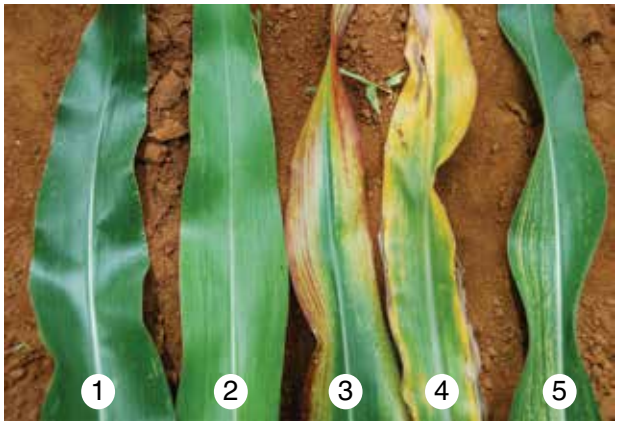


Foto 4.31 Sintomas de deficiência de nutrientes muitas vezes são visíveis em plantas cultivadas. Uma folha saudável (1), em comparação com deficiência de N (2), deficiência de P (3), deficiência de K (4) e folhas doentes (5) de milho.

Foto 4.32 No centro do Quénia vacas inspecionam as forragens melhoradas.

Foto 4.33 Agricultores constrõem montículos de solo para a plantação de inhame no norte de Gana.

Foto 4.34 A longo prazo, o MIFS pode contribuir para aumentar a resistência das culturas à seca.

Foto 4.35 Fertilizante colocado em faixas adjacente à linha da cultura.

Foto 4.36 Uma carica de garrafa de refrigerante, contém cerca de 6 g de fertilizante sendo uma medida útil para micro dosagem de fertilizante (isto é, a aplicação de pequenas quantidades de fertilizante).

Foto 4.37 Colocação incorreta de fertilizantes de fundo á sementeira. A germinação das sementes pode ser afectada devido à '"queima por fertilizante".

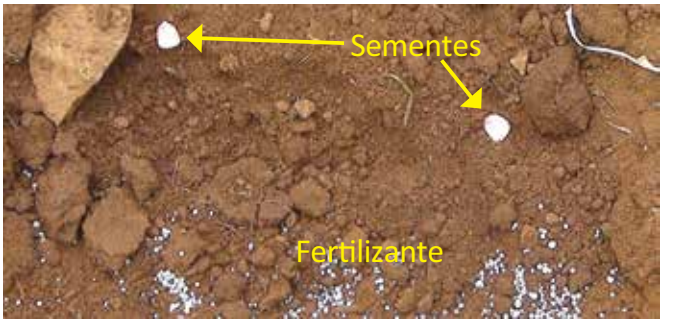


Foto 4.38 Fertilizante correctamente aplicado numa faixa adjacente a sementes no sulco de plantação elimina o risco de "queima por fertilizantes".

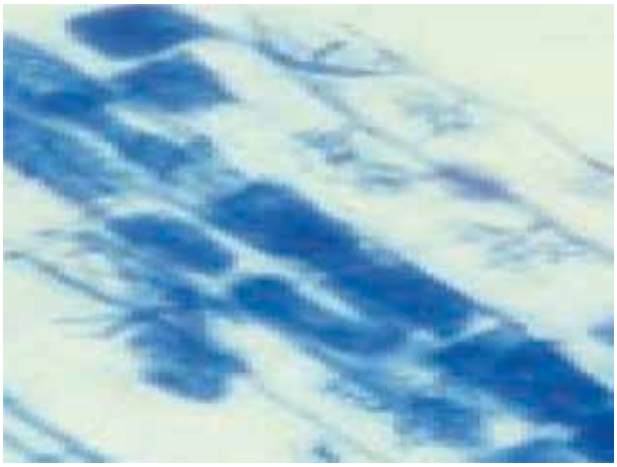


Foto 4.39 Arbúsculos, formados por todas espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), são locais intracelulares de troca de nutrientes entre a planta hospedeira e o fungo.

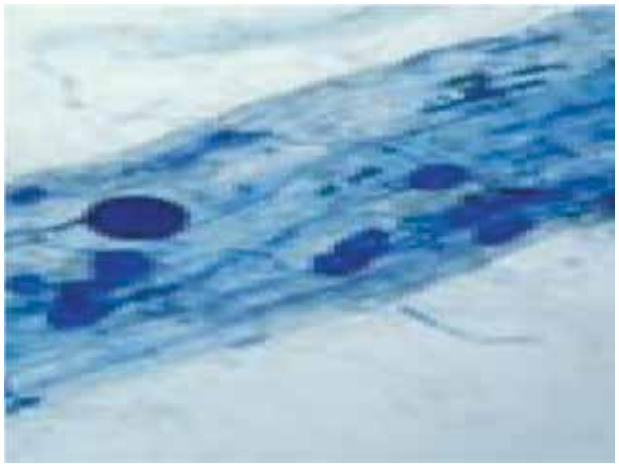


Foto 4.40 Vesículas, formadas por algumas famílias FMA, são formados como estruturas de armazenamento de óleo.

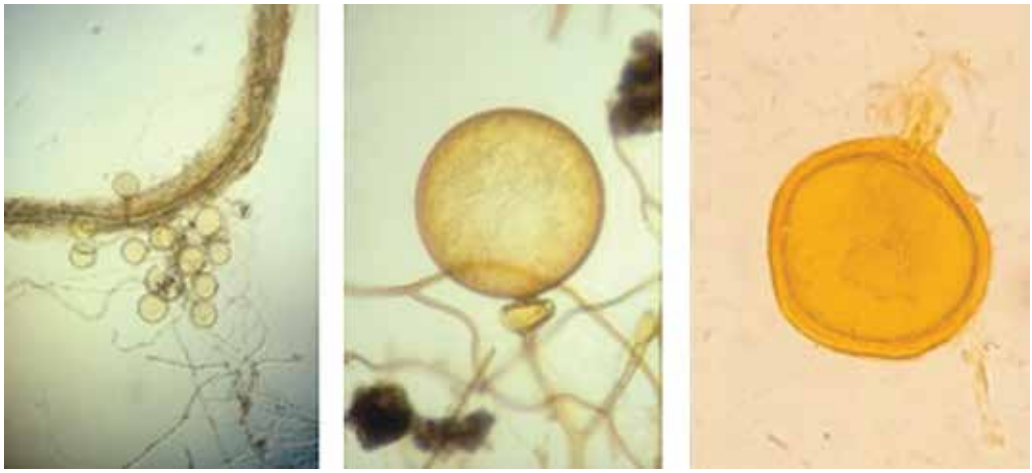


Foto 4.41 Esporos de FMA agrupados fora (á esquerda) e dentro da raiz da planta (ao meio e à direita). Os esporos podem ser formados individualmente ou em grupos, podem variar em tamanho e associar-se a uma rede de hifas. Todos estes propágulos têm capacidade de infecção.

Foto 4.42 Adubação de cobertura à base de adubo nitrogenado em plantas de milho jovens.

Foto 4.43 Fertilizantes podem ser incorporados no solo durante as sachas que se seguem à adubação de cobertura.

Foto 4.44 Nódulos são encontrados nas raízes das leguminosas inoculadas com sucesso. Nódulos activos na fixação de gás N_2 são avermelhados por dentro

5 Definição das opções do MIFS

5.1 Introdução

Na Secção 2 apresentamos a lógica subjacente ao Maneio Integrado da Fertilidade dos Solos (MIFS) bem como a sua aplicabilidade aos vários sistemas de exploração agrícola na ASS. Na Secção 3 descrevemos os fundamentos do MIFS e na Secção 4 descrevemos com detalhe as práticas mais comuns usadas no MIFS. Nesta secção fornecemos as directrizes para o delineamento de opções ajustadas de MIFS tendo em conta a diversidade das explorações agrícolas e dos sistemas de produção agrícola Africanos. Assumimos que o leitor é um técnico de extensão rural que trabalha para o Governo ou numa ONG empenhado na melhoria da produtividade dos sistemas de exploração agrícola dos pequenos produtores a nível distrital na ASS.

Desde o início, o técnico de extensão rural deverá considerar como irá difundir a implementação de MIFS a fim de gerar grandes mudanças na sua área geográfica. Paralelamente, deve ter presente que o MIFS é um processo gradual que tem em vista a melhoria da fertilidade dos solos. Pouco pode ser feito no período de tempo de uma safra, ou até mesmo de 1 ano, o que significa que o técnico de extensão rural só conseguirá obter bons resultados através de um acompanhamento sustentado dos agricultores ao longo de vários anos.

Mesmo que o extensionista esteja bastante familiarizado com uma dada área geográfica, poderá ser conveniente levar a cabo uma análise dos sistemas de produção (explorações agricolas) desta área antes de passar à prática de MIFS. A forma ideal de trabalhar consiste na criação de equipas de trabalho em que os técnicos extensionistas se revezam nas análises aos sistemas de produção agrícola (ASP), nas suas respectivas áreas de trabalho. A perspectiva de um técnico de outra área geográfica pode revelar características importantes do sistema de produção agrícola que podem não ser aparentes ao técnico local.

Os sistemas de produção agrícola de pequenos produtores existem sob diversos ambientes biofísicos e socio-económicos, e as famílias desenvolvem diferentes estratégias de vida de acordo com as oportunidades e os constrangimentos encontrados em cada ambiente. Nas localidades e aldeias, as famílias diferem em termos de posse de recursos (quantidade de terra e gado), orientação da produção (segurança alimentar versus comercialização) e objectivos (auto-consumo versus lucro), etnia, educação, experiência e competências de gestão, e atitude face ao risco.

5.2 Análise dos sistemas de produção agrícola (ASP)

Um sistema de produção agrícola (uma exploração agrícola) inclui todos os componentes de uma empresa agrícola, incluindo:

- Terras agrícolas, sistemas de cultivo e pecuária;
- Terra comunais para pastagem e produção de madeira geridas por vários agricultores de uma comunidade; e
- Actividades não-agrícolas.

Todos estes componentes devem ser considerados no contexto dos mercados de terra, de mão-de-obra, de factores de produção, de venda de produtos agrícolas, de crédito financeiro e do conhecimento.

A ASP fornece as informações necessárias para projectar, planificar, implementar, monitorizar e fazer a avaliação das intervenções, de forma a melhorar a produtividade e a sustentabilidade dos sistemas de exploração agrícola analisados. A ASP é usada para identificar “domínios agrícolas” ou agrupamentos de explorações agrícolas e agricultores com limitações e oportunidades de melhoria semelhantes, aos quais os extensionistas poderão fazer mais ou menos as mesmas recomendações de MIFS. A ASP é, portanto, uma ferramenta útil para avaliar a possibilidade de aplicação de opções diferenciadas de MIFS dentro dos sistemas de produção agrícola na ASS (Figura 5.1).

Um resultado importante da ASP é a identificação e caracterização dos sistemas de cultivo e tipos de exploração agrícola dominantes na área alvo. Isto é importante porque os escassos recursos de extensão rural deverão ser canalizados para as explorações agrícolas e sistemas de produção agrícola com maior potencial numa determinada região a fim de melhorar a sua produtividade e o modo de vida das populações através da introdução de MIFS.

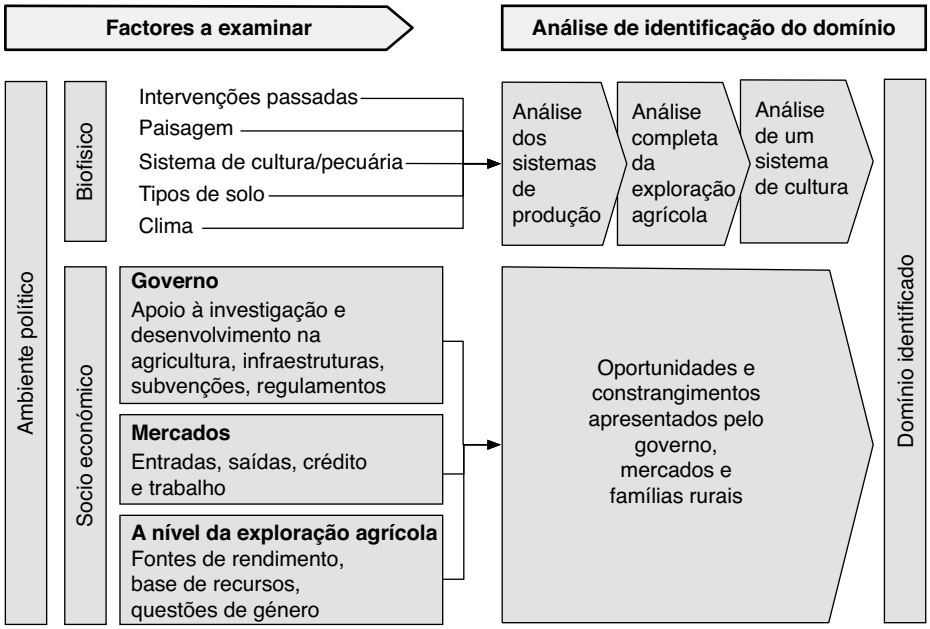


Figura 5.1 A análise dos sistemas de produção implica uma análise detalhada do ambiente biofísico bem como dos factores sócio-económicos e das políticas governamentais que têm impacto na agricultura. As oportunidades e os constrangimentos são identificados no contexto dos sistemas de produção e de cultivo agrícola examinados permitindo a identificação dos domínios agrícolas para actividades no terreno.

As informações resultantes da ASP podem ser usadas por técnicos extensionistas, agrónomos, políticos, economistas ou por uma equipas multidisciplinares. independentemente. A ASP deve reflectir a realidade enfrentada pelos agricultores nas suas explorações dentro da sua localidade.

A ASP deve ser feita antes do início de qualquer actividade de campo. Muitas vezes afigura-se útil actualizar a análise numa base anual de modo a poder fazer-se uma avaliação das alterações ocorridas no ambiente de operação resultantes das actividades do projecto. Os registos da ASP devem ser compilados e armazenados nos gabinetes de agricultura distritais, para que outros os possam usar no futuro.

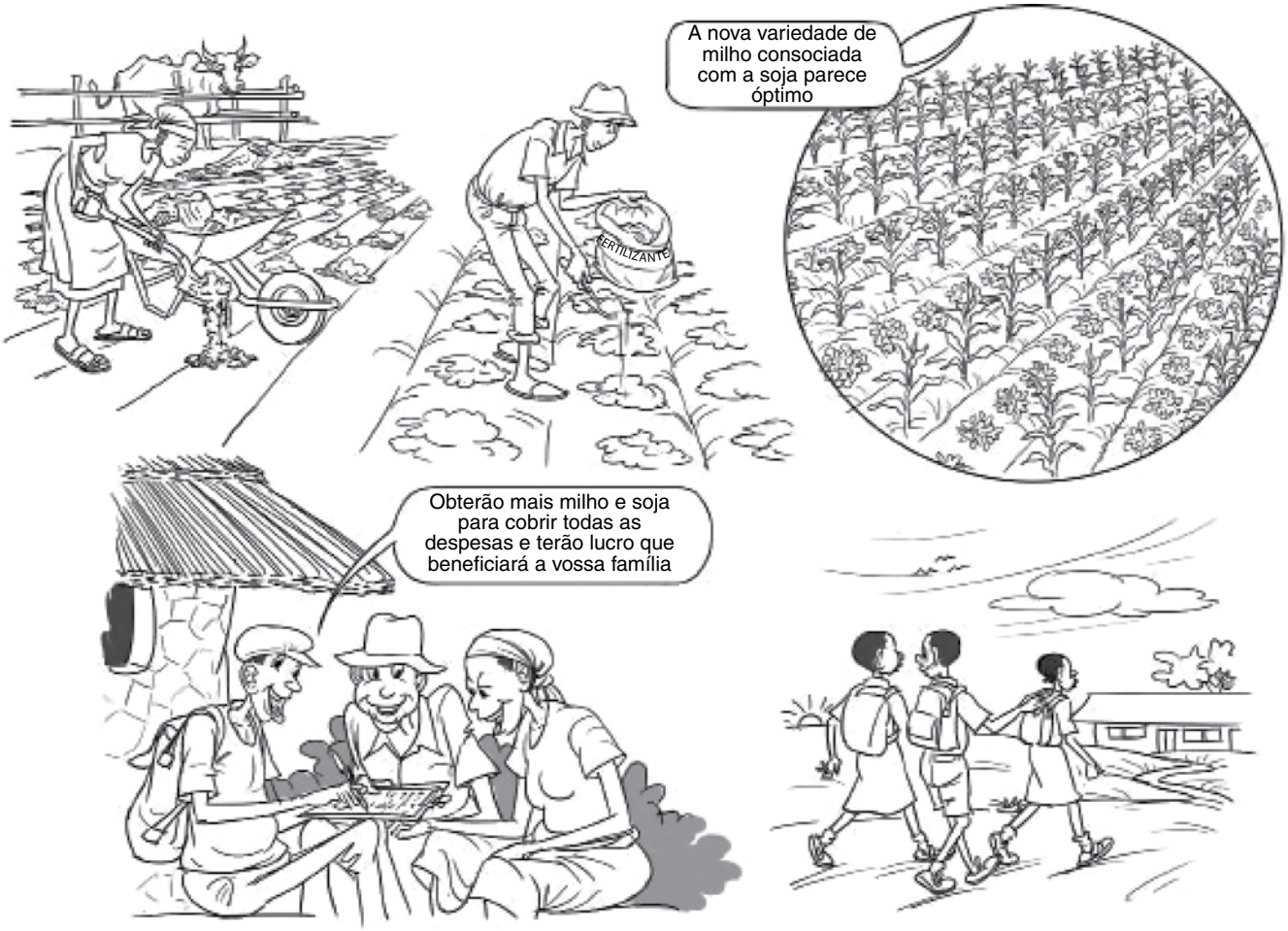
A ASP deve ser feita de modo que:

- Os agricultores sejam o sujeito e não o objecto da investigação e participem plenamente na análise.
- O estudo aborde o impacto do género no acesso a recursos e mercados, identificando oportunidades e restrições para a adopção do MIFS associadas ao género.
- A diversidade dos sistemas de produção agrícola dentro de um dado domínio agrícola seja apresentada e analisada.
- O estudo não seja distorcido pela época do ano (estação) em que a análise for feita.
- O extensionista deverá percorrer as explorações agrícolas o mais integralmente possível, evitando o efeito “beira-da-estrada”, de forma a obter uma visão geral do grau de heterogeneidade dentro e entre explorações agrícolas.

Uma ASP devidamente concebida e implementada fornece o seguinte:

- Identificação de grupos de explorações agrícola dentro do sistema de produção;
- Uma avaliação da diversidade dos rendimentos agrícolas, da capacidade de dotação de recursos e das oportunidades de melhoria da produtividade;
- Um calendário agrícola que mostre a cronologia das principais operações culturais, incluindo as datas de sementeira ou plantação e colheita para as principais culturas do sistema de produção;
- Informação quantitativa sobre os fluxos de serviços, produtos agrícolas e nutrientes dentro da exploração agrícola e entre as explorações agrícolas de cada sistema de produção;
- Análise de lacunas de produção e produtividade em todas as empresas agrícolas e pecuárias dentro do sistema de produção;

Publicado por Africa Soil Health Consortium



- Uma avaliação das principais áreas de risco no sistema de produção (por exemplo o clima, flutuação de preços, etc); e
- Uma análise económica do sistema de produção agrícola, incluindo a identificação dos principais impulsionadores de mudança na produtividade.

A equipa da ASP irá precisar de:

- Mapas (solo, geologia, vegetação, fronteiras políticas e administrativas);
- Estatísticas agrícolas e não-agrícolas a manter no gabinete de agricultura distrital; e
- Um Sistema de Posicionamento Global (GPS) que permita geo-referenciar e posteriormente mapear os dados de localização (localização das explorações agrícolas, dos fornecedores de factores de produção, etc).

Segue-se abaixo uma descrição das várias actividades que podem ser realizadas como parte da ASP.

5.2.1 Histórico de actividades

É muito provável que já se tenham desenvolvido projectos e programas agrícolas em muitas das regiões da ASS. Portanto, é importante recolher o histórico das intervenções anteriores (programas, projectos do governo, iniciativas de agricultores) de forma a obter informações sobre o sucesso e fracasso das mesmas.

5.2.2 Recolha de dados biofísicos

Os dados sobre o clima podem ajudar a equipa a compreender o calendário de actividades agrícolas (preparação da terra, sementeira, colheita) e os riscos envolvidos nos sistemas de produção agrícola. A informação mais importante é a pluviosidade (mm/mês), os dias de chuva (número de dias de chuva por mês), e os dados de pluviosidade dos últimos cinco anos para que seja possível avaliar a variabilidade das chuvas (mm/ano, calendário da estação chuvosa). Outros dados (por exemplo, temperatura, radiação solar, velocidade e direcção do vento) são úteis, mas não são essenciais para as actividades relacionadas com o MIFS.

Estações meteorológicas electrónicas acessíveis e fiáveis já estão disponíveis e devem ser consideradas recursos essenciais em qualquer projecto de médio prazo.

O défice de água no solo (mm/ano) pode ser calculado com base em dados de pluviosidade utilizando uma folha de cálculo Excel simples.

5.2.3 Identificação de sistemas de produção agrícola dominantes em cada domínio agrícola

Sistemas de produção dominantes podem ser encontrados em quase todas as regiões da ASS. Por exemplo, numa dada região os agricultores podem cultivar um cereal (isto é, milho ou arroz) com base num sistema de rotação de consociação com leguminosas de grão. Neste sistemas, os resíduos de culturas são utilizados como alimento para gado e o estrume animal é usado nos campos agrícolas. No entanto, dentro de cada sistema de produção existem muitas variações:

- Os agricultores mais ricos podem ter explorações agrícolas maiores produzindo, provavelmente, excedentes que podem ser vendidos no mercado local. O mais provável é que eles alimentem o seu gado com os resíduos de culturas podendo até comprá-los nas pequenas explorações circunvizinhas de forma a poderem manter um efectivo animal maior. Os agricultores mais ricos podem estar já a usar sementes melhoradas e fertilizantes.
- Os agricultores mais pobres geralmente têm pequenas explorações agrícolas que podem não produzir o suficiente para atender às suas necessidades de subsistência. Os resíduos de culturas podem ser vendidos a explorações agrícolas maiores, pois o agricultor não se pode dar ao luxo de comprar gado. Os agricultores mais pobres muitas vezes não têm recursos financeiros para comprar factores de produção agrícola tais como sementes e fertilizantes. A agricultura contribui, em muitos casos, com apenas uma parte da economia familiar estando os membros da família envolvidos em actividades não-agrícolas.

Assim, embora tanto os agricultores mais ricos como os mais pobres possam enfrentar problemas semelhantes em termos de maneio da fertilidade do solo, os “pontos de entrada” para a introdução de práticas melhoradas de MIFS bem como o período de tempo necessário à sua implantação podem ser muito diferentes. Os agricultores não pertencem a grupos distintos de “ricos” e “pobres”, pelo contrário o que existe é um gradiente muito extenso em termos de capacidade de “dotação de recursos.” Além do mais, a fertilidade do solo não é uniforme dentro de cada exploração agrícola, sendo os campos mais férteis os mais próximos da propriedade e os mais empobrecidos ou degradados os das terras mais afastadas de uso comunitário.

5.2.4 Agrupamento de agricultores

A maioria das pesquisa agrícolas aponta para uma diversidade considerável dos agregados familiares dentro de cada domínio agrícola. Os agricultores podem ser agrupados de acordo com as características do seu sistema de produção agrícola, contribuição das actividades não-agrícolas para a renda familiar e posse de animais. Isto ajuda os extensionistas na identificação de grupos-alvo e, posteriormente, na planificação de

actividades e programas consoante objectivos específicos comuns (por exemplo, intensificação do rendimento nas explorações agrícolas maiores versus melhoria da segurança alimentar nas explorações agrícolas mais pequenas).

As perguntas-chave para a criação de agrupamentos de agricultores:

1. Área total detida pelo agregado familiar (ha).
2. Área total cultivada pelo agregado familiar (ha), incluindo a área abrangida pelos "campos agrícolas próximos", "campos agrícolas distantes" e "terrenos baldios".
3. Área total com culturas de rendimento (ha).
4. Dimensão da família (número dos membros da família que "come e dorme" em casa).
5. Mão-de-obra familiar (número de membros que trabalha na exploração agrícola).
6. Membros da família que trabalham temporariamente e/ou permanentemente em áreas não agrícolas.
7. Idade e nível de escolaridade do chefe da família.
8. Percentagem do rendimento do agregado familiar proveniente de actividades agrícolas e não-agrícolas.
9. Número de anos que o agregado familiar vem recebendo rendimentos provenientes de actividades não-agrícolas.
10. Orientação para o mercado (percentagem da produção destinada ao mercado).
11. Número de cabeças de gado autóctones.
12. Número de gado de raças melhorada.
13. Número de bois e charruas puxadas por bois ou outros meios.
14. Número total de outros animais (ovelhas, cabritos, porcos, aves).
15. Meses de auto-suficiência alimentar.

Um exemplo de uma tipologia agrícola poderia ser:

- **Tipo 1**: Explorações agrícolas que dependem de mão-de-obra externa de forma permanente.
- **Tipo 2**: Explorações agrícolas maiores, com maiores recursos que produzem culturas de rendimento em solos mais férteis.
- **Tipo 3**: Explorações agrícolas com recursos médios, auto-suficientes em termos alimentares.
- **Tipo 4**: Explorações de médios a baixos recursos, com solos de baixa fertilidade com grande variabilidade na fertilidade dentro da exploração agrícola e onde os agregados familiares dependem, em parte, de actividades não-agrícolas para a renda familiar. Os agricultores possuem, em regra, poucos animais.
- **Tipo 5**: Famílias pobres com terras de baixa fertilidade e com grande variabilidade na fertilidade do solo. Os membros da família são empregados localmente como trabalhadores agrícolas por agricultores com mais recursos. Estes agricultores possuem poucos animais.

O uso de estrume e fertilizantes químicos no passado, estando associado à capacidade de dotação de recusos da exploração, tem uma forte influência sobre o estado actual da fertilidade do solo das explorações agrícolas. Assim, a tipologia agrícola é importante para ajudar a explicar a variabilidade da fertilidade do solo. Os agricultores que possuem animais são geralmente mais ricos do que os agricultores sem efectivo animal.

5.2.5 Rácio "terra:mão-de-obra"

A relação entre terra e mão-de-obra pode ser calculada a partir dos dados recolhidos para a categorização de agricultores e seu agrupamento. Por exemplo, na agricultura de sequeiro, os agricultores podem normalmente, ser separados em dois grupos com base no rácio terra:mão-de-obra:

- Agregados familiares com um rácio terra:mão-de-obra baixo (ou seja, <1 ha por membro da família), com maior probabilidade de serem pouco auto-suficientes em termos alimentares (<3 meses) e de dependerem de actividades não-agrícolas para gerar mais de 50% da renda total.

- Agregados familiares com um rácio terra:mão-de-obra elevado (ou seja, >1 ha por membro da família), com maior probabilidade de serem mais auto-suficientes em termos alimentares (> 5 meses) e de dependerem de actividades não-agrícolas para gerar menos de 50% da renda total.

5.2.6 Avaliação de riscos

A equipa de MIFS deve avaliar os principais factores de risco de produção e classificá-los de acordo com a sua influência na rentabilidade agrícola. Os principais factores podem incluir:

- Seca durante a fase de produção agrícola (frequência, magnitude, efeito sobre o rendimento das culturas),
- Volatilidade dos preços das culturas, e
- Preços e disponibilidade de recursos de produção agrícolas.

5.3 Análise dos sistemas de produção agrícola

Vamos agora descrever várias actividades que podem ser realizadas como parte da análise dos sistemas de produção agrícolas.

5.3.1 Inspecção de campo

A inspecção dos terrenos envolve uma observação minuciosa de todas as parcelas da exploração agrícola, a fim de obter uma ideia geral da fertilidade do solo e seus efeitos sobre a produção. Dado que uma única visita a uma determinada localidade pode resultar num quadro incompleto, diversas visitas são recomendadas. Pernoitar na exploração, talvez como um hóspede de uma família de agricultores, poderá trazer oportunidades de obtenção de informações que as visitas diurnas não permitiriam obter. Uma equipa de ASP composta por quatro pessoas poderá recolher dados suficientes para um sistema de produção agrícola em cerca de 5 dias.

É sempre importante que as ONGs discutam os programas de ASP com agências governamentais locais antes de realizar trabalho de campo. Os funcionários dos governos locais detêm, muitas vezes, um conhecimento profundo da actividade agrícola local e dos projectos e iniciativas de desenvolvimento anteriores.

Os técnicos de ASP deverão também avaliar a variabilidade no desenvolvimento das culturas, incluindo o aspecto sanitário e o rendimento final, nas diferentes parcelas de cultivo dentro da exploração a fim de identificar os campos "*de dentro*" próximos e férteis, campos "*de fora*" distantes e menos fertéis mas com grande capacidade de resposta e os terrenos "baldios" normalmente degradados .

Durante as inspecções no terreno procure obter as seguintes informações:

- O agricultor possui efectivo animal e usa o estrume animal na sua própria exploração ou vende o estrume a outros agricultores?
- O estrume animal é aplicado em todos os campos ou apenas em alguns campos ou culturas na sua exploração agrícola?
- Os resíduos da cultura são deixados no campo, vendidos ou utilizados para alimentar os animais da exploração?
- No caso de não possuir gado, o agricultor compra estrume animal para usar na sua exploração agrícola? Se sim, em que campos são aplicados?
- O agricultor usa fertilizantes minerais? Se sim, quais os tipos e as quantidades utilizadas e que culturas e campos são fertilizados?

A inspecção no terreno deve ser realizada várias vezes durante a época de produção agrícola, dado que a aparência das culturas se altera ao longo do tempo. Por exemplo, uma única visita que, por acaso, coincide com um período de seca curto pode, provavelmente, fornecer uma impressão enganosa e incorrecta sobre a capacidade de desenvolvimento da cultura e da fertilidade do solo. Além disso, várias visitas podem ser necessárias antes que o agricultor ganhe familiaridade suficiente com os extensionistas ao ponto de revelar a sua situação e os seus problemas aos visitantes.

Muitas vezes, afigura-se útil fazer um mapa da exploração com informações sobre rotação de culturas, ciclo dos nutrientes, condições de fertilidade do solo e rendimentos.

5.3.2 Avaliação das lacunas de produção

Um passo importante é fazer uma análise da diferença entre os rendimentos obtidos nos campos de ensaio geridos por pesquisadores do MIFS, onde não há restrições agronómicas, e os rendimentos nos campos dos agricultores, para todas as principais culturas do sistema de produção agrícola. Isto fornece uma indicação sobre os potenciais benefícios advindos da aplicação das técnicas do MIFS. A equipa de ASP deve analisar os aspectos económicos da redução das lacunas de rendimentos.

Ensaios agronómicos poderão ter sido realizados nos próprios campos dos agricultores, inseridos num dado domínio agrícola seleccionado para MIFS. Estes ensaios locais fornecem informações úteis sobre a resposta provável desta culturas aos fertilizantes minerais ou outras fontes de nutrientes, e são fundamentais para a avaliação da fertilidade do solo e das taxas de aplicação de fertilizantes necessários localmente.

Deverão fazer-se estimativas da produtividade das culturas cultivadas nos “campos de dentro”, nos “campos de fora” e nos “terrenos baldios”. Deverão também comparar-se os rendimentos obtidos nos campos dos agricultores aos rendimentos máximos para as culturas cultivadas sem restrições de nutrientes. Isto pode ser feito tomando como referência os resultados de ensaios agronómicos realizados na própria exploração agrícola, se disponíveis, ou em alternativa, os melhores rendimentos obtidos nos últimos anos na região. As lacunas de rendimento fornecem uma indicação do potencial de melhoria do rendimento e da produção de culturas através da introdução de práticas de MIFS.

5.3.3 Frequência e programação das visitas de campo

Como mencionado acima, a realização de uma única visita poderá resultar numa imagem distorcida ou incompleta do desenvolvimento das culturas numa determinada exploração agrícola. Portanto, os extensionistas deverão fazer várias inspecções ao terreno em explorações agrícolas seleccionadas, dentro de um dado domínio agrícola ao longo da época de produção de modo a obter informações fiáveis sobre o efeito dos niveís de fertilidade do solo na produção agrícola.

O extensionista deverá planificar as inspecções ao terreno de modo a coincidirem com períodos críticos do desenvolvimento das culturas. Por exemplo, problemas de fertilidade do solo são detectados no milho, na fase de desenvolvimento “1 mês após a sementeira” quando se verifica um atraso no desenvolvimento das plantas, sob condições de humidade do solo adequadas.

5.3.4 Manutenção dos registos das actividades agrícolas

Os registos relativos à fertilidade dos solos e à produtividade das culturas raramente estão disponíveis, embora sejam informações extremamente úteis para a avaliação da fertilidade actual dos solos. A nível de cada domínio agrícola, um livro de registo mantido por líderes da aldeia poderá fornecer informações úteis sobre a variabilidade dos rendimentos em todas as explorações agrícolas, estações do ano e ao longo dos anos.

O sistema de cultivo caracteriza-se pelo conjunto de culturas dentro de uma parcela específica, sua disposição espacial e temporal e práticas agronómicas associadas.

5.3.5 Utilização de um calendário agrícola

Deve ser preparado um calendário agrícola que contenha as principais actividades (isto é, datas de sementeira ou plantação, aplicação de fertilizantes e colheita) para cada cultura cultivada em cada sistema de produção agrícola encontrado na área em estudo. Os calendários agrícolas devem ser preparados em estreita colaboração com os agricultores, e são importantes para fornecer informações sobre variabilidade entre os agricultores na calendarização das actividades .

O objectivo é documentar práticas existentes como um primeiro passo para identificar possíveis "pontos de entrada", onde as técnicas de MIFS poderão ser introduzidas. Por exemplo, um calendário agrícola para uma cultura de cereal pode revelar uma oportunidade para a melhoraria da sua eficiência na utilização de fertilizantes de N através da calendarização de uma aplicação de N em alturas mais coincidentes com os períodos de grande procura deste nutriente pela cultura.

5.3.6 Utilização de orçamentos participativos

Os extensionistas constataram que ao invés de preparar um orçamento por cultura ou por empresa agrícola para os agricultores se afigura mais vantajoso trabalhar *com* os agricultores na preparação dos mesmos orçamentos (Figuras 5.2 e 5.3). O chamado orçamento participativo é utilizado para identificar e quantificar o uso de factores de produção e os rendimentos finais de uma empresa agrícola ao longo de um dado período de tempo. O método também pode ser usado para explorar o impacto da introdução do MIFS e para comparar diferentes opções de MIFS.

O método é baseado num jogo de mesa africano designado *Bao, Awari* ou *Mancala*. Usando um tabuleiro ou grelha ou mesmo covachos no chão e sementes ou pequenas pedras como "peças de jogo", os agricultores indicam as diferentes actividades, colocando as "peças" nos covachos, bem como as quantidades de recursos usados pelo uso de maior ou menor uso de "peças". Por exemplo, o uso de mão-de-obra em diferentes empresas agrícolas pode ser quantificado, e podendo-se assim, de uma forma geral, elaborar orçamentos mais ajustados a cada empresa agrícola.

5.4 Avaliação da fertilidade dos solo

A fertilidade do solo como termo geral é descrito na Secção 6.4 e os métodos de recolha de amostras de solo são descritos na secção 7.2. Os valores críticos de algumas das propriedades físicas e químicas de solos dos terrenos situados a cotas elevadas, são apresentados na Secção 7.

Um solo "fértil" tem as seguintes características:

- Uma quantidade adequada de macronutrientes, tais como o nitrogénio (N), fósforo (P) e potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e enxofre (S) e de micronutrientes, incluindo boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdénio (Mo), cloro (Cl), cobalto (Co) e zinco (Zn) para sustentar a produção de culturas a longo prazo.
- As reservas de nutrientes são repostas através da reciclagem dos resíduos das culturas, adição de estrume animal, materiais de compostagem, fertilizantes minerais e fixação biológica de N_2 através das leguminosas.
- Quantidades suficientes de material orgânico devolvidos ao solo através da adição de raízes, resíduos de culturas e estrumes animais permitem manter a matéria orgânica do solo, contribuindo para que o solo tenha uma estrutura adequada com grande capacidade de armazenamento de nutrientes e de humidade.

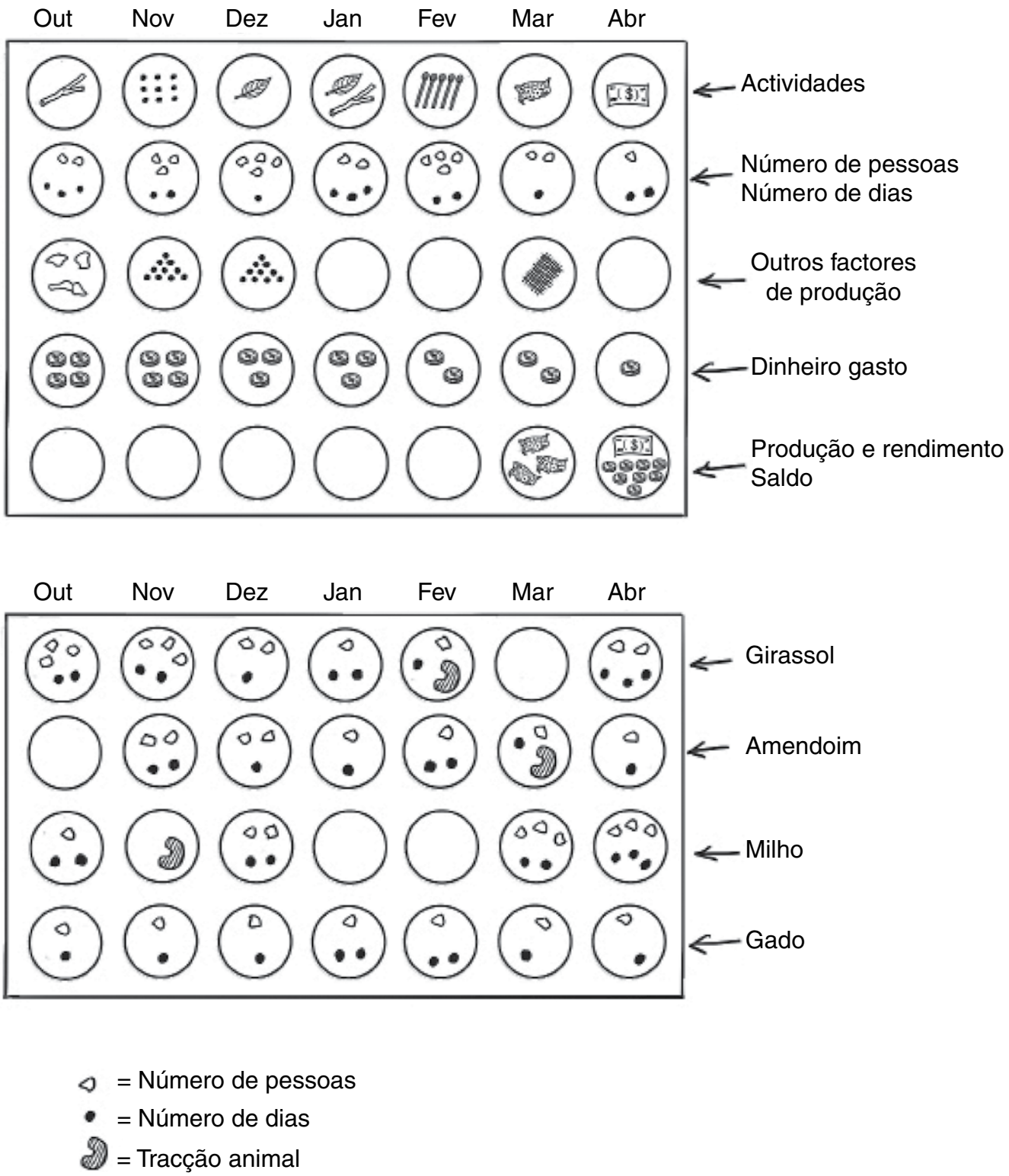


Figura 5.2 Orçamento de recursos de mão-de-obra atribuídos às diferentes culturas.

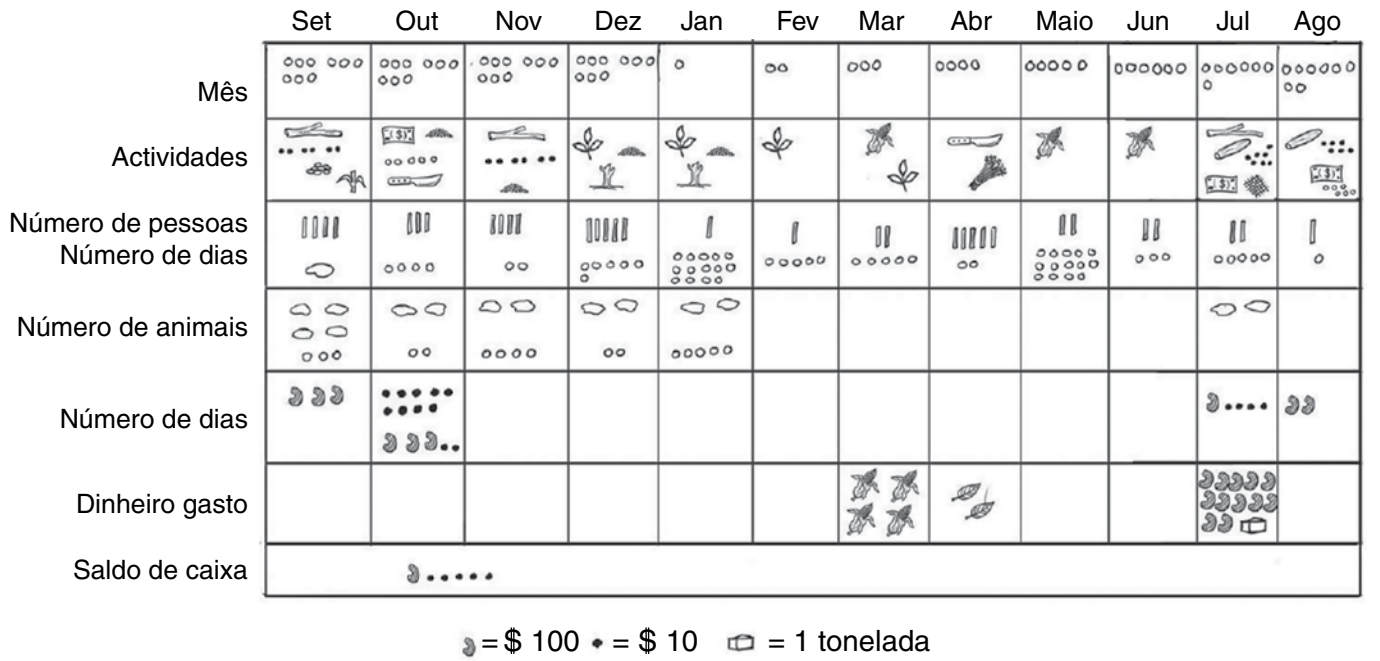


Figura 5.3 Orçamento participativo elaborado por mulheres agricultoras no Zimbabwe mostrando custos em factores de produção e rendimentos para 1 ha de milho. Símbolos foram utilizados para elaborar o orçamento.

5.4.1 Fluxo de recursos dentro e entre explorações agrícolas

A equipa de ASP deve fazer uma análise da circulação das produções das culturas, resíduos das culturas e estrumes de origem animal entre campos e explorações agrícolas, com especial atenção para:

- A circulação de resíduos de culturas entre campos (por exemplo, o uso de resíduos de culturas obtidos em campos agrícolas próximos da casa para campos agrícolas mais distantes) e entre explorações agrícolas (por exemplo, venda de resíduos de culturas pelo agricultor sem gado ao agricultor com gado para alimentação animal);
- A circulação de estrumes de origem animal entre campos da mesma exploração e entre explorações agrícolas (por exemplo, venda de estrume animal pelo agricultor com gado ao agricultor sem gado);
- O objectivo de produção agrícola, se para fins de segurança alimentar ou venda;
- A aplicação de quantidades correctoras de calcário em solos com baixo pH, especialmente quando acompanhados de toxicidade de alumínio (Al) e cultivados com culturas sensíveis à toxicidade de alumínio.
- Drenagem suficiente para a remoção do excesso de água, mantendo a humidade suficiente para o crescimento da cultura;
- Estruturas adequadas de conservação do solo a fim de minimizar a perda de solo e de nutrientes devido a erosão e escoamento superficial da água de; e
- Mantendo quantidades de fósforo P> 20 mg / kg disponível, e potássio K> 0,20 cmol(+) / kg trocável.

Um solo *não fértil* pode simplesmente não ter nutrientes suficientes para sustentar o crescimento da cultura ou pode, numa situação extrema, estar degradado de tal forma que a camada superficial pode já ter-se perdido por erosão, a matéria orgânica do solo ter-se esgotado, a estrutura do solo entrado em colapso, tendo perdido a sua capacidade de resposta aos fertilizantes minerais.

É importante distinguir entre a fertilidade de diferentes tipos de solo (por exemplo, solos arenosos com uma textura leve versus solos argilosos com uma textura pesada) e a fertilidade entre diferentes campos ou explorações com o mesmo tipo de solo. Assim, enquanto o sistema de classificação dos solos fornece informações úteis sobre as suas propriedades gerais, a reserva actual de nutrientes e a sua *fertilidade* são altamente afectadas pelo forma como um solo foi gerido no passado e no presente.

A distinção pode igualmente ser feita entre os solos que são inerentemente inférteis (ou seja, já eram inférteis antes de serem cultivados, com pequenas reservas de nutrientes e propriedades não conducentes ao bom desenvolvimento de culturas) e solos que tendo sido férteis, se tornaram cada vez menos férteis depois do seu uso repetido sem um maneio adequado da fertilidade do solo e falta de reposição de nutrientes ao solo.

A fertilidade do solo geralmente aumenta de forma progressiva ao longo do tempo, sob práticas adequadas de MIFS, implementadas a médio prazo (5–10 anos).

Os agricultores normalmente têm três tipos de terrenos agrícolas:

- "Campos de dentro", terrenos que se localizam próximos da casa do agricultor e que recebem regularmente adubo orgânico e fertilizante;
- "Campos de fora", terrenos menos férteis que se localizam longe da casa do agricultor e que são cultivados continuamente sem o acréscimo de nutrientes; e
- "Terrenos baldios", terrenos mais distantes das povoações, por vezes mais férteis do que os "campos de fora" porque a actividade agrícola é menos intensa, outras vezes degradados.

A análise da forma como as diferenças na fertilidade do solo dentro e entre explorações afectam a eficiência agronómica do uso de fertilizantes e estrume e, por conseguinte, as recomendações de adubação, tornam esta análise de fluxo de recursos uma importante ferramenta de ajuste do sistema.

É importante avaliar a produtividade das culturas e os fluxos de recursos (resíduos de culturas, ração animal, adubos animais, fertilizantes) em cada tipo de solo. Isto vai ajudar os extensionistas na identificação de oportunidades de intervenção a fim de obter melhorias agronómicas e identificação das áreas dentro do sistema de produção agrícola que devem ser considerdas prioritárias para intervenção.

Existem muitas pistas sobre a fertilidade do solo, tanto directas como indirectas, que deverão ser evidentes para o visitante atento. O bem-estar do agricultor e da sua família (saúde, nutrição, vestuário, bens) fornece pistas úteis indirectas, assim como o tamanho dos seus celeiros. Agricultores que dependem da agricultura de subsistência mas que tem alcançado um bom nível de prosperidade, estão provavelmente a cultivar "solos férteis".

5.4.2 Sintomas de deficiências nutricionais

Os sintomas nas folhas das culturas podem ser uma indicação de deficiências nutricionais agudas devido à baixa fertilidade do solo. O milho (Foto 4.13) e muitas outras culturas mostram claros sintomas de deficiência nas folhas. As culturas apresentam-se frequentemente atrofiadas quando carecem de nutrientes, especialmente de fósforo (Foto 4.17).

5.4.3 Plantas indicadoras

A presença de certas plantas expontâneas pode ser usada como um indicador de uma baixa fertilidade do solo ou de problemas associados (por exemplo um baixo nível de nutrientes do solo, toxicidade por Al, drenagem insuficiente, etc).

5.4.4 Recolha de amostras de solos

A recolha de amostras de solos e sua análise pode fornecer informações muito úteis sobre a fertilidade do solo,

desde que a recolha das amostras seja feita correctamente (Secção 7.2). As amostras devem ser retiradas dos primeiros 20 cm do solo uma vez que esta é a zona onde a maioria das raízes se encontra.

Ao recolher amostras de solo numa exploração agrícola é importante ter em conta os gradientes de fertilidade do solo em cada parcela e entre as mesmas. Amostras compostas retiradas separadamente devem ser recolhidas em cada parcela da exploração onde houver evidência de gradientes de fertilidade do solo entre parcelas. A existência destes gradientes de fertilidade entre parcelas pode ser detectada pela existência de diferenças de desenvolvimento e aspecto geral das culturas e mesmo pelo aspecto do próprio solo, entre as parcelas.

Afigura-se igualmente importante estudar a variabilidade da fertilidade do solo de entre 5–10 explorações agrícolas dentro de um mesmo domínio agrícola, incluindo amostras retiradas de campos agrícolas "de dentro", "de fora" e "baldios" em cada exploração. Este estudo irá fornecer informações úteis na definição de áreas que possam beneficiar das mesmas recomendações de fertilizantes.

É também recomendável a recolha de amostras de solos não cultivados para subsequente comparação com as amostras de solos cultivados. Isto pode ajudar a esclarecer até que ponto as actuais práticas do agricultor levam à degradação, mantém ou até melhoram a fertilidade do solo.

Deve sempre ser utilizada uma sonda para a recolha de amostras de solo, de modo que a profundidade da escavação seja a mesma para cada amostra (Foto 7.3). Uma amostra composta representativa deve ser preparada para cada campo através da mistura de várias amostras individuais retiradas da mesma profundidade e de diferentes pontos na respectiva parcela.

A avaliação da fertilidade do solo permite prever qual o aumento da produtividade potencial, necessário para suprir as lacunas de rendimento observadas num domínio agrícola. Quando os rendimentos aumentam, a necessidade de expandir a área de produção agrícola para satisfazer as necessidades alimentares presentes é reduzida. Desta forma, pode ser possível dispensar uma parte da terra agrícola para outros fins.

A prática de agricultura sustentável pressupõe que a capacidade do solo para a produção de culturas não sofra um declínio a médio e longo prazo. Avaliações periódicas da fertilidade do solo ajudam, portanto, a determinar se as práticas dos agricultores têm levado a uma gestão sustentável da terra.

Um pH baixo é muitas vezes considerado uma restrição à produção agrícola. Contudo, isto só é verdadeiro onde culturas sensíveis a pH baixo são cultivadas (por exemplo, algodão), ou quando o pH baixo está associado a toxicidade de Al e culturas sensíveis à toxicidade são incluídas no sistema de cultivo ou de rotação.

A quantidade de matéria orgânica do solo (MOS) num solo está geralmente associada à textura do solo ou ao seu teor em argila. Solos pobres em argila tendem a conter menos MOS e existem menos possibilidade de aumentar a sua a quantidade de MOS.

As avaliações das alterações na MOS ao longo do tempo podem fornecer um quadro enganoso, a menos que a quantidade de MOS seja corrigida para possíveis alterações na densidade do solo.

A porção de argila de solos tropicais ácidos altamente meteorizados é geralmente dominada por minerais de argila caulinítica1:1, Al e óxidos de ferro. Como resultado, tais solos tendem a ter uma baixa capacidade para armazenar nutrientes (ou seja, a capacidade de troca catiónica é baixa). Solos contendo > 35% de argila dominada por óxidos de Fe e Al possuem uma forte capacidade para adsorver P e, por conseguinte, reduzir a disponibilidade de P adicionado para absorção pelas culturas.

Análise dos solos e intrepretação dos resultados

Os resultados da análise do solo podem fornecer informações muito enganadoras se os procedimentos laboratoriais não forem realizados correctamente. Por isso, é sempre prudente submeter amostras padrão aos testes laboratoriais no sentido de verificar se um dado laboratório é capaz de obter valores consistentes para um conjunto chave de propriedades físicas e químicas.

A textura do solo pode ser determinada em laboratório (o que é geralmente muito caro) ou usando o procedimento

denominado “teste do dedo” directamente no campo. O pH do solo pode ser determinado com muita precisão no campo utilizando um medidor de pH portátil (por exemplo Pehameter ®) (Foto 7.1).

“Os valores críticos” dos principais parâmetros do solo são “indicadores aproximados” que permitem, quando muito, perceber se existe necessidade de adição de um fertilizante, perante um resultado da análise acima ou abaixo desse “valor critico” . Por exemplo a quantidade total de N do solo não revela muito sobre a disponibilidade de N para as culturas numa determinada época, por outro lado indicadores mais sensíveis como o P disponível e K permutável podem fornecer informações muito úteis sobre a capcidade do solo em fornecer quantidades suficientes destes nutrientes para o desenvolvimento das plantas.

5.5 Mercados e outros impulsionadores socio-económicos

A identificação dos domínios agrícolas adequados para a implementação de MIFS tende a basear-se nos factores biofísicos discutidos anteriormente como por exemplo a paisagem, os tipos de solo, o clima, os tipos de cultura e os sistemas de produção animal acompanhantes. É frequente dar-se pouca atenção a factores socio-económicos e políticos que podem, em muito, influenciar a capacidade de adoptação de práticas de MIFS pelos agricultores de um dado domínio agrícola. Nesta secção, discutimos os tipos de informações socio-económicas e políticas que devem ser incluídas nas análises de sistemas de produção (ASP) e usadas na definição dos domínios agrícolas.

É necessário obter informações sobre investimentos e políticas governamentais, o desempenho do mercado e os factores socio-económicos que podem influenciar a adopção do MIFS a nível das explorações agrícolas. Estas informações não só são importantes para a selecção do domínio agrícola, mas também serão úteis na definição de componentes técnológicos e socio-económicos de um programa de MIFS.

5.5.1 Contexto político e o papel dos governos

Os governos podem desempenhar um papel directo na promoção da adopção de MIFS através do desenvolvimento de programas de divulgação (a fim de ajudar os agricultores nas suas tomadas de decisão relativas à produção e comercialização) e através da distribuição de subsídios que tornem a adopção do MIFS menos dispendiosa.

Os governos podem também ajudar de forma indirecta, através de investimentos em estradas, irrigação, pesquisa e desenvolvimento agrícola. Em algumas situações o governo poderá também dificultar a expansão do MIFS ao manter políticas que impedem o desenvolvimento dos mercados de factores de produção agrícola ou investindo pouco em serviços públicos tais como os serviços de extensão rural, educação, controlo da qualidade dos factores de produção, e no desenvolvimento de sistemas de classificação de produto e normas de comercialização.

Vamos agora analisar algumas políticas governamentais que deverão ser consideradas a fim de se conseguir uma implementação eficiente do MIFS.

Subsídios agrícolas

A equipa da ASP deve considerar:

- Que subsídios existem ou poderão vir a ser oferecidos?
- Quem são os grupos-alvo?
- Quais são as culturas e zonas que provavelmente serão mais beneficiadas?
- Existe algum plano para a melhoria dos mercados de venda da produção agrícola em locais onde a oferta destes produtos irá possivelmente aumentar como resultado dos subsídios?
- Os agricultores/zonas alvo destes subsídeos são os mesmos que estarão envolvidos em programas de MIFS? Se assim for, os subsídios poderão favorecer ou desencorajar a adopção de práticas de MIFS?

- Os subsídios vão favorecer ou desencorajar o desenvolvimento dos mercados de factores de produção e dos mercados de venda da produção agrícola?

Quando os programas de dotação de subsídios do governo são subfinanciados ou as quantidades abrangidas pelos subsídios se alteram de ano para ano, a incerteza que se gera no mercado retalhista do sector privado pode ser significativa, reduzindo assim a sua capacidade de responder em tempo útil aos agricultores que adoptam o MIFS. A equipa de ASP deve, portanto, procurar saber se os subsídios têm tendência a continuar e, caso contrário, qual seria o impacto provável da sua descontinuidade na sustentabilidade do programa de MIFS proposto.

Conhecimento em MIFS

A equipa de ASP deve considerar:

- O papel do governo no apoio à criação (através de pesquisas) e disseminação (através de serviços de extensão rural) do conhecimento sobre MIFS.
- Os outros profissionias (por exemplo, grupos de agricultores, ONGs, fornecedores de factores de produção) contribuem?
- Se a coordenação entre o governo e o sector privado ocorre de forma satisfatória?
- Qual a aplicabilidade das actividades de criação/disseminação de conhecimento sobre MIFS nos domínios agrícolas alvo?

Informação sobre os mercados e controlo de qualidade

A equipa da ASP deve considerar:

- Os agricultores e comerciantes da região têm acesso a informação correcta sobre preços dos factores de produção e dos preços de venda da produção agrícola em tempo útil? Caso contrário, como é que o fluxo de informações poderia ser melhorado?
- Está disponível uma série cronológica de dados de preços para utilização por pesquisadores e extensionistas que pretendam analisar as mudanças na rentabilidade das práticas de MIFS ao longo do tempo?
- Os agricultores estão satisfeitos com a qualidade dos factores de produção comercializados ou há uma sensação de que os produtos falsificados ou de má qualidade são um grande problema?
- Existe a necessidade de melhorar a regulamentação existente sobre a classificação e padrões de qualidade dos factores de produção agrícolas?
- Poderão informações inadequadas sobre os mercado e baixo controlo de qualidade comprometer a expansão de um programa de MIFS nos domínios agrícolas considerados? Se assim for, o que pode ser feito para melhorar esta situação?

Infra-estruturas

Os investimentos rodoviários são um “bem público” que permitem com que os mercados de factores de produção e de venda de produção agrícola funcionem melhor, uma vez que reduzem os custos de transporte, ajudando a resolver o problema da adquisição e transporte de factores de produção para a exploração e do transporte dos produtos agrícolas desde a exploração até aos mercados de venda.

- A rede de estradas nos domínios agrícolas considerados é tão insatisfatória que poderia restringir seriamente a adopção do MIFS?

Os custos de transporte devem ser calculados tanto em termos de dólares por tonelada (o custo para o agricultor) e dólares por tonelada/quilómetro (medida de eficiência de transporte). Por exemplo, na Tabela 5.1 o custo do transporte da mesma quantidade de fertilizante para o Local 2 é maior para o agricultor ($/t), mas menos

dispendiosa em termos de eficiência ($/ t km) em comparação com o Local 1. O custo por tonelada/quilómetro pode ser maior num local por causa das más condições das estradas.

A comparação do custo por tonelada/quilometro, do transporte de fertilizantes a partir de um grossista mais próximo ou do transporte da produção após colheita, entre as diferentes zonas consideradas para intervenções de MIFS pode melhorar a escolha do zona que mais viabilidade terá para dar continuidade ao MIFS.

Políticas sobre propriedade da terra

Alguns programas de MIFS podem necessitar de investimento significativo de capital e mão-de-obra para repor a fertilidade do solo ou controlar a erosão. Antes de seleccionar os domínios agrícolas para implementação de MIFS, é necessário compreender a situação da posse da terra, incluindo as leis sobre a posse de terra e as percepções dos agricultores sobre essas leis.

- Os produtores acreditam que o governo ou o chefe local podem ocupar as suas terras ou acreditam que são os únicos proprietários e detêm o controlo total da terra que lhes pertence, com plenos direitos para vendê-la ou passá-la para os seus filhos?
- Se os agricultores não se sentem seguros em relação à posse da terra, de que forma estas leis e práticas consuetudinárias introduzem incerteza e como poderá esta ser eliminada?

Até que estas questões sejam resolvidas, os programas de MIFS e seus clientes-agricultores não se podem concentrar em processos de alto investimento e reembolso lento, de recuperação do capital solo ou redução da erosão.

5.5.2 Mercados

Os principais mercados com influência sobre o grau de adopção de MIFS são os dos factores de produção, de crédito, de mão-de-obra e de venda de produção agrícola.

Mercados de factores de produção

Uma premissa subjacente e cientificamente comprovada de MIFS na ASS é que o uso de fertilizantes inorgânicos e germoplasma melhorado deverá ser aumentado, caso se pretenda que o capital do solo seja mantido e a produtividade das culturas aumente. Isto significa que a adopção de MIFS poderia ser comprometida pelo mau funcionamento dos mercados de factores de produção e de venda da produção agrícola. É essencial que os factores de produção estejam disponíveis em postos de venda locais nos momentos apropriados e a preços acessíveis.

Os domínios agrícolas servidos por postos de venda de factores de produção com desempenho insatisfatório ou inexistentes não devem ser descriminados negativamente, contudo será importante que os projectos e programas de MIFS incorporem as actividades de desenvolvimento deste mercado. Durante o período de tomada de decisões relativas a um dado domínio agrícola, um inventário e uma análise geral do sector de oferta de factores de produção na área geográfica em causa deve incluir os seguintes tipos de perguntas:

- Estão os comerciantes localizados suficientemente perto dos agricultores de modo que o transporte de/para os postos de venda não se torne num constrangimento (“suficientemente perto” poderá variar de acordo com as estradas e tipos de transporte utilizados pelos agricultores)? Esta avaliação pode exigir alguma discussão com os agricultores para ver o quão longe estes estão dispostos a deslocar-se para comprar os diferentes tipos de factores de produção e a suportar os respectivos custos associados. O custo de transporte ($ / t) e a eficiência de transporte ($ / t km) tornam-se indicadores úteis (Tabela 5.1).

Em algumas situações, os agricultores podem favorecer a compra de factores de produção em postos de venda mais distantes se o preço no mercado local for superior ao que o custo do transporte de/para o posto de venda mais longínquo. Se não existirem comerciantes nas imediações, as opções para lidar com o problema incluem:

  - Os programas para ajudar os comerciantes locais a incluir factores de produção agrícola à sua linha de produtos;

Tabela 5.1 Exemplo de uma comparação de custos de transporte de fertilizantes para dois locais.

Parâmetro	Unidades	Coluna	Local 1	Local 2
Quantidade de material transportado	t	A	3.5	3.5
Distância transportada	km	b	25	70
Total custo de transporte	$	c	30	50
Custo de transporte	$/t	c ÷ a	8.6	14.3
	$/t km	c ÷ a ÷ b	0.3	0.2

  - A oferta de incentivos aos fornecedores que ficam mais distantes para que possam abrir estabelecimentos locais; e
  - Trabalhar com organizações de agricultores para consolidar as necessidades dos membros e organizar compras em conjunto com vista a reduzir custos de transporte e de transacções.

- Os comerciantes são experientes e fiáveis (armazenam os produtos adequadamente, podem oferecer conselhos aos agricultores sobre o uso do produto, têm relações com os seus fornecedores que garantem uma qualidade constante e evita o esgotamento das reservas de venda, não são limitados pela falta de crédito, e têm um sistema de preços coerente e transparente)?
- Isto vai exigir visitas a uma variedade de comerciantes locais e entrevistas com o pessoal de vendas, bem como algumas entrevistas com os seus fornecedores para ter certeza de que toda a cadeia de oferta é "saudável". Se não for o caso, os programas de formação para armazenistas devem provavelmente ser incluídos como uma componente sócio-económica do programa de MIFS.
- Os tamanhos dos sacos vendidos são adequados à capacidade de compra dos agricultores? Muitos dos pequenos produtores preferem comprar fertilizantes em pequenos sacos de 20–25 kg ao invés de sacos normais de 50 kg.
- Se o saco não for adequado, o que pode ser feito para mudar a situação?
- Em alguns países existem leis que proíbem os comerciantes de reembalar fertilizantes e sementes, num esforço para evitar a adulteração do produto. Em tais casos, os fabricantes ou distribuidores principais terão que ser encorajados a empacotar os seus produtos em sacos menores ou o programa terá de fazer pressão para que sejam feitas mudanças na legislação - as duas abordagens levam tempo para conduzir a resultados.
- Será que os tipos de fertilizantes disponíveis oferecem "o maior retorno do investimento" (os fertilizantes com maior teor de nutrientes são geralmente mais caros por quilograma, mas menos caros por quilograma de nutrientes)? Caso isso não aconteça, o que está a restringir a oferta no mercado de produtos fertilizantes com maior eficácia em termos de custo?
- Em alguns países, apenas um número limitado de compostos de fertilizantes são aprovados para venda segundo os regulamentos estabelecidos pelo instituto de pesquisa agrícola nacional ou outra instituição afim. Em tais casos, o programa terá que trabalhar com as estas instituições "supervisoras" na avaliação dos prós e dos contras associados à ampliação da lista de produtos aceitáveis a fim de acomodar melhor as necessidades dos agricultores.
- Existem sementes melhoradas disponíveis (certificadas, variedade de polinização aberta (OPV), híbridas) localmente? Caso não existam, o que está a impedir a sua disponibilidade? Existirão limitações em termos de regulamentação que afectam directamente os tipos de germoplasma disponível?
- Alguns países continuam a banir o uso de sementes híbridas e muitos não permitem o uso de organismos geneticamente modificados (OGM). Que tipos de acções seriam necessárias para incentivar os comerciantes a adquirir sementes melhoradas e os agricultores a comprá-las?
- As recomendações de MIFS incluem o uso de pesticidas? Se sim, que pesticidas estão disponíveis no mercado local?

- Existem procedimentos adequados para assegurar que os pesticidas são de boa qualidade e serão os comerciantes capazes de informar os agricultores sobre o sua aplicação adequada? Se não for o caso, o que pode ser feito para melhorar esta situação?

Mercados de crédito

O MIFS reconhece o importante papel desempenhado pelos fertilizantes minerais na melhoria e manutenção da fertilidade do solo. Se o custo local de factores de produção recomendados pelo MIFS está além da capacidade da maioria dos agricultores numa base *cash-and-carry*, então o crédito torna-se importante. Nesta fase do processo de implementação de MIFS, os analistas não terão um entendimento preciso das necessidades de crédito porque alguns dos componentes específicos do pacote de MIFS ainda não terão sido identificados. Na ausência de informações mais específicas, o analista pode supor que a maioria dos agricultores vai necessitar de pelo menos, algum crédito para fertilizantes.

Ao avaliar a disponibilidade de crédito a equipa da ASP precisa identificar as várias fontes, entender como elas foram usadas no passado, e fazer perguntas pertinentes sobre como podem ser adaptadas às necessidades dos agricultores que adoptam o MIFS.

Vamos agora analisar quatro fontes de crédito que podem ter relevância para programas de MIFS.

Comerciantes locais e retalhistas de factores de produção

Se os comerciantes de factores de produção também estiverem envolvidos no comércio dos produtos agrícolas (uma situação comum em alguns países), estes podem estar mais inclinados a oferecer crédito tanto para factores de produção como para a compra de alimentos durante a época de cultivo (frequentemente reembolsada em géneros após a colheita). A disponibilidade de crédito que garanta a alimentação básica do agregado familiar pode disponibilizar algum dinheiro ao agricultor, possibilitando assim a compra de alguns factores de produção.

Programas de crédito do governo

Os programas de governo são frequentemente afectados por mudanças de políticas e politização de quem tem acesso ao crédito. Além disso, muitas vezes não há sanções claras pelo não-pagamento, levando a uma perda de capital e ao encerramento das linhas de crédito. Se a adopção de MIFS depender de crédito nas zonas onde os programas do governo não tiveram um bom desempenho no passado, podem ser necessários esforços de colaboração com o governo a fim de melhorar o programa ou a encontrar alternativas.

Programas de micro-finanças

O sistema de micro-finanças é cada vez mais usado para a aquisição de factores de produção agrícolas, mas muitas vezes verificam-se limitações devido às limitadas quantidades de dinheiro que podem ser emprestadas e os curtos períodos estabelecidos até o início de pagamento do empréstimo. As taxas de juros tendem a ser elevadas (30%), em comparação com outras fontes de crédito (10–15% para programas governamentais).

Contractos para factores de produção/ venda da produção através de uma cadeia de valor integrada

Numa cadeia de valor integrada, o comerciante ou empresa que pretende adquirir o produção agrícola de um agricultor baseia-se no fornecimento de factores de produção a crédito e obtenção do reembolso quando o agricultor efectuar a venda da produção da cultura. Para obter crédito para factores de produção, o produtor deve assinar um contrato concordando em vender uma quantidade específica da produção ao comerciante/empresa que oferece o crédito. Tais práticas fazem muitas vezes parte dos acordos agrícolas.

Estas cadeias de valor integrado tendem a ser a melhor opção para os agricultores que produzem para o mercado, mas enfrentam vários problemas relacionados com o cumprimento dos contractos, quando os agricultores não estão bem organizados e dispostos a sancionar agricultores vizinhos que não honram os seus próprios contractos. A abordagem da cadeia de valor é muito mais fácil de implementar em produtos agrícolas de valor unitário elevado e sem grandes alternativas em relação a estabelecimentos locais de venda, sendo muito mais difícil de implementar em produtos

agricolas de base como os cereais.

Para avaliar adequadamente a disponibilidade de crédito nos domínios agrícolas considerados, a equipa de ASP tem de entrevistar tanto os fornecedores de crédito como os seus clientes para obter um quadro completo de como os sistemas funcionam e do seu potencial para servir agricultores que adoptam o MIFS. Devem ser recolhidas informações sobre:

- Montantes mínimos/máximos de empréstimo;
- Duração normal dos empréstimos;
- Taxas de juro;
- Modalidades de reembolso (ou seja, se os pagamentos são feitos em dinheiro ou em espécie);
- Taxas de reembolso; e
- Provisões feitas para o escalonamento dos empréstimos em caso de perda da colheita.

Seguro das culturas

Programas de seguro de culturas podem estar disponíveis localmente. Tais programas devem ser avaliados em relação à incidência da seca e da probabilidade de atrasos no início das chuvas. Em outras palavras, é importante avaliar se os prémios compensam ao agricultor.

Mercados de mão-de-obra

Algumas práticas de MIFS requerem um número maior de trabalhadores durante os períodos de pico de trabalho e/ou a contratação de certos serviços em termos de equipamentos mecanizados (lavoura, debulha). Se um agricultor tiver uma mão-de-obra familiar subutilizada e o equipamento necessário, isto não constituirá problema. Se não for o caso, é preciso que haja um mercado funcional onde os trabalhadores temporários e serviços necessários possam ser contratados, ou, como em muitos países, um sistema de grupos de trabalho comunitário rotativo. Neste sistema, o trabalho na exploração agrícola de um agricultor participante é realizado em troca de trabalho realizado por este em explorações de outros membros do grupo.

Muitas prácticas de MIFS exigem um aumento significativo da mão-de-obra durante os períodos fora de pico de trabalho (por exemplo, adubação, colheita, e aplicação de estrume, construção de estruturas anti-erosão, técnicas de lavoura especiais para melhorar a retenção de humidade). Os promotores do MIFS muitas vezes assumem que o aumento de trabalhos agrícolas nos períodos fora de pico não implica grandes problemas para os agricultores. Isto geralmente não é o caso, dado que os agricultores estão muitas vezes envolvidos em actividades alternativas de geração de renda (migração, emprego não-agrícola ou auto-emprego) durante o período fora de pico. Isto significa que na avaliação dos incentivos económicos que levariam o agricultor a adoptar um conjunto de práticas do MIFS, teremos de calcular o custo de oportunidade do trabalho do agricultor.

O custo de oportunidade do trabalho adicional aplicado à MIFS é a perda de rendimentos de uma outra actividade que o agricultor poderia ter levado a cabo durante o mesmo período.

Embora o custo de oportunidade varie de agricultor para agricultor, um ponto de referência comum para o cálculo seria o salário médio de um trabalhador diário envolvido em actividades agrícolas ou não-agrícolas realizadas fora da época de pico de trabalho.

Mercados de produtos agrícolas

Os agricultores precisam de algum rendimento em dinheiro para pagar os factores de produção recomendados pelo MIFS. A menos que a família agrícola tenha outras fontes importantes de rendimento resultantes de actividades pecuárias ou não-agrícolas, o agricultor terá de produzir pelo menos algumas culturas para venda no mercado.

Ao selecionar um domínio agrícola para a implementação de um programa de MIFS e um sistema de cultivo agrícola, é necessário saber se os mercados de venda de produtos agrícolas estão a funcionar bem. A equipa de ASP tem que tomar em consideração as seguintes aspectos:

- Existe uma procura forte e crescente de culturas cultivadas no domínio selecionado?
- Qual é a estrutura actual do sistema de comercialização (muitos intervenientes e preços competitivos ou poucos intervenientes e preços desfavoráveis para os agricultores; existência de um papel consolidado para as organizações de produtores na recolha de encomendas e organização de vendas de produção antecipadas)?
- Qual é o papel do governo (participação directa na compra e venda ou papel regulador responsável pelo desenvolvimento de um sistema de classificação de qualidade dos produtos agrícolas, criação de tarifas e subsídios de importação/exportação ou através de políticas de apoio aos preços ao consumidor)?
- Existem cadeias de valor bem desenvolvidas que poderiam servir como uma alavanca para a introdução de práticas de MIFS num sistema de produção agrícola, que poderia assim usufruir de infra-estruturas de comercialização já estabelecidas?
- Existe margem para melhoria da eficiência dos mercados de forma a reduzir os custos de transacção e margens de lucro, oferecendo assim oportunidades para aumentar os preços aos produtores e/ou reduzir os preços ao consumidor?

Uma análise de toda a informação recolhida sobre as actividades do governo e dos mercados deverá permitir:

- Identificar as maiores oportunidades e restrições para a adopção e uso contínuo de práticas de MIFS nos domínios agrícolas considerados; e
- Ajudar a equipa de ASP a classificar domínios agrícolas em termos da sua probabilidade de fornecer um ambiente propício para a rápida expansão da adopção de MIFS.

A informação vai reduzir o risco de lançamento de um programa de MIFS num ambiente que não tenha os serviços governamentais ou os mercados necessários a sua sustentabilidade e poderá levar ao desenvolvimento de componentes socio-económicos para o alivío dos constrangimentos do programa de MIFS numa região.

5.6 Desenvolvimento de mercados

Há, por vezes, uma tendência para nos concentrarmos nos componentes biofísicos de um programa de MIFS ignorando o potencial que pequenas mudanças nas políticas ou pequenas melhorias na eficiência dos mercados têm na adopção dos próprios componentes biofísicos. Acções que podem reduzir os custos de fertilizantes a nível das explorações agrícolas ou aumentar os preços dos produtos pagos aos agricultores têm grande potencial para estimular a adopção do MIFS. Esta é uma razão para apoiar abordagens integradas de adopção do MIFS que incidam nas questões de mercado que afectam a adopção do MIFS.

A oferta de subsídios para fertilizantes pelos governos tem sido muito utilizada como uma forma de intervenção no mercado, a fim de aumentar o uso de fertilizantes e estimular o aumento da produção. Os subsídios também têm sido bem recebidos por parte dos agricultores, mas mesmo assim existem uma série de desvantagens para o uso de subsídios que importa considerar:

- São ajustes temporários que muitas vezes não conseguem incentivar as mudanças estruturais necessárias no mercado de factores de produção que levariam à diminuição permanentemente do custo de fertilizantes.
- Os subsídios para os fertilizantes não abordam a questão do desenvolvimento dos mercados de venda da produção agrícola.
- Os agricultores não vão usar fertilizantes caros se não estiverem seguros de que serão capazes de vender produção suficiente para cobrir o custo dos fertilizantes.

Onde subsídios para fertilizantes são usados, é importante incorporar intervenções paralelas que não incluam “subsídios” para tornar os mercados de fertilizantes mais eficientes. Deste modo, os subsídios poderiam ser

gradualmente reduzidos à medida que ocorresse uma redução dos preços dos fertilizantes como resposta às tais intervenções livres de subsídios.

Intervenções governamentais livres de subsídios, mas que podem reduzir os custos de fertilizantes ou incentivar o aumento do uso de fertilizantes incluem:

- Investimentos em extensão rural que demonstrem aos agricultores como podem aumentar a eficiência do uso de fertilizantes na sua exploração;
- Sistemas de informação sobre os mercados, fornecendo aos agricultores em cada localidade informação periódica (diária, semanal, mensal) sobre os preços dos factores de produção e dos preço de venda da produção agrícola, para que os agricultores possam tomar decisões mais informadas sobre o uso de fertilizantes e comercialização de produtos;
- Investimentos em infra-estruturas rodoviárias, portuárias e de armazenamento para reduzirem os custos de transporte e de armazenamento associados à importação e distribuição de fertilizantes;
- Políticas bancárias que facilitem o acesso atempado ao câmbio externo para que os importadores de factores de produção agrícolas possam fazer encomendas ao estrangeiro quando as condições de mercado são favoráveis; e
- Controlo eficiente da qualidade de fertilizantes para identificar os fabricantes e retalhistas que fornecem fertilizantes adulterados ou falsos.

As actividades mais dependentes de iniciativas do sector privado incluem:

- O desenvolvimento de cadeias de valor integrado que ligam os mercados de factores de produção aos mercados de venda de produtos agrícolas, muitas vezes oferecendo crédito para compra de factores de produção e garantia de venda para o excedente da produção dos agricultores (por exemplo, sistemas de produção de algodão na África Ocidental);
- Reforço das organizações de agricultores para que possam consolidar o volume das encomendas de fertilizantes para os seus membros e realizar os contratos de compra e organizar a distribuição por sí próprios; e
- Programas de formação para fornecedores de factores de produção de forma a reforçar a sua capacidade de gestão e estimular o desenvolvimento de redes de distribuição que interliguem importadores, distribuidores, grossistas e retalhistas de forma eficiente a fim de reduzir os custos das transacções.

5.7 Análise "*ex ante*" do desempenho da tecnologia de MIFS

Uma análise *ex ante* é uma avaliação dos impactos previsíveis da aplicação de componentes tecnológicos de MIFS (por exemplo, fertilizantes utilizados em combinação com sementes de milho híbrido), apenas com base nas informações disponíveis antes do componente tecnológico ter sido executado (Figura 5.4). Na maioria dos casos, a análise *ex ante* concentra-se nos impactos a nível da exploração agrícola, tais como aumento da rendimento da cultura, da produção agregada e dos lucros liquídos do exploração. No entanto, existe já um crescente número de ferramentas de apoio à decisão que permitem facilitar a estimativa do impacto a uma escala mais alargada (nação, região).

O objectivo da realização de uma análise *ex-ante* é:

- Verificar até que ponto os componentes de MIFS considerados para um dado domínio agrícola têm o potencial para melhorar os três objectivos principais de um programa de MIFS (ou seja, aumento da produtividade das culturas, melhoria da eficiência da utilização de fertilizantes e aumento dos rendimento económico das explorações agrícolas); e
- Identificar aspectos que necessitem de mais informação antes de levar a cabo uma análise abrangente *ex ante* da intervenção de MIFS.

Não existem regras firmes sobre quais os critérios a considerar por uma análise *ex-ante*, mas sugerimos algumas "regras práticas" para avaliar a eficiência agronómica (EA) e incentivo económico, resultantes da aplicação de

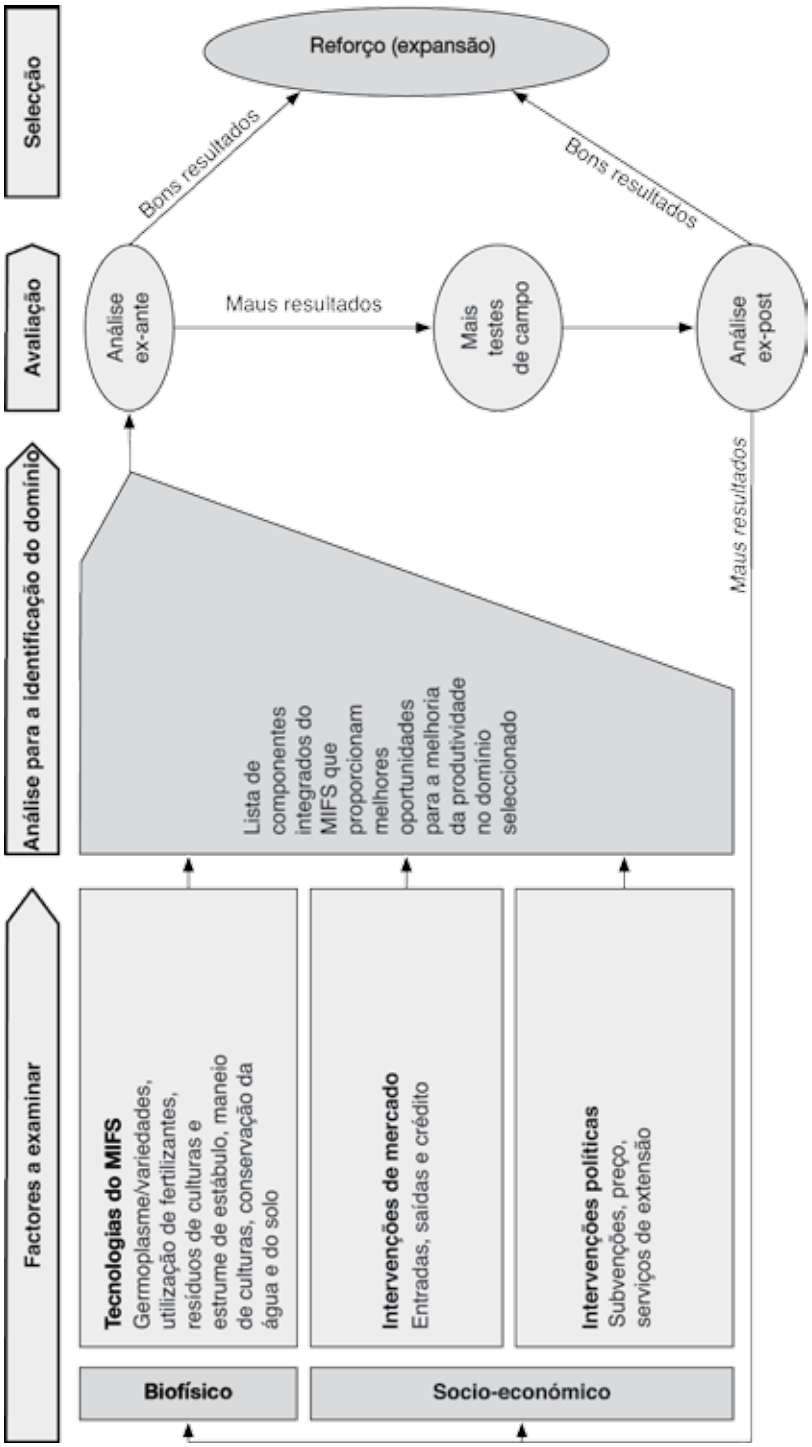


Figura 5.4 As intervenções tecnológicas de MIFS, juntamente com as intervenções de mercado e intervenções políticas deverão ser avaliadas para cada domínio agrícola. A expansão só deve ser feita quando a análise *ex-ante* ou *ex-post* mostrar que as tecnologias oferecem benefícios reais quando implementadas nos campos dos agricultores sob a gestão do agricultor.

um componente do MIFS, bem como um outro indicador (F/P) utilizado para identificar situações em que o desempenho do mercado necessite de ser melhorado.

5.7.1 Eficiência Agronómica (EA)

A EA pode ser usada para fazer uma avaliação aproximada da eficiência da utilização de fertilizantes de N, mas não fornece informações sobre os incentivos económicos. A EA é calculada dividindo os quilogramas de produção adicional resultantes da aplicação de fertilizantes pelos quilogramas de nutrientes aplicados.

Informações adicionais sobre o rendimento atribuível aos fertilizantes geralmente resultam da análise ensaios de campo realizados em centros de pesquisa ou, de preferência, em explorações agrícolas, incluindo parcelas de controlo onde nenhum fertilizante é aplicado.

A EA dos fertilizantes utilizados em MIFS deve ser igual ou maior à EA associada à adopção de fertilizantes em África no passado. Os valores típicos para EA obtidos de um vasto número de ensaios agrícolas realizados nos anos de 1960 e 1970 são apresentados na Tabela 5.2.

5.7.2 Incentivos económicos

O rácio valor:custo (RVC) faz uma comparação das alterações nos custos e rendimentos económicos que ocorrem quando um agricultor deixa de usar as suas práticas de produção correntes e passa a usar um novo conjunto de práticas. Incorpora informações agronómicas (rendimento) e económicas (preço/custo). O RVC é calculado estimando o valor da produção adicional resultante de uma mudança nas práticas (ou seja, aumento de produção x preço de mercado) dividido pelos custos suplementares associados à adopção de uma nova prática (custos de factores de produção adquiridos, uso adicional de mão-de-obra, etc.) Se as práticas de MIFS propostas incluírem outros custos para além dos fertilizantes (por exemplo sementes híbridas) estes custos também devem ser incluídos no denominador.

Na ASS, onde o risco de produção é significativo, mas difícil de quantificar, e os recursos financeiros limitados, tem-se observado que os agricultores raramente adoptam fertilizantes, a menos que o rácio RVC seja maior do que 2.

Muitos destes resultados foram baseados em ensaios que testaram o efeito do fertilizante, ao invés do efeito das práticas de MIFS que integram fertilizante com outras práticas de maneio da fertilidade do solo. A EA resultante de técnicas integradas de MIFS é geralmente maior do que a resultante da aplicação de fertilizante como única mudança no maneio da fertilidade do solo.

Os resultados do RVC são interpretados como se segue:

- Quando o RVC = 1, o agricultor não ganha nem perde quando passa a usar novas práticas. A produção pode ter aumentado, mas não há incentivo financeiro para o agricultor adoptar novas práticas.
- Um RVC entre 1 e 2 implica que o agricultor vai ganhar algum lucro se fizer a mudança. Contudo, o incentivo para a mudança é muito pequena para estimular a adopção.
- Um RVC > 2 tem sido tradicionalmente o RVC mínimo aceitável para a introdução de novas práticas e tecnologias.

Um RVC ≥2 funciona como um amortecedor, oferecendo aos agricultores alguma protecção contra riscos, tais como condições meteorológicas desfavoráveis ou ataques de pragas. Além disso, os agricultores tenderão, inicialmente, a obter rendimentos menores do que os obtidos em ensaios de pesquisa sendo estes valores de rendimento potenciais os que são utilizados no cálculo do RVC, como parte da análise *ex-ante*.

Tabela 5.2 Eficiência agronómica (EA) de fertilizante de N para culturas seleccionadas na ASS.

Cultura	Região	EA (kg/kg N)
Milho	África	Média 17, máximo 53
Mapira	África Oriental e Austral	10
	África Ocidental	7
Mexoeira	África Ocidental	7
Algodão		5–6
Amendoim		9
Café	África Ocidental	8.5
	África Ocidental	4

Por exemplo, se 150 kg de fertilizante de N que custa US$ 0.5/kg fertilizante N levar a um aumento de produtividade na ordem de 3000 kg / ha de grãos de milho a um preço de $US 0.10/kg, o RVC é calculado da seguinte forma:

RVC = 3000 kg/ha × $US 0.10/kg/150 kg fertilizante N × $0.5/kg fertilizante N

RVC = 300/75 = 4.0

Neste exemplo, o RVC sugere que a adopção do prática da aplicação de fertilizante N, conduzirá a grandes lucros, mesmo que o aumento do rendimento seja inferior a 3000 kg / ha. O valor limiar de um RVC igual a 2 é alcançado com um aumento de rendimento de 1500 kg de milho.

Se o preço do milho diminuir para $US 0.04/kg, o valor do RVC também diminui para valores abaixo do valor limiar de RVC igual 2:

RVC = 3000 kg/ha × $0.04/kg/150 kg fertilizante N × $0.5/kg fertilizante N

RVC = 120/75 = 1.6

Para atingir o limiar de RVC igual a 2 é necessário um aumento de rendimento de 3750 kg. Isto é improvável, pois exigiria um valor de EA com um aumento de cerca de 25 kg de produtividade/fertilizante de N aplicado.

Estes cálculos servem para sublinhar a importância da realização de uma análise prévia do RVC para determinar se o aumento da produção previsto é susceptível de resultar num resultado economicamente atractivo.

5.7.3 Desempenho do mercado

Um outro indicador que pode ser usado para avaliar os factores de mercado é a proporção entre o preço do fertilizante aplicado e o preço de venda da produção (fertilizante/ produção F/P), que mostra o número de quilogramas de produção agrícola necessários para adquirir um quilograma de fertilizante.

Não há nenhum valor limiar exacto para a relação F/P porque um componente tecnológico de MIFS com uma EA muito elevada pode conduzir a RVC favoráveis, mesmo quando a relação do preço de F/P pareça desfavorável. O que é mais útil neste caso é comparar a relação F/P em diferentes zonas geográficas (aldeias, distritos, países). Se a relação de preço de F/P for relativamente alta no domínio agrícola em causa, pode ser prudente incorporar algumas actividades de desenvolvimento de mercado, entre as várias actividades de MIFS.

Programas para aumentar os preços dos produtos de explorações agrícolas ou reduzir os preços de fertilizantes iriam contribuir para melhorar os rácios de F/Ps. Altos rácios de F/P são um grande impedimento para o uso de fertilizantes na ASS. Os preços dos fertilizantes em geral diminuem e os preços dos produtos aumentam com a melhoria das estradas e portos, e com a remoção de impostos de venda e das actividades de comerciantes intermédios orientadas para grande margem de lucro. Estes problemas só podem ser resolvidos com esforços concertados por parte dos governos.

A análise *ex ante* pode ser feita utilizando uma calculadora de bolso simples, mas o software Excel fornece os meios para o desenvolvimento de modelos simples de análise *ex ante.*

5.7.4 Dados necessários para uma análise "*ex ante*"

O conjunto mínimo de dados para uma análise *ex ante* inclui:

- Rendimento associado às práticas específicas de MIFS em análise, de preferência um rendimento médio baseado em 5 ou mais anos que incluam anos bons e maus de chuva. É extremamente importante que a resposta média estimada inclua todos os campos, incluindo aqueles em que houve perda de colheitas ou ataques descontrolados de insectos.
- Preços de produção passados, recentes e esperados no futuro para as culturas de interesse, de preferência os preços pagos ao agricultor nos domínios agrícolas em análise.
- Valores passados, recentes e estimativas futuras para os dos preços dos factores de produção adquiridos e mão-de-obra, de preferência os preços pagos pelos agricultores nos domínios em análise. Se os preços recentes tiverem sido subsidiados, as análises também devem testar a rentabilidade com preços não subsidiados, para tomar em consideração a possível suspensão do subsídio no futuro.

Se os dados estiverem disponíveis e os analistas tiverem suficiente capacidade de utilização de folhas de cálculo Excel, podem construir-se funções lineares simples que trazem informação sobre as tendências passadas no uso de fertilizantes e sobre a reacção dos agricultores à mudanças de preços dos fertilizantes. Isto exigiria um mínimo de 10 anos de dados nacionais sobre:

- Uso de fertilizantes por cultura incluindo o tipo de fertilizantes se possível;
- Pluviosidade (frequência e volume); e
- Preços de fertilizantes e de preçõs de venda da produção agrícola.

Além disso, a informação sobre as alterações na qualidade do solo associada ao uso das práticas de MIFS em análise proporciona ao analista oportunidades para incorporar uma ánalise de alterações no capital solo na análise *ex ante*.

Existem três passos principais para levar a cabo uma análise *ex ante*:

- Recolha de dados;
- Análise dos dados; e
- Decisão sobre os passos seguintes.

Recolha de dados

Dados completos sobre produtividade são essenciais para a avaliação *ex ante*. As potenciais fontes incluem as instituições nacionais de pesquisa agrícola, ONGs e serviços de extensão rural que tenham gerido parcelas de demonstração e onde registos precisos foram anotados sobre a dimensão da parcela, os rendimentos, o calendário de actividades-chave, uso de recursos de produção e outros factores que possam ter afectado a produtividade.

Dados sobre preços pagos ao agricultor para as culturas importantes são frequentemente disponíveis a partir dos sistemas nacionais de informação sobre o mercado, embora também haja uma série de páginas na Internet que fornecem os preços de alguns produtos comercializados nos mercados africanos.

Por exemplo:

- Afrique Verte (http://www.afriqueverte.org/index.cfm?srub=59) fornece preços de cereais desde 2002 para o Mali, o Niger, e o Burkina Faso.

- FAOSTAT (www.faostat.org) também fornece os preços pagos aos produtores para principais culturas de cada ano na moeda local, usando informações enviadas pelos governos nacionais.

O ideal seria os dados sobre as condicões climatéricas serem extraídas de cada domínio agrícola em estudo, mas, quando não estiverem disponíveis, os mesmos poderão ser obtidos a partir das bases de dados dos serviços de meteorologia nacional e regional.

Os preços dos factores de produção são os mais difíceis de obter. Se o governo estiver a fornecer subsídios para fertilizantes ou, de qualquer outra forma, a controlar o mercado de fertilizantes, os preços destes poderão normalmente estar disponíveis nos serviços locais do Ministério da Agricultura. Se os preços são inteiramente determinados pelos agentes do mercado, será necessário entrevistar os fornecedores locais para obter uma série de dados históricos. Também será importante considerar as expectativas para as tendências do mercado mundial no que concerne os preços dos fertilizantes. Este tipo de informação pode ser encontrada em *páginas* na Internet de índole comercial, bem como a evolução das taxas de câmbio que tanto podem influenciar os preços locais dos factores de produção importados.

Embora grande parte dos dados necessários para a análise *ex-ante* possa ser obtida a partir de fontes secundárias descritas acima, os analistas não devem excluir a opção de recolha de informações directamente de agricultores que utilizaram alguns dos componentes tecnológicos de MIFS nos domínios agrícolas seleccionados. Os procedimentos de orçamento participativo descritos na Tabela 5.1 podem ser expandidos para fornecer mais detalhes sobre as quantidades de factores de produção utilizados, outros custos vigentes (incluindo qualquer custo do crédito) e os preços de mercado.

Ao usar a abordagem de orçamento participativo, o analista também pode recolher informações mais qualitativas sobre a forma como os agricultores tomam decisões sobre o uso de factores de produção. Por exemplo, será que vão continuar a estar dispostos a comprar fertilizantes quando o RVC for <2? É possível que tenham fontes de rendimento e investimentos não-agrícolas e, dessa forma, exigam um RVC muito maior do que 2 para aplicarem o seu trabalho e recursos em actividades de MIFS propostas, em alternativa às suas actividades e investimentos não-agrícolas do presente?

Análise

Além de calcular os indicadores descritos acima, afigura-se útil elaborar orçamentos parciais para comparar os custos e rendimentos da aplicação de componentes tecnológicos de MIFS alternativos (Tabela 5.1). Análises orçamentárias parciais são mais fáceis de executar do que os orçamentos integrais de culturas ou agrícolas, porque só fazem uma comparação dos custos e benefícios dos elementos chave do orçamento que vão mudar como resultado das intervenções propostas. Embora um orçamento parcial seja uma abordagem simplificada, é muito importante que os orçamentos abarquem *todas* as alterações no consumo de factores de produção e na productividade que ocorrem ao mudar de um conjunto de práticas para o outro. Caso contrário, o orçamento vai resultar num quadro enganoso.

Colocar os orçamentos numa folha de cálculo Excel oferece ao analista meios númericos para levar a cabo uma análise de sensibilidade das estimativas de rendimentos e custos.

Caixa 5.1 Análise do orçamento parcial para práticas alternativas de produção de milho.

Usamos o exemplo de um orçamento parcial fazendo uma comparação entre a prática corrente dos agricultores e dois tratamentos alternativos para a produção de milho (Tabela 5.3). As etapas do orçamento parcial são as seguintes:

1. Identificar e recolher dados sobre os factores variáveis (rendimentos, preços de mercado da produção, quantidades de sementes e preços, e as quantidades de fertilizantes e preços. Se possível inserir dados numa folha de cálculo Excel usando as fórmulas para fazer a análise. Como o uso de estrume é um factor constante em todas as três práticas alternativas, não precisamos de incluí-lo ou tomar em consideração o trabalho associado ao seu uso.

2. Uma possível omissão neste orçamento simples é o trabalho adicional que poderá ser necessário no controlo de infestantes associado ao aumento do uso de fertilizantes e na colheita e armazenamento associado ao aumento da produção. No caso das práticas alternativas exigirem mais trabalho, este trabalho adicional deverá ser tomado em consideração com base nos salários para o sector agrícola actual e incluído nos orçamentos de forma a mostrar um quadro mais realista da possível resposta dos agricultores em relação às práticas alternativas propostas.

Tabela 5.3 Análise do orçamento parcial para práticas alternativas de produção de milho.

	Práticas actuais		Alternativa 1		Alternativa 2	
	Semente local + estrume		Semente local + estrume + fertilizante		Sementre híbrida + estrume + fertilizante	
Unidade de medida	kg/ha	Total custo/ valor ($)	kg/ha	Total custo/ valor ($)	kg/ha	Total custo/ valor ($/ha)
Rendimento	900	270	1500	450	2000	600
Semente	20	8	20	8	20	20
Fertilizante	0	0	50	35	50	35
Custos	–	8	–	43	–	55
Retorno		262		407		545
Aumento		–		145		138

3. A partir dos dados do orçamento parcial deverão calcular-se a EA e os RVCs e seguindo-se uma análises de sensibilidade nestes indicadores (por exemplo, dado o preço prevalencente de milho, qual seria o preço máximo do fertilizante que a tecnologia pode suportar antes da RVC ficar abaixo de de 2?).

Os resultados do orçamento mostram que:

- Pode-se esperar que o rendimento aumente em $ 145/ha se o agricultor acrescentar fertilizantes a um custo adicional de US $ 35/ha, o que corresponde a um RVC de 10.
- Se o agricultor estiver já a usar fertilizante, pode aumentar a renda em US $ 138/ha com a compra de sementes híbridas a um custo adicional de US $ 12/ha.
- As análises de orçamento mostram que a mudança para sementes híbridas é uma decisão altamente rentável (RVC> 11).
- Antes de decidir sobre a promoção deste componente tecnológico de MIFS no domínio agrícola seleccionado, será importante olhar para a fiabilidade do fornecimento de sementes híbridas e para as atitudes dos agricultores em relação à utilização de uma semente que precisa de ser comprada anualmente.

Decisão sobre os passos seguintes

Decisões que dependem do resultado da análise *ex ante*:

- Se os resultados da análise *ex ante* mostrarem fortes indicadores de RVC, F/P e EA, e os cálculos de orçamento parciais mostrarem um desempenho agronómico e económico forte dos componentes de MIFS em estudo, o próximo passo é a intensificação dos preparativos para a implementação de actividades que levem à adopção destes componentes em maior escala.
- Se os dados iniciais não eram suficientemente completos para a realização da análise *ex ante* ou se alguns dos indicadores se revelarem fracos e pouco convincentes, um programa de testes adicionais incidentes na própria exploração agrícola deverá ser concebido. Pode ser útil testar alguns ajustes nos componentes tecnológicos de MIFS.

5.8 Testes de tecnologias de MIFS nas explorações agrícolas

As tecnologias de MIFS que não têm bom desempenho na análise *ex-ante* devem ser testadas mais aprofundadamente nas explorações agrícolas dos agricultores. Os testes devem ser realizados em várias explorações seleccionadas de tal forma a que reflectiam a variabilidade das condições sócio-edáfo-climáticas encontradas dentro do domínio agrícola. Este trabalho deve ser levado a cabo em colaboração com os sistemas nacionais de pesquisa e ONGs com experiência na realização de testes em explorações agrícolas.

5.9 Análise *"ex post"* do desempenho de tecnologias de MIFS

A análise *ex post* é semellhante à análise *ex ante*, sendo contudo baseada em dados reais recolhidos durante os testes nas explorações agrícolas. Tecnologias que mostram um bom desempenho na análise *ex post* podem ser implementadas de forma mais alargada. A análise *ex post* pode ajudar a revelar os pontos fracos de componentes tecnologicos de MIFS que se revelaram insatisfatórios e sugerir áreas ou explorações que necessitam de mais testes e mais ajustes na práticas de MIFS.

5.10 Ampliação e expansão da adopção de soluções de MIFS

Chegamos agora à fase em que os esforços de pesquisa e de desenvolvimento levaram à produção e testagem de tecnologias promissoras que, entretanto, provaram ser economicamente vantajosas para os agricultores no domínio agrícola seleccionado. Uma vez que o domínio foi cuidadosamente identificado antes da adaptação e testagem de práticas de MIFS, os agricultores alvo terão já sido identificados e caracterizados. A tecnologia pode variar desde um único componente do sistema de cultivo (por exemplo, gestão do estrume de animais) a vários componentes que são alterados simultaneamente (por exemplo, utilização de fertilizantes, sementes melhoradas e resíduos orgânicos).

A implementação em larga escala deve ser o objectivo primordial de todos os projectos que iniciaram com êxito as práticas de MIFS. Com muita frequência, a pesquisa sobre MIFS financiada com fundos públicos produz resultados interessantes que são apenas relatados em revistas especializadas mas não são acessíveis fora da comunidade de pesquisa. As agências de financiamento muitas vezes não são capazes de tornar a produção de materiais de extensão rural uma das exigência obrigatórias dos projectos de pesquisa que financiam.

Na realidade, nunca há uma diferenciação clara entre a fase inicial de desenvolvimento de uma tecnologia e realização dos testes e uma fase posterior de expansão a fim de acelerar a sua implementação. Normalmente é necessário fazer várias iterações entre os testes e a expansão da tecnologia, de forma a passar-se gradualmente de uma implementação de pequena escala para uma de larga escala. Isto faz sentido porque a tecnologia em desenvolvimento deverá estár sujeita à avaliação contínua dos agricultores em todas as suas fases de desenvolvimento e nunca ser desenvolvida num vácuo de realidade, onde somente alguns agricultores são envolvidos.

Infelizmente, no passado, a adopção de tecnologias economicamente comprovadas revelou-se muitas vezes insatisfatória. Algumas das razões para o sucedido incluiram:

- Os pesquisadores não mostraram interesse ou não se sentiram motivados para se envolverem no processo de extensão rural.
- O financiamento do projecto não incluiu uma dotação adequada para a fase de extensão rural.
- As mudanças nas condições do mercado (ou seja, preços de culturas e de factores de produção) tornaram a tecnologia menos rentável.
- Mudanças de política governamental tornaram a tecnologia redundante ou de baixa prioridade.

Mesmo quando é possivel demonstrar que a tecnologia vai proporcionar benefícios significativos para os agricultores, pode ser preciso esperar pelo menos 5 anos para se conseguir ampliar a sua adopção para larga escala e, podem ser necessários ajustes frequentes que correspondam à evolução das necessidades dos agricultores alvo.

Existem duas estratégias lógicas para se conseguir a ampliar a adopção de uma dada tecnologia:

- Intensificação da implementação dentro do domínio agrícola em que a tecnologia foi desenvolvida;
- Expansão da implementação para outros domínios para onde seja adequada.

É importante que os projectos incluam uma dotação de financiamento para a fase de extensão rural durante a elaboração dos projectos. A fase de extensão rural pode ser executada pela própria agência de pesquisa e desenvolvimento em MIFS ou por outros parceiros do projecto tais como o Estado ou ONGs especializadas em serviços de extensão rural.

5.10.1 Desenvolvimento de uma estratégia de comunicação

A estratégia de comunicação deve ser definida desde o início das actividades, durante a fase de identificação do domínio agrícola. O projecto tem de ter conhecimento de todos os profissionais envolvidos no MIFS no domínio para onde as actividades são planificadas. Pode haver programas existentes desenvolvidos por ONGs ou por grupos de agricultores organizados, que estão a trabalhar em áreas afins ou com interesses sobrepostos que deverão ser aproveitados como um recurso.

Além dos agricultores, uma série de beneficiários alvo de material de extensão rural deve ser considerada:

- **Fornecedores de factores de produção** (calendário e quantidade de fertilizantes, sementes e outros factores de produção necessários, preparação de materiais promocionais adequados);
- **Mercados de venda da produção agrícola** (quantidade e calendário de colheita, preços previstos)
- **Provedores de crédito** (requisitos típicos de empréstimo por agricultor e por hectare; preparação de materiais promocionais adequados);
- **Responsáveis políticos** (benefícios da implementação de tecnologias para os agricultores e a comunidade em geral, por exemplo, expansão do comércio, melhoria da segurança alimentar, aumento da produção);
- **Extensionistas rurais** (formação em implementação de tecnologias; devem ter conhecimentos mais profundados do que o agricultor); e
- **Público em geral** (maior consistência dos mercados de oferta de alimentos; redução da necessidade de expansão da área cultivada devido às melhorias de produtividade das culturas).

É evidente que cada profissional em MIFS vai requerer algumas informações genéricas que funcionarão como uma base às informações mais especializadas relacionadas com a sua respectiva função no programa de extensão rural de MIFS. Portanto, uma boa estratégia de comunicação deverá fazer uso de um conjunto de materiais diferenciados e ajustados a cada profissional. Uma campanha de extensão rural bem sucedida requer reuniões regulares entre todos os actores envolvidos para avaliar os progressos e trocar informações.

5.11 Desenvolvimento de materiais de extensão rural

É importante começar a pensar sobre o desenvolvimento de materiais de extensão desde o início do desenvolvimento da tecnologia. À medida que os extensionistas passam tempo no campo a conhecer cada vez melhor os seus agricultores alvo, vai sendo cada vez mais fácil dirigir mensagens de extensão rural a agricultores-alvo utilizando o tipo de material mais eficiente para cada situação.

Por exemplo, num determinado domínio agrícola, os profissionais de MIFS podem decidir que o público-alvo deve ser os jovens agricultores do sexo feminino e que o formato de comunicação deve ser o de cartazes ilustrados e folhetos no idioma local. Muitas vezes, todo um conjunto de materiais diferenciados se torna necessário a fim de abordar não só os agricultores mas também os outros profissionais que prestam serviços agrícolas e fornecem os mercados de venda aos agricultores alvo.

Portanto, enquanto folhetos e cartazes podem ser suficientes para alcançar os agricultores alvo, vídeos e programas de rádio podem ser necessários para influenciar os fornecedores de factores de produção e agências crédito, bem como os comerciantes de produtos agrícolas. Além disso, materiais mais aprofundados podem ser necessários para formar os próprios extensionistas. Um vídeo de 5 minutos bem produzido pode ajudar a explicar a tecnologia e os benefícios que resultam da sua expansão, de forma muito significativa, a ponto de influenciar positivamente os decisores políticos e os directores de serviços de extensão rural.

5.11.1 Comunicação directa com os agricultores

Independentemente dos meios de comunicação usados para comunicar com os agricultores, o conteúdo do material deverá incluir as seguintes informações:

- Uma breve descrição do sistema de produção agrícola para o qual a informação sobre MIFS é relevante;
- Questões do género dos agricultores que precisam de ser tomadas em consideração;
- Benefícios para o agricultor (por exemplo, melhorias específicas do rendimento financeiro do agricultor, na segurança alimentar ou das condições de vida em geral);
- Materiais e equipamentos necessários (quantidade de adubos, sementes e alfaias agrícolas necessárias);
- Procedimentos (um guia explicativo para a implementação da tecnologia, incluindo a calendarização e frequência das operações, quantificação da mão-de-obra necessária);
- Uma análise custo-benefício simples (informação sobre os custos e benefícios adicionais da tecnologia e uma estimativa do seu benefício quantitativo global para o agricultor); e
- Risco (propensão da tecnologia à seca, pragas e doenças, e deficiências do mercado).

5.11.2 Fornecedores de serviços de extensão rural

A extensão rural pode ser fornecidos por um ou vários agentes:

- **Os próprios pesquisadores,** devendo estar envolvidos na fase inicial, uma vez que dependem dos comentários de reacção dos agricultores a fim de avaliar o valor das tecnologias que desenvolvem.
- **Os extensionistas rurais, que** são responsáveis pela prestação de aconselhamento agrícola, sendo contudo, muitas vezes mal financiados e pouco motivados, necessitando eles próprios de formação em MIFS e em estratégias e comunicação.
- **Os fornecedores de factores de produção** que beneficiam do aumento das suas vendas quando os agricultores têm mais conhecimento e informação sobre o uso de fertilizantes.
- **Os operadores de mercados de venda** que fornecem informações aos seus agricultores fornecedores ajudando-os a melhorar o rendimento e a produtividade.

- **As ONGs, grupos comunitários, grupos de igreja e escolas** que podem estar envolvidos na extensão rural como parceiros de projectos financiados por doadores.
- **Os agricultores mais influêntes que** muitas vezes desempenham um papel importante na transferência de tecnologias.
- **Os provedores de crédito que podem** podem desenvolver soluções de crédito ajustadas de forma a para promover certas tecnologias de MIFS.

5.11.3 Tipos de meios de comunicação social

A escolha do meio de comunicação social depende de vários factores que devem ser analisados durante o desenvolvimento da tecnologia:

- Complexidade da mensagem;
- Idade e género da audiência alvo;
- Acesso a meios de comunicação (TV, rádio, telemóveis);
- Nível de alfabetização (ênfase no conteúdo em forma de imagens ou em forma de texto);
- Língua (local, inglês).

Parte ou a totalidade do seguintes materiais de extensão rural pode ser usada numa campanha destinada a promover o MIFS:

- **Materiais impressos,** podem ser produzidos no formato de manuais, folhetos ou cartazes. Os folhetos são distribuídos directamente aos agricultores, enquanto os cartazes são usados para promover tecnologias em locais públicos, e os manuais são normalmente utilizados para formar extensionistas.
- **Estações de rádio locais,** podem ser úteis para levar informações de MIFS a pequenas áreas geográficamente remotas.
- **Telemóveis** são agora amplamente usados na ASS. Oferecem oportunidades para circular mensagens de texto simples e os agricultores também podem usá-los para entrar em contacto com centros agrícolas que fornecem informações sobre gestão agrícola, condições climatéricas e preços de factores de produção e de venda do produto pago ao agricultor e nos mercados.
- **Transmissões televisivas,** geralmente são adequadas apenas para informações de MIFS de grande amplitude geográfica.

5.12 Utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC)

No passado, os extensionistas dependiam de um conjunto de técnicas padrão, incluindo a formação agrícola e a visita de acompanhamento e o uso de parcelas de demonstração a fim de divulgar os resultados da pesquisa aos agricultores. Estas técnicas baseavam-se principalmente num fluxo unidireccional de informação através do extensionista até ao agricultor desde a a fase da pesquisa. Trabalhos mais recentes desenvolvidos nos últimos 10 anos mostraram que bons resultados podem ser alcançados através de uma abordagem mais integrada e colaborativa entre agricultores, extensionistas e pesquisadores.

Nos últimos 10 anos, com o advento das TIC e da adopção em massa de telemóveis, novas oportunidades surgiram tendo por base uma maior colaboração com os agricultores. As TIC incluem dispositivos como telefones, rádio e telemóveis. Os diferentes formatos dos meios de comunicação podem ser utilizados de forma individual ou conjunta, numa série de abordagens:

- **Informar** os agricultores em termos de calendarização de tarefas e actividades específicas;

- **Educar** os agricultores a fim de alargar os seus conhecimentos de base e de forma a que estejam melhor capacitados a tomar as suas próprias decisões e resolver os seus problemas; e
- **"Demonstrar e explicar"** usando métodos de imagens e de comunicação oral com agricultores com baixo nível de alfabetização.

O objectivo das novas tecnologias é:

- Levar os serviços de extensão rural e de aconselhamento agrícola aos agricultores pobres que vivem em zonas remotas com pouco acesso a informação; e
- Proporcionar aos agricultores acesso a informação que lhes permita aumentar os rendimentos, reduzir custos e tomar decisões economicamente sólidas, baseadas em conhecimento actualizado dos preços do mercado.

5.12.1 Telemóveis

Nesta abordagem, a informação fornecida pelos institutos de pesquisa agrícola e por outros organizações especialistas, é revista por um comité de peritos e colocada numa base de dados. Posteriormente, os líderes em extensão rural recolhem, analisam e compilam as informações para divulgação usando telemóveis.

Os agricultores acedem aos dados através do envio de perguntas na forma de serviço de mensagens curtas (SMS) directamente dos seus telemóveis para um número designado. Se o agricultor não tiver um telemóvel e pretender usar o serviço, pode visitar o extensionista local, equipado com um telemóvel que poderá aceder aos dados em seu nome.

As informações a seguir podem ser disponibilizadas através de redes de telemóvel:

- **Preços de mercado.** Preços diários de mercado dos produtos agrícolas, obtidos a nível nacional, oferecem aos agricultores poder de negociação no acto de venda ou compra .
- **Previsões meteorológicas.** Podem incluir previsões meteorológicas de 3 dias e previsões a longo prazo.
- **Directório de fornecedores de factores de produção.** Este directório vai facilitar acesso aos números de telefones e endereços dos fornecedores a nível do país.
- **Comerciante do Google.** É um mercado virtual onde os agricultores podem divulgar os seus produtos para venda e lhes permite serem contactados por comerciantes interessados.
- **Boas práticas de cultivo.** São "pacotes" de informação que fornecem informações detalhadas sobre os aspectos de cultivo das culturas.
- **Recomendações sobre fertilizantes.** Estas podem ser instantaneamente disponíveis através de uma chamada telefónica para um número designado, onde o agricultor ouve uma gravação e vai dando respostas pressionando os diferentes números no teclado do telemóvel.

Uma mensagem de texto aparecerá imediatamente com recomendações específicas sobre adubação segundo as necessidades descritas pelo agricultor.

O Instituto Internacional de Pesquisa do Arroz (IRRI) foi pioneiro no uso de telemóveis para auxílio dos agricultores que, a dado momento, precisam de informações específicas sobre a gestão de nutrientes nesta cultura (http://irri.org/knowledge/tools/nutrient-management-decision-tools).

A Grameen Foundation foi pioneira no desenvolvimento e uso de telemóveis para extensão rural (http://www.grameenfoundation.applab.org/ckw/section/index).

Prós

- Permite um acesso imediato à informação e aconselhamento.
- Permite aos agricultores uma certa independência na obtenção de conhecimento (ou seja, os agricultores em áreas remotas não são tão dependentes do conhecimento transmitido durante as raras visitas dos extensionistas).
- O conhecimento dos preços diários de mercado aumenta a capacidade de negociação dos agricultores no sentido de obter um preço melhor para os seus produtos.
- Os agricultores podem fazer perguntas técnicas complementares e receber lembretes sobre quando aplicar fertilizantes, etc.

Contras

- Necessidade de existir um fornecedor de rede de telemóvel.
- Os agricultores precisam de possuir um telemóvel ou ter acesso a um.
- Os extensionistas devem ter um telemóvel, e ser treinados em como utilizar todas as aplicações relevantes, para que possam transmitir informações e aceder ao banco de dados de informação sobre TIC.
- Os agricultores devem ter um nível básico de alfabetização.

5.12.2 Computadores para aceder à Internet

Tal como no uso de telemóvel, a informação agrícola recolhida por institutos de pesquisa e outras organizações especialistas, é revista por um conselho de peritos e colocada numa base de dados. Em seguida, os responsáveis em extensão rural analisam e compilam as informações para divulgação on-line com a ajuda de especialistas em informática.

Os agricultores usam os computadores para aceder a informações agrícolas disponíveis em páginas da Internet. Em algumas destas páginas, o usuário responde a um conjunto de questões apresentadas e o programa informático fornece aconselhamentos (por exemplo, recomendações sobre fertilizantes). Uma questão importante que deverá ser resolvida é encontrar um local para um computador comunitário e definir quem deverá ser o responsável pela sua manutenção.

Prós

- O agricultor ganha acesso a informações e ao aconselhamento.
- Permite independência na obtenção de conhecimento.
- Permite acesso a uma ampla variedade de páginas da Internet com fotos e filmes de curta metragem visíveis num ecrã grande (contrariamente ao tamanho do ecrã de um telemóvel).
- Um computador por aldeia pode ser suficiente para atender toda a comunidade agrícola nessa área.

Contras

- O agricultor pode ter dificuldade no acesso a um computador com ligação à Internet.
- Os agricultores devem saber ler e escrever, e ter conhecimento básico de como os computadores funcionam.
- Os extensionistas devem ser formados no uso de computadores e ter conhecimento sobre as páginas agrícolas mais relevantes e adequadas às necessidades específicas do agricultor.

5.12.3 Vídeo

A vantagem de vídeos apresentados na língua local é a facilidade de entendimento dos agricultores com níveis de alfabetização baixos. As curtas-metragens feitas usando uma câmara de vídeo portátil podem ser feitas por professores de agricultura, cientistas de instituições governamentais, especialistas de ONGs e agricultores progressivos a fim de disseminar conhecimento aos agricultores. Os filmes devem ser feitos numa base popular e conter filmagens de actividades realizadas nas explorações agrícolas que sejam relevantes e instrutivas para o espectador.

Após a conclusão do vídeo, a precisão, clareza e adequação do conteúdo devem ser revistas por especialistas em agricultura antes da distribuição. O conteúdo pode mostrar:

- Uma breve visão geral de todo o processo;
- Uma lista detalhada dos recursos necessários e custos associados;
- Instruções graduais sobre o trabalho necessário no terreno;
- Uma síntese dos custos e benefícios; e
- Documentação das interacções com agricultores no terreno que podem ajudar a dar resposta a questões e preocupações comuns.

Os vídeos podem ser distribuídos na respectiva aldeia pelo pessoal de extensão rural e exibidos então, em lugares públicos, sob a supervisão dum extensionista. O pessoal de extensão rural é fundamental para ajudar a envolver os agricultores durante as sessões de vídeo, a fim de incentivar debates e discussões após as sessões e prestar apoio de acompanhamento no terreno.

Um vídeo feito numa aldeia pode ser útil como um material de extensão rural para uma aldeia vizinha, onde o conteúdo seja relevante, usando um sistema de distribuição rotativo de materiais supervisionado pelo pessoal de extensão rural. Os vídeos podem cobrir uma ampla gama de temas agrícolas, desde a manutenção das culturas à gestão pecuária, sendo a relevância para o agricultor assegurada pelo uso de linguagem e imagens de base popular.

A Digital Green foi pioneira no uso de vídeos como um instrumento de extensão rural (http://www.digitalgreen.org/).

Prós

- Não exige níveis elevados de alfabetização pois a componente áudio é produzida na língua local.
- A projecção pode ser repetida tantas vezes quantas as necessárias (permitindo uma abordagem gradual para a resolução de problemas e reforçando as ideias quando necessário).
- Cria-se um sentimento de orgulho e satisfação entre todos quando o agricultor protagonista é membro da comunidade.

Contras

- Cada aldeia precisa de ser equipada com um leitor de vídeo. Computadores com capacidade de exibir vídeos são menos eficazes, dado que o tamanho do ecrã limita o tamanho de audiência.
- O pessoal de extensão rural deve ser treinado no uso de câmaras de vídeo e princípios de filmagem.
- Os principais beneficiários do vídeo vão ser muitas vezes os agricultores “colegas” dos agricultores protagonistas..
- A motivação transmitida pelo testemunho de um agricultor pode ficar restrita à proximidade imediata do local da filmagem.

5.12.4 Armazenamento de dados

As principais organizações agrícolas, como o Programa Mundial de Alimentação das Nações Unidas, estão constantemente à procura de formas de aumentar a sua compreensão sobre os desafios que os agricultores enfrentam nas zonas remotas, e muitas vezes enfrentam dificuldades devido a falta de fontes eficientes e fiáveis de informação.

Os telemóveis equipados com um dispositivo de GPS podem ser usados para recolher dados geo-referenciados das explorações agrícolas visitadas. Tais dados podem então ser transformados em mapas que mostram padrões espaciais de questões específicas (por exemplo, a posse de telemóvel) e problemas no terreno (por exemplo, resposta ao uso de fertilizantes).

Os dados dos telemóveis também podem ajudar na identificação de áreas geográficas onde os serviços são mais necessários, permitindo também obter informações sobre o impacto desta tecnologia. As leis de privacidade e outros aspectos legais terão que ser considerados para evitar o mau uso dos dados recolhidos.

As TIC irão provavelmente ter um impacto profundo sobre os serviços de extensão rural nas próximas décadas, particularmente porque a tecnologia está a tornar-se cada vez mais acessível e a capacidade dos extensionistas e pesquisadores para usar as TIC tem aumentado com a formação.

5.13 Conclusões

Nesta secção analisamos algumas opções para a utilização do MIFS de forma diferenciada nos sistemas de produção agrícolas na ASS. Foi dado relevo á importância de uma análise adequada da exploração agrícola e do sistema de produção onde está inserida, bem como á necessidade de fazer uma avaliação do ambiente operacional dos agricultores (ambiente político e mercados) antes de iniciar o processo de implementação. As intervenções de MIFS devem passar por uma análise *ex ante* antes da testagem no campos do agrícultores e a implementação em larga escala só deve ser feita quando a análise *ex post* mostrar que as tecnologias oferecem benefícios económicos para os agricultores.

Uma questão importante é proporcionar aos profissionais de extensão rural materiais pertinentes para a sua própria formação e formação dos agricultores. Embora este manual tenha como objectivo proporcionar aos extensionistas informações sobre MIFS, outros materiais de extensão rural sobre sistemas de produção agrícola específicos e práticas agrícolas podem ser fornecidos numa variedade de formatos. A tecnologia moderna proporciona oportunidades interessantes para alcançar os agricultores incluindo os telemóveis, a Internet e o vídeo como meios complementares a folhetos e brochuras.

5.14 Bibliografia

Lista de referências bibliográficas relevantes de leitura recomendada. Cada citação é seguida de comentários e explicações sobre a obra em *itálico*. Se a fonte estiver disponível online, é proporcionada uma hiperligação.

Boughton, D., Crawford, E., Krause, M. and de Frahan, B. (1990) Economic Analysis of On-farm Trials: a Review of Approaches and Implications for Research Program Design. Department of Agricultural Economics, Michigan State University, Michigan, Massachusetts. Retrieved August 2012 from http://aec.msu.edu/fs2/inputs/documents/boughton_crawford_etal_SP90-78.pdf.

Este artigo proporciona métodos e abordagens para a análise de dados de ensaios e elaboração de recomendações.

CIMMYT (1988) From Agronomic Data to Farmer Recommendtions: an Economics Workbook. CIMMYT, Mexico. Retrieved August 2012 from http://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/830/13803.pdf?sequence=4.

Um texto de referência sobre a avaliação dos benefícios de práticas agronómicas, disponível on-line.

Crawford, E. and Kamuanga, M. (1987) L'Analyse Economique des Essais Agronomiques pour la Formulation des Recommandations aux Paysans. Department of Agricultural Economics, Michigan State University, Michigan, Massachusetts. Retrieved August 2012 from http://aec.msu.edu/fs2/papers/older/idprp6f.pdf.

Este artigo proporciona métodos e abordagens para a análise de dados de ensaios e elaboração de recomendações.

Crawford, E. and Kamuanga, M. (1988) Economic Analysis of Agronomic Trials for the Formulation of Farmer Recommendations. Department of Agricultural Economics, Michigan State University, Michigan, Massachusetts. Retrieved August 2012 from http://www.aec.msu.edu/fs2/papers/older/idprp6.pdf.

Este artigo proporciona métodos e abordagens para a análise de dados de ensaios e elaboração de recomendações.

Crawford, E. and Kelly, V. (2001) Evaluating Measures to Improve Agricultural Input Use. Department of Agricultural Economics, Michigan State University, Michigan, Massachusetts. Retrieved August 2012 from http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/11686/1/sp01–55.pdf.

Este artigo proporciona métodos e abordagens para a análise de dados de ensaios e elaboração de recomendações.

Crawford, E., Jayne, T. and Kelly, V. (2006) Alternative Approaches for Promoting Fertilizer Use in Africa. Agriculture and Rural Development Discussion Paper 22, World Bank, Washington, DC. Retrieved August 2012 from http://siteresources.worldbank.org/INTARD/Resources/ARD_DP22_FINAL.pdf.

Um texto de referência sobre a avaliação dos benefícios de práticas agronómicas, disponível on-line.

Dillon, J. and Hardaker, J. (1977) *Agricultural Decision Analysis*. Iowa State University Press, Ames, Iowa.

Dillon, J. and Hardaker, J. (1993) *Farm Management Research for Small Farmer Development*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Dois livros sobre a base económica das decisões relativas à gestão agrícola.

Dorward, P., Shepherd, D. and Galpin, M. (2007) Participatory Farm Management Methods for Analysis, Decision Making and Communication. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Retrieved August 2012 from http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/ags/publications/participatory_FM.pdf.

Um manual muito útil sobre métodos participativos.

Galpin, M., Dorward, P. and Shepherd, D. (2000) Participatory Farm Management (PFM) Methods: a Field Manual. Departments of Agriculture and Agricultural Extension and Rural Development, The University of Reading, Reading, UK. Retrieved August 2012 from www.fao.org/fileadmin/…/participatory_FM.pdf.

Um manual muito útil sobre métodos participativos. As figuras, 5.2 e 5.3 são apresentadas e discutidas neste artigo.

Giller, K.E., Tittonell, P., Rufino, M.C., van Wijk, M.T., Zingore, S., Mapfumo, P., Adjei-Nsiah, S., Herrero, M., Chikowo, R., Corbeels, M., Rowe, E.C., Baijukya, F., Mwijage, A., Smith, J., Yeboah, E., van der Burg, W.J., Sanogo, O.M., Misiko, M., de Ridder, N., Karanja, S., Kaizzi, C., K'ungu, J., Mwale, M., Nwaga, D., Pacini, C. and Vanlauwe, B. (2011) Communicating complexity: integrated assessment of trade-offs concerning soil fertility management within African farming systems to support innovation and development. *Agricultural Systems* 104, 191–203.

Um documento geral que discute a metodologia de NUANCES (Uso de Nutrientes e Sistemas Agrícolas e Pecúaria - Eficiência e Escalas) para análise dos sistemas de exploração agrícola incluindo a avaliação das soluções de compromisso que criaram as bases das práticas de maneio de fertlidade dos solos "mais ajustadas".

Harrington, L. (1982) Exercises in the Economic Analysis of Agronomic Data. CIMMYT, Mexico. Retrieved August 2012 from http://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/1005/7030.pdf?sequence=1.

Este artigo proporciona métodos e abordagens para a análise de dados de ensaios e elaboração de recomendações.

Kelly, V. (2005) Farmers' Demand For Fertilizer in Sub-Saharan Africa. Department of Agricultural Economics, Michigan State University, Michigan, Massachusetts. Retrieved August 2012 from http://aec.msu.edu/fs2/inputs/documents/WB_demand_paper_August_18_2005_Final_full.pdf.

Kelly, V. (2005) Fertilizer demand in Sub-Saharan Africa: realizing the potential. *Policy Synthesis* 77, 1–4. USAID Office of Sustainable Development, Washington, DC. Retrieved August 2012 from http://www.aec.msu.edu/fs2/polsyn/number77.pdf.

Kelly, V. (2006) Factors Affecting Demand for Fertilizer in Sub-Saharan Africa. Agriculture and Rural Development Discussion Paper 23, World Bank, Washington, DC. Retrieved August 2012 from http://siteresources.worldbank.org/INTARD/Resources/ARD_DP23_FINAL.pdf.

Kelly, V. (2007) Guide Méthodologique pour les Études sur les Impacts de la Gestion des Ressources Naturelles. International Resources Group, Washington, DC.

Guias para o acompanhamento e avaliação das intervenções do projecto, disponível on-line.

Morris, M., Kelly, V., Kopicki, R. and Byerlee, D. (2007) Fertilizer Use in African Agriculture. Lessons Learned and Good Practice Guidelines 144, World Bank, Washington, DC. Retrieved August 2012 from https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/6650/390370AFR0Fert101OFFICIAL0USE0ONLY1.pdf?sequence=1.

Uma série de publicações sobre o uso de fertilizantes na agricultura na região Subsahariana.

Ojiem, J.O., de Ridder, N., Vanlauwe, B. and Giller, K.E. (2006) Socio-ecological niche: a conceptual framework for integration of legumes in smallholder farming systems. *International Journal of Agricultural Sustainability* 4, 79–93.

O conceito de nichos socioecológicos pode ser usado para explicar como as tecnologias de MIFS podem ser ajustadas aos sistemas de exploração agrícola de pequenos produtores. Esta obra não se limita ao papel das leguminosas fixadoras de nitrogénio.

Rufino, M.C., Dury, J., Tittonell, P., van Wijk, M.T., Herrero, M., Zingore, S., Mapfumo, P. and Giller, K.E. (2011) Competing use of organic resources, village-level interactions between farm types and climate variability in a communal area of NE Zimbabwe. *Agricultural Systems* 104, 175–190.

Por vezes as limitações do MIFS situam-se ao nível da aldeia e não ao nível da exploração agrícola.. Este artigo discute como o uso do estrume pode ser mais bem implementado no âmbito do MIFS a nível da aldeia, alertando para o facto de que não haverá estrume suficiente para fertilizar todos os campos e daí a necessidade de uso de nutrientes externos na forma de fertilizantes.

Shiferaw, B., Freeman, H. and Swinton, S. (2004) *Natural Resource Management in Agriculture: Methods for Assessing Economic and Environmental Impacts*. CABI, Wallingford, UK.

Este livro discute as características específicas e dificuldades metodológicas das avaliações do impacto económico e ambiental das práticas de gestão de recursos naturais.

Tefft, J. (1991) Une Analyse Economique des Essais Variétaux et Agronomiques à l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles. USAID and l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, Washington, DC. Retrieved August 2012 from http://www.aec.msu.edu/fs2/promisam_2/Tefft_Sen_Trials_Report_French_Latest_fu.pdf.

Este artigo fornece métodos e abordagens para a análise de dados de ensaios e elaboração de recomendações.

Tittonell, P., Vanlauwe, B., Leffelaar, P.A., Rowe, E.C. and Giller, K.E. (2005) Exploring diversity in soil fertility management of smallholder farms in western Kenya – I. Heterogeneity at region and farm scale. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 110, 149–165.

Tittonell, P., Vanlauwe, B., Leffelaar, P.A., Shepherd, K. and Giller, K.E. (2005) Exploring diversity in soil fertility management of smallholder farms in western Kenya – II. Within-farm variability in resource allocation, nutrient flows and soil fertility status. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 110, 166–184.

Estes dois artigos discutem a diversidade de pequenos produtores localizados em áreas densamente povoadas dos planaltos da África Oriental no que diz respeito à fertilidade do solo e propõe abordagens para segmentar essa diversidade através da classificação de explorações agrícolas.

Tittonel, P., Misiko, M. and Ekise, I. (2008) Talking soil science with farmers. *LEISA Magazine* 24.2, 9–11. LEISA. Retrieved from http://www.agriculturesnetwork.org/magazines/global/living-soils/talking-soil-science-with-farmers/at_download/article_pdf.

Boas ideias sobre como discutir o MIFS com os agricultores.

Tittonell, P., van Wijk, M.T., Herrero, M., Rufino, M.C., de Ridder, N. and Giller, K.E. (2009) Beyond resource constraints – exploring the biophysical feasibility of options for the intensification of smallholder crop-livestock systems in Vihiga district, Kenya. *Agricultural Systems* 101, 1–19.

Aqui está uma análise ex ante detalhada de como diferentes abordagens de intensificação "se adequam" a uma gama diversificada de pequenos produtores

Tittonell, P., Muriuki, A., Shepherd, K.D., Mugendi, D., Kaizzi, K.C., Okeyo, J., Verchot, L., Coe, R. and Vanlauwe, B. (2010) The diversity of rural livelihoods and their influence on soil fertility in agricultural systems of East Africa–a typology of smallholder farms. *Agricultural Systems* 103, 83–97.

Este artigo discute a diversidade de pequenos produtores encontrados em áreas densamente povoadas nos planaltos da África Oriental no que diz respeito à fertilidade do solo e propõe abordagens para segmentar essa diversidade através da classificação de explorações agrícolas.

Foto 5.1 Agricultores discutem a resposta do amendoim a fertilizantes de P em Pallisa, Uganda, com Pedro Ebanyat.

Foto 5.2 Avaliação dos ensaios de nutrientes com os agricultores na região Ocidental do Quénia.

Foto 5.3 Os legumes beneficiam do efeito residual dos fertilizantes aplicados na banana nas terras altas do Uganda.

Foto 5.4 Uma loja de fertilizantes deve ter um tecto à prova de água e um pavimento duro. Os fertilizantes devem ser armazenados em paletas de madeira para evitar a aglutinação.

Foto 5.5 Uso de telemóveis para aceder aos dados da cultura numa plantação de banana no Uganda.

Foto 5.6 Os comerciantes são um elo essencial entre os agricultores e o mercado. Devem ser consultados e envolvidos nas campanhas destinadas a aumentar a produtividade.

Foto 5.7 Um centro de formação em informática no Quénia operado por um fornecedor de factores de produção agrícolas pode tornar-se numa ferramenta importante para disseminar informações sobre a agricultura.

Foto 5.8 As campanhas de extensão rural devem competir pela a atenção dos agricultores a par com as campanhas comerciais! As empresas de telefonia móvel oferecem um serviço importante nas zonas rurais!

Foto 5.9 Uma loja de factores de produção no Oeste do Quénia, onde fertilizantes podem ser adquiridos usando o crédito do telemóvel.

Foto 5.10 Muitas vezes, a contribuição mais importante que os governos podem fazer para o MIFS é melhorar as estradas e, portanto, reduzir o preço de fertilizantes aos agricultores!

Foto 5.11 O proprietário duma loja mostra os resultados do uso de variedades de sementes melhoradas de milho.

Foto 5.12 As visitas de campo com a participação de agricultores oferecem aos pesquisadores e extensionistas a oportunidade de receberem informações úteis.

Foto 5.13 Encontros e seminários onde os agricultores tomam a liderança e fornecem informações valiosas sobre a forma como os agricultores percebem e avaliam os resultados do trabalho de extensão rural.

Foto 5.14 Um extensionista utiliza garrafas plásticas de água para demonstrar o princípio dos "factores limitantes" da Lei do Mínimo de Liebig.

Foto 5.15 Muito se pode aprender visitando os fornecedores de factores de produção. Por exemplo, quais são os fertilizantes mais conhecidos e que quantidades os agricultores compram em cada época agrícola?

Foto 5.16 Agricultores numa escola agrícola rural votam com cartões coloridos para classificar a mandioca sob prática normal dos agricultores (1, cartões vermelhos) e sob MIFS (2, cartões verdes).

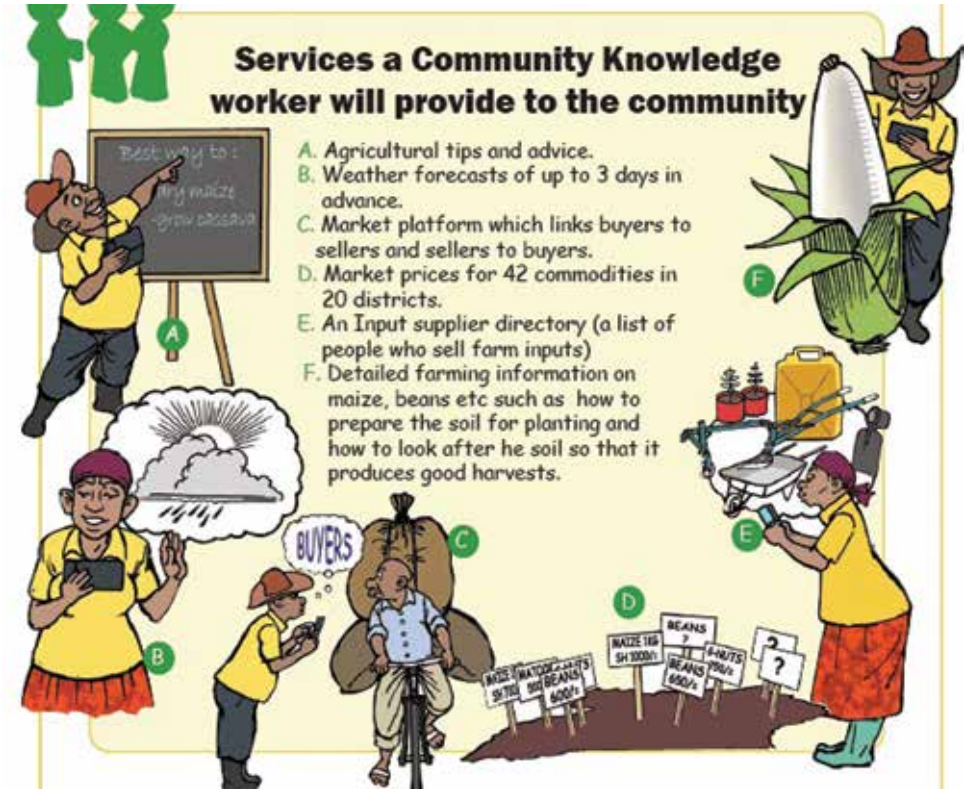


Foto 5.17 Sistema dos Agentes para o Conhecimento nas Comunidades (ACC) desenvolvido pela Fundação Grameen. Os ACC são aldeãos formados para trabalhar como agentes de extensão rural dentro da sua própria comunidade. Os telemóveis são usados para recolher dados geo-referenciados e disseminar informações.

Foto 5.18 O sistema Gestor de Nutrientes para o Arroz, desenvolvido pelo Instituto Internacional de Pesquisa do Arroz, fornece um meio eficaz para os agricultores obterem recomendações sobre fertilizantes para os seus campos de arroz através da Internet. O utilizador é conduzido através de uma série de questões para chegar a uma recomendação de fertilizantes específica para um determinado local.

Foto 5.19 A preparação criteriosa do conteúdo e o planeamento cuidadoso do processo de produção são necessários á preparação de materiais audiovisuais de extensão rural. O operador de câmara e o sonoplasta recebem instruções do director, que organiza cada cena com base em discussões e planificação prévias.

Foto 5.20 *Agricultores comemoram o sucesso da implementação do MIFS numa gama variada de sistemas de cultivo e sistemas de produção em países da ASS.*

6. Solo e produção agrícola: introdução

Publicado por Africa Soil Health Consortium

6.1 Introdução

Diversos tipos de profissionais, incluindo os sem formação técnica em agricultura, poderão estar envolvidos no desenvolvimento e implantação de técnicas de maneio integrado da fertilidade de solos (MIFS) a fim de melhorar a produtividade das explorações.

Esta secção é especialmente dedicada aos profissionais, envolvidos na promoção do maneio integrado da fertilidade de solos, com um nível bastante básico de formação sobre solos e fertilidade do solo. O objectivo é reforçar os princípios que sustentam as práticas contidas no MIFS.

6.2 Função e qualidade do solo incluindo os indicadores de qualidade

A palavra 'solo' descreve o material orgânico e mineral não consolidado à superfície da terra que serve como meio natural para o crescimento das plantas. O solo é um atributo fundamental que determina a produtividade primária e a vida na terra. O solo é inseparável de "terra", o principal factor de produção em agricultura.

A vida humana depende da agricultura. A capacidade da terra para sustentar as actividades agrícolas é a principal medida do seu valor económico e é geralmente medida com base na capacidade do solo de desempenhar das funções essenciais que sustentam as culturas agrícolas.

A terra é um bem económico que pode ser negociado, trocado e alugado e o seu valor está directamente relacionado com a fertilidade do solo nela contido. Não é por acaso que muitas das sociedades mais ricas se desenvolveram em áreas onde a fertilidade inerente do solo é alta.

A densidade populacional é maior nas áreas de montanha e planaltos Africanos, onde os solos são geralmente mais férteis e o clima permite duas épocas de cultivo. O solo é o principal activo do agricultor, e o maneio adequado do solo irá adicionar valor ao valor económico da terra a longo prazo.

6.2.1 Funções básicas do solo

O solo tem cinco funções básicas que são importantes para preservar os meios de subsistência das populações.

- **Meio para o crescimento das plantas**. O solo proporciona o meio para a produção de biomassa vegetal para uso como alimento, ração alimentar e fibra. É esta a função chave que impulsiona toda a cadeia alimentar e actividade agrícola.
- **Função ambiental**. O solo é responsável pela filtragem, desactivação ou destruição de potenciais poluentes ambientais e pelo controlo dos fluxos de água da chuva, da neve e da água de irrigação e dos solutos dissolvidos e sedimentos suspensos. Elementos minerais e microorganismos que ocorrem naturalmente no solo proporcionam os meios para a degradação, neutralização e /ou desintoxicação de resíduos orgânicos e inorgânicos potencialmente nocivos, resultantes de processos naturais ou industriais e antropogénicos (causados pelo 'homem'). O solo desempenha, portanto, um papel crucial na "limpeza" do ar e da água que usamos.
- **Habitat para diversos organismos**. O solo é a base para o crescimento de uma imensa diversidade de micro e macrofauna e flora contribuindo, portanto, para a manutenção dos recursos genéticos do planeta, incluindo a fauna e flora do próprio solo.
- **Fonte de matéria-prima**. Os elementos químicos usados no crescimento das plantas são armazenados, libertados, transformados e reciclados no solo. O solo também contém minerais e água que podem ser usados como matéria-prima em actividades económicas, incluindo as agro-industriais tal como a produção de fertilizantes.
- **Espaço físico/plataforma.** O solo providencia suporte para várias estruturas de construção civil, como edifícios e estradas e funciona como um repositório de tesouros arqueológicos, bem como um depósito para resíduos associados à habitação humana.

Estas funções básicas sublinham o papel importante que o solo desempenha na agricultura e no ambiente em geral.

O maneio sustentável do solo tem como objectivo a manutenção e a melhoria dos atributos do solo que mais directamente influenciam estas funções básicas, que estão na base do conceito de "qualidade de solo".

6.2.2 Fertilidade do Solo

Fertilidade do solo refere-se à capacidade de um solo para sustentar a produção de culturas e pecúaria. Um solo fértil poderá sustentar o crescimento óptimo desde a germinação da semente até á maturação da planta. A capacidade de sustentação de um solo depende do fornecimento de:

- um volume de solo adequado para o desenvolvimento da raiz da planta;
- água e ar para o desenvolvimento e crescimento da raiz;
- elementos químicos que satisfaçam as necessidades nutricionais da planta; e
- providencie uma base de fixação para a planta.

Estes atributos são frequentemente usados para descrever a 'qualidade produtiva' geral de um solo agrícola.

A este respeito, podemos também distinguir entre indicadores intrínsecos e dinâmicos da qualidade de solo:

- *Os indicadores intrínsecos* da qualidade de solo referem-se aos atributos naturais do solo que lhe conferem funcionalidade como solo e incluem a textura, a profundidade e os materiais de origem do solo (mineralogia). Enquanto a textura do solo não muda ao longo do tempo, a profundidade do solo pode reduzir-se como resultado da erosão, levando a uma mudança da textura superficial do solo. Geralmente adaptamos as práticas agrícolas às propriedades intrínsecas do solo.
- *Os indicadores dinâmicos* da qualidade de solo dizem respeito aos atributos do solo que são dependentes das formas de maneio agrícola tais como o teor de matéria orgânica do solo (MOS), capacidade de retenção de água e nutrientes e a estrutura do solo. As quantidades de fósforo (P) e potássio (K) no solo podem aumentar ao longo do tempo através da aplicação de fertilizantes e estrume animal. A textura da camada superficial do solo pode ser considerada como uma propriedade dinâmica, porque esta é afectada pela erosão. Estes indicadores mudam ao longo do tempo e são directamente afectados pelas práticas agrícolas.

Dado que é difícil ou mesmo impossível manipular os atributos intrínsecos do solo, a manutenção e melhoramento dos parâmetros dinâmicos tornam-se o foco do maneio do solo em agricultura. Por exemplo, existe uma certa margem de manobra para os agricultores fazerem o maneio da MOS e das propriedades biológicas associadas de forma a influenciar a produtividade dos solos agrícolas.

6.3 Solo como uma fonte de água e nutrientes para a produção agrícola

O solo contém quatro constituintes essenciais:

- **ar** (cerca de 20–30% de volume);
- **solução do solo** (cerca de 20–30% de volume);
- **fracção mineral** (cerca de 45% de volume);
- **matéria orgânica** (cerca de 5% de volume); e
- **flora e fauna do solo**.

Além da luz, as plantas cultivadas necessitam de água e nutrientes para crescerem, se desenvolverem e produzirem produtos agrícolas (seja grãos, tubérculos, frutos ou matéria seca para a alimentação animal). Iremos agora rever a contribuição dos constituintes do solo para o crescimento e desenvolvimento de culturas.

A porosidade do solo (ou seja, o volume de solo ocupado pelo ar e pela solução do solo) é o espaço onde as

raízes e os microorganismos respiram e onde se dá o armazenamento de água. Um solo bem drenado proporciona humidade suficiente para crescimento das plantas e arejamento suficiente para funcionamento adequado das raízes. Num solo muito seco, todos os poros (pequenos orifícios e canais entre as partículas do solo) são preenchidos com ar estando o funcionamento da raiz e o crescimento da planta reduzido devido ao stress hídrico. Num solo inundado, os poros estão saturados de água de tal forma que as raízes da maioria das culturas não têm acesso a oxigénio e, portanto, podem perecer por asfixia. A excepção é o arroz, que tem raízes que podem tolerar hipoxia em terras submersas.

Os nutrientes estão presentes no solo, no ar, ou na água contida nos solos (chamada 'solução do solo'). Existem 18 elementos químicos essenciais que são necessários para o crescimento normal e desenvolvimento pleno das plantas.

Estes incluem três elementos essenciais que são necessários para o crescimento da planta, mas que não fazem parte do plano de nutrição das culturas. O Carbono (C) é obtido a partir de dióxido de carbono (CO_2) do ar, o Hidrogénio (H) a partir de água e o Oxigénio (O) a partir da água e do ar. Estes elementos, C, H e O, são transformados pela fotossíntese, o 'motor' de crescimento das plantas, em hidratos de carbono para o crescimento e desenvolvimento das plantas e produção agrícola.

Dos outros 15 elementos químicos obtidos solo, fazemos uma distinção entre nutrientes primários, nutrientes secundários e micronutrientes, com base no teor de cada nutriente na planta:

- Os nutrientes primários essenciais são o Nitrogénio (N), o Fósforo (P) e o Potássio (K).
- Os nutrientes essenciais secundários são o Cálcio (Ca), o Magnésio (Mg) e o Enxofre (S).
- Os micronutrientes essenciais obtidos do solo são o Ferro (Fe), o Manganês (Mn), o Boro (B), o Zinco (Zn), o Cobre (Cu), o Cloro (Cl), o Cobalto (Co), o Molibdénio (Mo) e o Níquel (Ni).

As fracções orgânica e mineral do solo são as principais fontes dos nutrientes vegetais que se libertam para a solução do solo.

6.3.1 Fracção mineral

A fracção mineral do solo fornece uma base de fixação às raízes das plantas e funciona como uma fonte de libertação lenta de nutrientes para a solução do solo. A fracção mineral é composta por materiais de diferentes dimensões (secção 7.4):

- A **Areia** tem um tamanho de partículas (granulometria) que varia de 50 a 2000 μm (0.05 – 2.0 mm) de diâmetro.
- O **Limo** tem um tamanho de partículas (granulometria) que varia de 2 a 50 μm (0.002–0.05 mm) de diâmetro.
- A **Argila** tem um tamanho de partículas (granulometria) <2 μm (< 0.002 mm) de diâmetro.

As proporções de areia, limo e argila determinam a textura do solo (figuras 6.1 e 7.1). Por exemplo, um solo franco arenoso contém muita areia, enquanto um solo franco argilo-limoso contém principalmente limo e argila. A textura do solo é uma característica muito importante, pois determina em grande medida a dinâmica do fluxo de água no solo. Cada uma das classes de textura mostradas no diagrama tem vantagens e desvantagens em termos da sua utilização na agricultura.

Os solos contendo uma grande proporção de argila (os chamados solos de textura pesada) são difíceis de trabalhar, particularmente se a fracção de argila for composta por argilas denominadas expansíveis. Os solos que contêm uma grande proporção de areia são designados solos de textura grosseira ou ligeira e são mais propensos à seca do que os solos que contêm mais argila. A textura do solo pode ser determinada no laboratório ou no campo esfregando uma pequena quantidade de solo húmido entre os dedos e o polegar – o Teste do 'Tacto' (Figura 6.1).

A textura do solo afecta o comportamento do solo em termos da sua:

- capacidade de retenção de água;
- capacidade de retenção e fornecimento de nutrientes

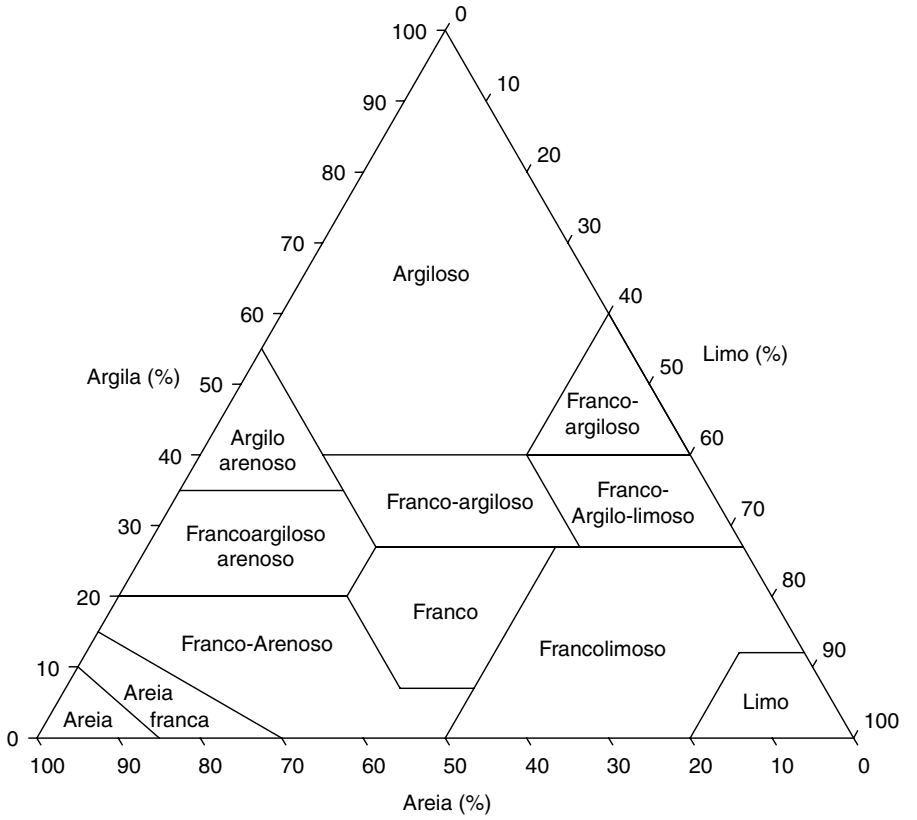


Figura 6.1 Diagrama da Textura do solo. A textura do solo pode ser determinada no campo usando o sentido do "tacto".

- capacidade de drenagem; e
- propensão á lixiviação de nutrientes.

Em geral, o fluxo vertical da água no solo (ou seja, a taxa de percolação de água) é muito elevado em solos arenosos, em comparação com os argilosos. Os nutrientes contidos na água de percolação podem ser transportados para profundidades além do alcance das raízes das plantas.

A fracção de argila e MOS proporcionam ao solo os meios para reter e libertar nutrientes. Minerais de argila e MOS têm uma grande área de superfície em relação ao seu peso, e algumas das superfícies possuem uma carga negativa, devido a substituição dos iões de silício (Si) e de alumínio (Al) na malha de argila por catiões (iões carregados positivamente) de menor carga positiva. As argilas podem, portanto, trocar catiões (iões carregados positivamente, tais como o potássio, K^+ e o amónio NH_4^+. Esta capacidade denomina-se Capacidade de Troca Catiónica (CTC) e é expressa em centi-mols por quilograma (cmol (+)/kg) de solo seco. No geral, quanto mais fértil o solo maior é a CTC.

Em condições excepcionais, os minerais de argila também podem reter aniões (iões carregados negativamente), como o nitrato, (NO_3^-) em *locais* de carga positiva. Esta capacidade denomina-se Capacidade de Troca de Aniões (CTA), também expressa em centi-mols por quilograma (cmol (+) kg) de solo seco.

A CTC depende principalmente de teor de argila, o tipo de mineral de argila, a quantidade de MOS e do pH do solo (ou seja, da medida de acidez do solo, veja abaixo).

A principal diferença entre os minerais de argila é ao nível da sua estrutura:

- Os minerais de argila do tipo 2:1 contêm duas camadas de silicato para cada camada de óxido ou hidróxido de alumínio e possuem uma grande CTC (por exemplo a ilite). Minerais 2:1 são mais comuns em solos férteis de baixa altitude (por exemplo, campos de arroz das terras baixas).

- Minerais de argila 1:1 contêm uma camada de silicato por cada camada de óxido/hidróxido de alumínio e têm uma baixa CTC, dependente do pH do solo (por exemplo a caulinite): se o solo é ácido, a CTC é baixa. A maioria dos solos das terras altas na África Subsariana (ASS) contêm principalmente minerais argilosos do tipo 1:1, que possuem CTC baixa e dependente do pH, e a sua capacidade de reter ou fornecer nutrientes que sustentem o crescimento da cultura é inerentemente baixa.

6.3.2 Fracção orgânica

A fracção orgânica no solo ou MOS não é homogénea, mas sim composta por resíduos animais e vegetais em vários estágios de decomposição que vão desde os resíduos das culturas recém-adicionados e do estrume animal até aos materiais orgânicos transformados em húmus pela actividade biológica .

A matéria orgânica contém quantidades significativas de nutrientes essenciais para as plantas, e é uma importante fonte de N para o crescimento das plantas. O N contido na MOS não está imediatamente disponível para a absorção pela planta e vai se libertando gradualmente durante a decomposição. O processo de libertação de nutrientes envolve duas etapas. Primeiro os materiais orgânicos passam pela mineralização, onde o material orgânico (resíduos de culturas, estrume, etc) é convertido em amónio (NH_4^+) pela acção de fungos e bactérias:

$$\text{orgânico N} \rightarrow \text{Amónio N } (NH_4^+).$$

Na segunda etapa as bactérias nitrificantes (*Nitrosomonas* e *Nitrobacter*) convertem o amónio em iões de nitrato, que podem ser absorvidos pelas culturas, no processo chamado de nitrificação:

$$\text{N Amónio } (NH_4^+) \rightarrow \text{N Nitrito } (NO_2^-) \rightarrow \text{N Nitrato } (NO_3^-)$$

Os principais determinantes da decomposição da matéria orgânica são:

- a qualidade dos materiais orgânicos, que é afectada pela relação C:N (a relação carbono/nitrogénio na matéria orgânica) e pelo teor de lignina e polifenóis compostos;
- condições ambientais do solo, tais como a estrutura do solo, teor de humidade do solo, temperatura do solo, pH do solo; e
- a população de micro e macro-flora e fauna do solo (isto é, micróbios, nemátoidos, fungos, bactérias) que está activamente envolvida nas transformações.

Os materiais orgânicos que contêm uma pequena quantidade de N em relação ao seu conteúdo C (por exemplo, palha), decompõem-se mais lentamente do que os materiais com alta concentração de N (por exemplo resíduos de leguminosas). Isso ocorre porque a quantidade de N contida nos materiais com uma relação C:N elevada como a palha não fornece N suficiente para satisfazer as necessidades dos microorganismos envolvidos na decomposição. A decomposição é retardada nos materiais orgânicos que contêm uma grande proporção de lignina e polifenóis (por exemplo, materiais orgânicos 'lenhosos').

Alcançar uma correspondência perfeita (ou 'sincronia') entre a libertação de N da matéria orgânica no solo e a utilização pela planta desse N libertado é um objectivo importante do maneio dos materiais orgânicos adicionados. Isto porque o N libertado da MOS, que não é absorvido pelas plantas, pode ser lixiviado da camada superficial do solo para profundidades abaixo do alcance das raízes das plantas.

Os materiais orgânicos (resíduos das culturas, estrumes) adicionados ao solo também contêm outros elementos essenciais para a planta, tais como P, Mg, Ca, S e micronutrientes, que se tornam disponíveis para a absorção pelas plantas durante e após a decomposição. K não é um componente estrutural dos materiais orgânicos mas encontra-se na seiva das células das plantas sendo, portanto, libertado muito rapidamente quando as células se rompem no início da decomposição. O teor de K de materiais orgânicos pode ser facilmente lixiviado se estes forem expostos à chuva antes da sua aplicação no campo.

Em solos tropicais, o conteúdo de MOS é um factor importante para a determinação da CTC do solo devido á libertação de H^+ dos grupos funcionais na MOS, dependendo do pH da solução do solo. Cerca de 55% da MOS é

constituída por carbono e um aumento de 1 g/kg na quantidade de carbono orgânico do solo proporciona 0.4 cmol (+)/kg de CTC (a pH 7) adicional.

Além de fornecer nutrientes e melhorar a CTC, a MOS oferece os seguintes benefícios:

- Melhora a capacidade de retenção de água do solo, pois a MOS pode reter até cinco vezes o seu próprio peso em água.
- Melhora a infiltração de água no solo, melhorando indirectamente o armazenamento da humidade do solo e reduzindo a escorrência de águas superficiais.
- Funciona como um tampão para o pH do solo.
- Liga-se com Mn e Al, reduzindo assim a sua concentração (e toxicidade) na solução do solo.
- Melhora a estrutura do solo, estimulando a actividade da flora e fauna do solo que produz agregados no solo e, portanto, reduz indirectamente a sua susceptibilidade à erosão.

Materiais orgânicos como resíduos de culturas podem igualmente proporcionar uma cobertura vegetal que protege o solo reduzindo a perda de solo por erosão. Contudo os materiais orgânicos não estão frequentemente disponíveis para o uso como cobertura dos solos pois os agricultores preferem usa-los para a alimentação animal. O estrume animal é depois reciclado para o campo como fonte de nutrientes.

Na maioria dos solos tropicais, o teor de matéria orgânica no solo diminui drasticamente com o aumento da profundidade e, portanto, uma pequena perda de solo na camada superficial resulta na perda de uma quantidade desproporcional da MOS.

Dado as suas várias funções vitais, a MOS torna-se numa questão fundamental no maneio da fertilidade do solo, sendo que o decréscimo da MOS constitui uma ameaça para a sustentabilidade de muitos sistemas agrícolas. O conteúdo da MOS está relacionado com o teor de argila do solo porque as partículas de argila podem proteger a MOS da decomposição e desintegração acelerada, contribuindo assim para o aumento da MOS que se acumula no solo. É difícil aumentar a quantidade de MOS em solos de textura grosseira que contêm pouca argila e em solos onde a capacidade da argila para proteger a MOS já está saturada. É por esta razão que o MIFS coloca mais ênfase na reposição da MOS.

No contexto do MIFS, a importância dos materiais orgânicos está no seu potencial de melhorar a eficiência agronómica do uso de fertilizantes.

6.4 Função dos nutrientes na produção de plantas

Um breve súmario da função de cada nutriente no crescimento das plantas é descrito em seguida. É importante ter em conta que os sintomas de carência visíveis no campo para um nutriente estão muitas vezes relacionados com as funções desse nutriente na planta. É importante lembrar que todos os nutrientes essenciais são necessários para a produção vegetal e a falta de um único nutriente resulta num mau desempenho da cultura, mesmo quando todos os outros nutrientes estão presentes em quantidades suficientes.

Uma chave útil para distinguir entre carências e toxicidades de nutrientes é também fornecida (Figura 6.2).

6.4.1 Macronutrientes

Um macronutriente é um nutriente que constitui pelo menos por 0.1% de matéria seca da planta. O conteúdo total de macronutrientes de uma cultura pode ser maior do que 4% da matéria seca total.

Nitrogénio (N)

N combina-se com C, H e O para formar aminoácidos, os elementos constituitivos das proteínas e enzimas. O N faz igualmente parte da molécula de clorofila e de várias vitaminas. O N é necessário para a produção da matéria seca da planta e para a produção de proteínas nas culturas de grão. Plantas com carência em N são

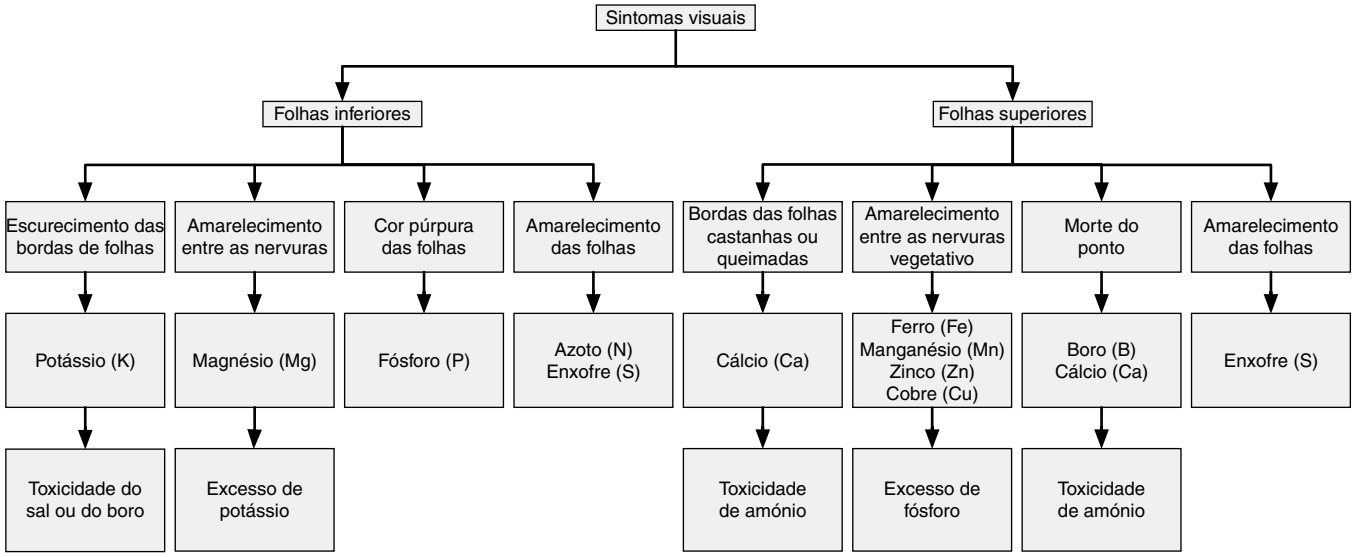


Figura 6.2 Sintomas visíveis de carências e outras perturbações nutricionais. Os sintomas podem ser causados por outros factores (por exemplo a seca também pode causar o acastanhado das bordas da folha). A cor roxa também pode ser vista em algumas variedades de cereais ricas em antocianinas. A carência de fósforo é muitas vezes indicada pelo atrofiamento das plantas (no caso do milho) e pelo tamanho reduzido da folha (no caso das leguminosas).

atrofiadas e as folhas mais velhas tornam-se verde pálido ou amarelas a partir da ponta da folha, à medida que o N é translocado para os tecidos mais jovens. Culturas com carência em N atingem a maturidade prematuramente resultando num rendimento reduzido. O conteúdo de proteína é reduzido nas culturas de grão com carência em N. O N é absorvido pelas plantas sob a forma de iões nitrato (NO_3^-) e amónio (NH_4^+).

Fósforo (P)

O P desempenha um papel importante no armazenamento de energia, é um componente do ADN e é necessário para a manutenção da membrana celular. P é necessário em grandes quantidades nas zonas ocorre crescimento e multiplicação celular (ou seja, nos ápices do caule e da raiz). P é importante para o desenvolvimento da raiz, flor e produção de sementes e frutos. O *P* contribui para resistência da planta às doenças e para a qualidade da colheita. O *P* é prontamente translocado dos tecidos mais velhos para os tecidos mais novos causando o aparecimento de sintomas de coloração de verde-escuro a verde-azulado nas folhas mais velhas de algumas plantas. Em condições de carência severa, as folhas e os talos tornam-se roxas. À medida que as plantas amadurecem, a maior parte do P da planta é transportado para as sementes e frutos. Quando o P é insuficiente, o desenvolvimento da raiz e o afilhamento é mau, o crescimento da planta é retardado, as plantas são atrofiadas, a maturidade de cultura é atrasada e a floração e frutificação são pouco abundantes. O *P* é absorvido a partir da solução do solo sob a forma de iões de $H_2PO_4^-$ e HPO_4^{2-}.

Potássio (K)

O K encontra-se no núcleo da célula e catalisa a actividade de muitas enzimas envolvidas no metabolismo da planta. O K também regula o balanço de cargas eléctricas onde a transferência de energia ocorre, afectando, portanto, a síntese de proteínas. O fluxo de água na planta é controlado pelo efeito das mudanças da concentração de K nas células guarda dos estomas da folha. O K também promove a translocação de açúcares para o crescimento das plantas ou armazenamento em grãos e tubérculos. K é necessário para a fixação do N_2 atmosférico em plantas leguminosas. O K também é importante para a qualidade das culturas (por exemplo, o tamanho do grão) e resistência a doenças. Plantas com carência em K mostram clorose (queimaduras nas margens da folha) ao longo das bordas das folhas mais velhas, a partir das quais o K é translocado para tecidos mais jovens. As plantas com carência em K são atrofiadas e geralmente são mais propensas ao acamamento e mais susceptíveis ao stress hídrico. O K é absorvido pelas plantas na forma de iões de K^+.

Enxofre (S)

O S é um constituinte dos aminoácidos e, portanto, essencial para a formação de proteínas. O S é necessário para a síntese de clorofila e algumas vitaminas, bem como para a fixação biológica de N_2 em leguminosas. As folhas mais jovens das plantas com carência tornam-se amareladas e pálidas, sendo a taxa de crescimento reduzida e a maturidade adiada. As plantas absorvem o S do solo como iões SO_4^{2-}.

Magnésio (Mg)

O Mg é um constituinte da clorofila e, portanto, essencial para a fotossíntese. O Mg activa enzimas e é necessário para o transporte de hidratos de carbono. Mg é móvel na planta e os sintomas de carência aparecem como clorose inter-venal nas folhas mais velhas. O tecido inter-venal torna-se amarelo-laranja em algumas espécies vegetais (por exemplo na batata e na soja). Mg é absorvido pelas plantas na sua forma iónica de iões de Mg^{2+}.

Cálcio (Ca)

O Ca está envolvido na formação da membrana celular, na activação das enzimas da síntese proteica e do transporte de hidratos de carbono e na neutralização de fosfatos, sulfatos e ácidos orgânicos potencialmente tóxicos. O Ca é essencial para a produção de sementes em plantas com exigência de cálcio (denominadas plantas 'calcícolas') como o amendoim. O Ca influencia o movimento da água, o crescimento e divisão celulares e é necessário para a absorção de N e outros minerais. O Ca afecta indirectamente o crescimento da planta quando os solos são tratados com calcário na forma de $CaCO_3$. Dado que o Ca não é móvel na planta, os sintomas de carência ocorrem em folhas mais jovens e nas pontas das folhas e das raízes. Os sintomas associados à carência de Ca incluem o atrofiamento dos tecidos novos nos caules, flores e raízes e folhas enroladas ou côncavas com manchas pretas e margens das folhas amareladas. O Ca é absorvido pelas plantas na forma de iões de Ca^{2+}.

6.4.2 Micronutrientes

Um micronutriente é um nutriente que constitui menos de 0,1% de matéria seca da planta. A deficiências no solo em micronutrientes podem resultar em baixa capacidade de resposta à adição de macronutrientes N, P e K. As deficiências ocorrem quando os solos são inerentemente pobres em micronutrientes ou solos degradados. As deficiências de micronutrientes estão muitas vezes relacionadas com o pH do solo.

Ferro (Fe)

O Fe é importante para a síntese da clorofila. As plantas com carência em Fe podem apresentar folhas pálidas e clorose inter-venal (amarelecimento) de todas as folhas. O Fe é absorvido pelas plantas como iões de Fe^{2+} e Fe^{3+}.

Manganês (Mn)

Mn é essencial para alguma actividade enzimática. Quando em deficiência no solo, os sintomas são semelhantes à carência de Fe, com folhas jovens pálidas e nervuras verdes. Por vezes observam-se manchas acastanhadas, pretas ou acinzentadas próximas às nervuras. O Mn é absorvido pelas plantas como iões de Mn^{2+} ou Mn^{3+}.

Boro (B)

O B é necessário para a síntese do ácido nucleico, a germinação do pólen e o crescimento do tubo polínico.
O B promove o desenvolvimento da raiz, a actividade enzimática e está associado à síntese de lignina, transporte dos açúcares, formação das paredes celulares e dos tecidos da semente, a absorção de cálcio e regulação do balanço hídrico. As plantas com carência em B apresentam folhas enroladas e frágeis, frutos, tubérculos e raízes descoloridos ou rachados. Os sintomas foliares encontram-se geralmente nas pontas da folha. O B é absorvido pelas plantas através do solo ou absorvido pelas folhas como iões $(BO_3)^{3-}$.

Zinco (Zn)

O Zn desempenha um papel na regulação do crescimento das plantas e na transformação dos hidratos de carbono e é necessário para síntese do ácido nucleico e a activação enzimática. As plantas com carência em Zn mostram clorose inter-venal na base das folhas jovens (em contraste com a carência de Fe, onde a clorose inter-venal ocorre ao longo de toda folha). O Zn é absorvido por plantas como iões de Zn^{2+}.

Cobre (Cu)

O Cobre (Cu) é uma parte essencial do sistema enzimático que utiliza hidratos de carbono e proteínas e é importante para a reprodução. As plantas com carência de Cobre (Cu) apresentam morte apical e as folhas mais velhas desenvolvem manchas acastanhadas. O cobre (Cu) é absorvido pelas plantas como iões Cu^{2+}.

Molibdénio (Mo)

O Mo é necessário para a síntese de proteínas e para a absorção de N, sendo tambem necessário às bactérias fixadoras de N_2 em leguminosas. As plantas com carência em Mo possuem folhas pálidas com margens enroladas e geralmente sementes mal formadas. As plantas com carência de Mo também podem apresentar sintomas semelhantes aos da carência de N. Mo é absorvido pelas plantas como iões de MoO_4^{2-}.

Cloro (Cl)

O Cl está envolvido no movimento de água e solutos nas plantas e é importante para a absorção de nutrientes. Também desempenha um papel na fotossíntese. Quando o Cl está em deficiência no solo, a planta apresenta murchidão das folhas jovens, raízes gorduchas ou atarracadas e amarelecimento das folhas. Deficiências no solo raramente ocorrem porque Cl é encontrado na atmosfera e na água da chuva. Cl é absorvido pelas plantas como iões de Cl^-.

Cobalto (Co)

O Co é necessário para as bactérias fixadoras de N_2 e quando em deficiência extrema no solo pode fazer com que as leguminosas apresentem sintomas semelhantes à carência de N. Co é absorvido pelas plantas como iões de Co^{2+}.

Níquel (Ni)

O Ni é necessária à urease, enzima que decompõem a ureia em formas de N que podem ser absorvidas pelas plantas, e para a absorção de Fe. Ni é absorvido pelas plantas como iões de Ni^{2+}.

Sódio (Na)

O Na é importante para a regulação da circulação de água e para o equilíbrio de minerais nas plantas. Na é absorvido pelas plantas como iões de Na^+.

Silício (Si)

O Si é um componente importante das paredes celulares e ajuda a proteger as plantas da perfuração causada por insectos sugadores. O Si melhora a aparência da folha, melhora a tolerância ao calor, à seca e reduz a transpiração. Os sintomas de carência incluem tendência para murchar, floração e frutificação insatisfatória e aumento da susceptibilidade ao ataque de doenças e insectos. O Si é absorvido pelas plantas na forma $(SiO_4)^{4-}$.

6.5 Definição de fertilidade do solo

Podemos definir fertilidade do solo como:

A capacidade do solo de fornecer quantidades suficientes e proporcionadas de elementos químicos essenciais (nutrientes) e água necessários para o crescimento óptimo de plantas específicas, conforme o determinado pelos atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

Para alcançar os objectivos de produção dos agricultores, mais nutrientes são geralmente necessários do que os que podem ser fornecidos pelo solo. Por exemplo, um solo considerado 'fértil', no seu estado natural pode ser capaz de sustentar um rendimento de produção de milho, de pouco mais de 2 t/ha (toneladas/hectare). Será portanto necessário, que o agricultor aumente a fertilidade do campo adicionando nutrientes na forma de resíduos de culturas, fertilizante ou ambos para alcançar um rendimento de 5t/ha. Isto demonstra que a fertilidade do solo é um termo relativo e não absoluto. É importante considerar se um determinado solo terá capacidade de resposta ao uso de fertilizantes, conseguindo melhorar a sua fertilidade e aumentar a produtividade. É esta capacidade de resposta ao maneio que frequentemente constitui um critério principal usado pelos agricultores para um solo 'fértil'. Os agricultores só se tornam conscientes do potencial para melhorar a fertilidade dos seus solos quando o efeito do uso combinado de germoplasma melhorado com um melhor maneio de resíduos das culturas e a adição de fertilizantes minerais tiver sido demonstrado nos seus próprios campos.

Para fins de produção de culturas, a fertilidade do solo, deve, portanto, ser vista no contexto mais amplo da produtividade do solo, tendo em conta em que medida as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo regulam o fornecimento de nutrientes e o abastecimento de água e proporcionam outras condições ambientais necessárias para o desenvolvimento da planta.

A maioria das explorações agrícolas na Africa Subsariana contém uma mistura de solos férteis, inférteis e degradados. A variabilidade da fertilidade do solo dentro de uma exploração agrícola específica não foi no passado tida suficientemente em conta, sendo um aspecto fundamental a consider no contexto de MIFS.

6.6 Avaliação da fertilidade do solo

Pesquisadores, extensionistas rurais e agricultores usam métodos diferentes para avaliar a fertilidade do solo. Os pesquisadores e extensionistas usam análises de solo realizados em amostras colhidas de um determinado campo ou parte de um campo para fazer a estimativa da fertilidade do solo (secção 7.2). As análises de solo são comunicadas em unidades padrão (tabela 7.8) e podem ser interpretadas em relação a valores críticos (tabela 7.9). A amostragem e análises do solo é apenas útil onde:

- as amostras de solo foram recolhidas após ter sido considerada a variabilidade da fertilidade do solo entre as diferentes parcelas da exploração agrícola, tornada evidente pela inspecção de campo.
- um laboratório fiável for usado para analisar as amostras.
- verificação cruzada e amostras padrão forem usadas para verificar a validade das análises.
- os agricultores, geralmente, usam vários indicadores para avaliar o potencial da produtividade de um solo, incluindo
- a vegetação dominante como um indicador indirecto da fertilidade do solo
- a presença de uma fauna do solo específica;
- a cor como um indicador do teor de matéria orgânica;
- a capacidade de fornecimento de nutrientes do solo (ou seja, fertilidade) baseada na aparência das culturas desde a plantação até à maturidade;
- rendimento das culturas, com base em colheitas anteriores durante várias épocas;
- a capacidade do solo de fornecer água às culturas com base na aparência das culturas durante períodos de seca; e
- a estrutura do solo e facilidade de o trabalhar, baseada na facilidade ou dificuldade envolvida na a preparação da solo.

6.7 Conclusões

O solo inclui componentes minerais e orgânicos combinados pela actividade biológica da micro e macro flora e fauna do solo de forma a criar o meio para o crescimento das culturas. Alguns atributos, como a textura do solo, são mais ou menos fixos, enquanto outros atributos como a capacidade do solo de armazenar e fornecer nutrientes são fortemente influenciados pelas práticas de maneio do agricultor. Todas as culturas necessitam de um fornecimento adequado de nutrientes minerais, quer sejam fornecidos pela reserva de nutrientes do solo ou através de suplementos fornecidos na forma de fertilizantes orgânicos e minerais.

A forma como o MIFS pode contribuir para o desenvolvimento agrícola e melhoria económica é o tema das secções anteriores deste manual.

6.8 Bibliografia

Lista de referências bibliográficas relevantes de leitura recomendada. Cada citação é seguida de comentários e explicações sobre a obra em *itálico*. Se a fonte estiver disponível online, é proporcionada uma hiperligação.

Uma variedade de textos básicos em ciência do solo que poderão ser usados para leitura de apoio estão disponíveis.

Gregory, P.J. and Nortcliff, S. (eds) (2012) *Soil Conditions and Plant Growth*. Wiley/Blackwell, Oxford.

Um documento de referência excelente.

Marschner, H. (1995) *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, London.

Mengel, K. and Kirkby, E.A. (2001) *Principles of Plant Nutrition*. Springer, Dordrecht.

Dois textos de referência em nutrição vegetal.

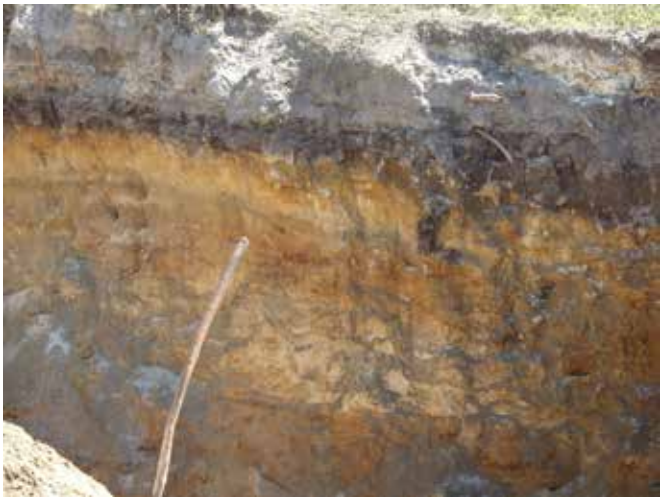


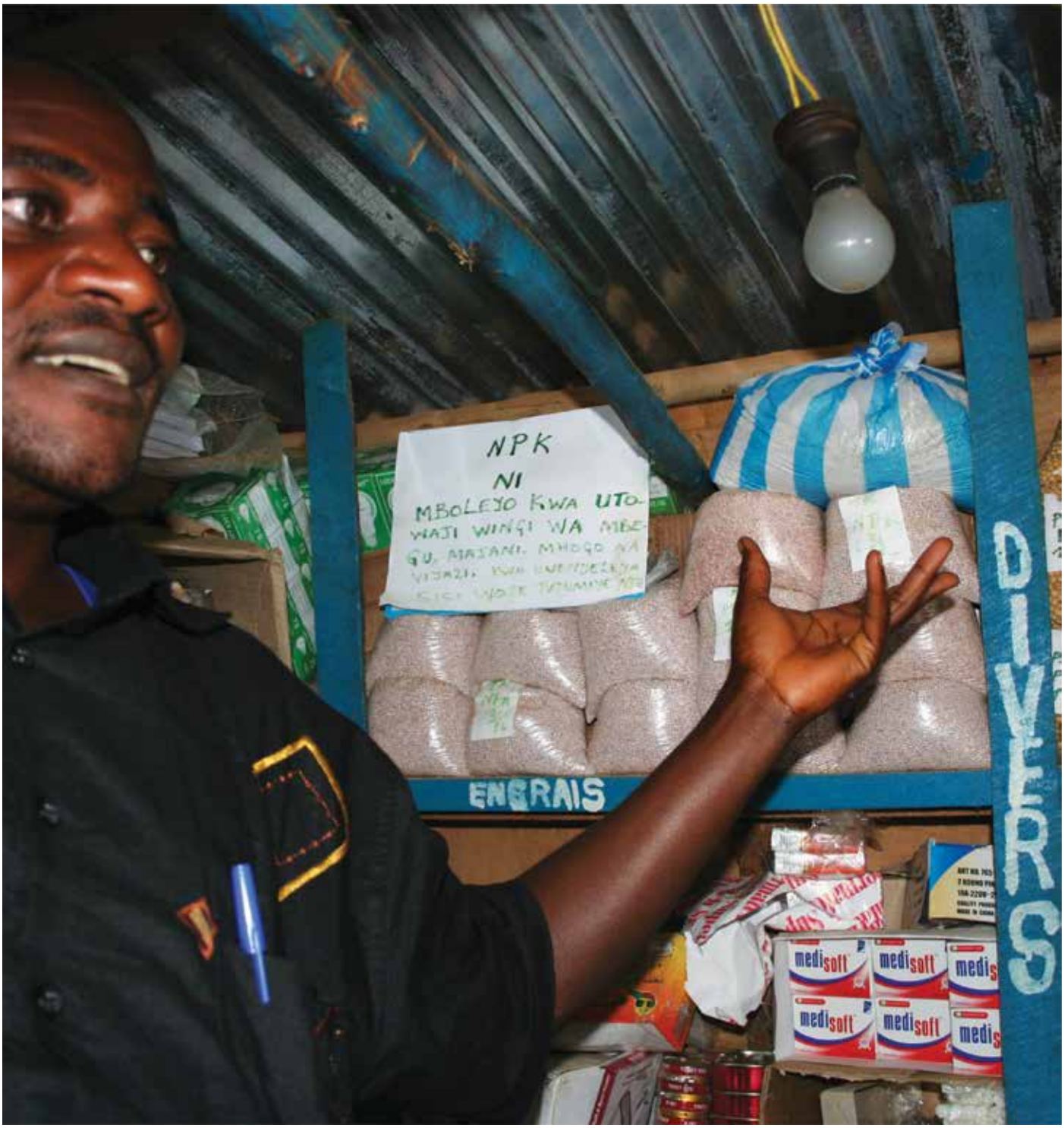
Foto 6.1 O ideal seria a realização de escavações de perfis que permitiriam um exame minucioso do perfil do solo. O perfil do solo é também visível nas faces laterais dos canais de drenagem e cortes de estradas.

Foto 6.2 Amostras do solo devem ser recolhidas com sonda de amostragem usando um padrão de amostragem adequado.

Foto 6.3 É caro determinar a textura do solo no laboratório. A textura também pode ser determinada usando o teste do 'tacto'.

Foto 6.4 A Sonda Edelman é destinada à recolha de quantidades iguais de amostras de solo a cada profundidade de amostragem.

7. Tabelas e informações de referência



Publicado por Africa Soil Health Consortium

7.1 Introdução

Na presente secção são fornecidas tabelas de referência sobre:

- amostragem do solo;
- análises de sistemas de produção;
- maneio da fertilidade do solo;
- nutrição de culturas;
- utilização de fertilizantes;
- economia da exploração agrícola, e
- informações gerais.

7.2 Amostragem de solos

O objectivo da amostragem de solos é disponibilizar material para a análise de solos. Uma amostra de solo representativa é um pré-requisito para uma análise de solos bem-sucedida. Uma camada de 20 cm de profundidade do solo pesa entre 2000 e 3000 t/ha. Uma amostra composta de cerca de 0,5 kg retirada a partir de um campo pode representar <1 ha ou ≥30 ha.

No laboratório, cerca de uma colher de chá de solo (poucas gramas) é retirada a partir de uma amostra de 0,5 Kg para utilização no processo analítico (Figura 7.1). Os solos são normalmente heterogéneos e ampla variabilidade pode ocorrer mesmo em campos que são aparentemente uniformes. A menos que o procedimento de amostragem de campo seja implementado correctamente, existe a possibilidade real dos dados de análise do solo não serem representativos do campo. O procedimento envolvido na recolha de uma amostra representativa pode ser resumido da seguinte forma:

- Verificação de características distintivas na área de amostragem (por exemplo, declive, tipos de solos, vegetação, drenagem).
- Elaboração de um mapa-esboço com a identificação e marcação da localização dos pontos de amostragem.
- Evitar fazer amostras compostas a partir de diferentes tipos de solo ou parcelas com diferentes usos da terra e evitar a colheita de solo em locais peculiares (por exemplo, amontoados de cinzas e esterco animal, locais de debulha, locais sempre húmidos).
- Retirar uma amostra composta (25–30 sub-amostras individuais principais) de uma área circular, de cerca de 10–20 m de diâmetro antes de se mudar para outra área de amostragem.
- Cada sub-amostra deve ser retirada à mesma profundidade total (isto é, 0–20 cm e 20–40 cm).
- Cada amostra composta deve ser claramente identificada e anotada no mapa-esboço ou etiquetada com a localização da área amostrada (utilizar um dispositivo GPS para acelerar esse processo e melhorar a precisão).
- O conteúdo de cada amostra composta deve ser muito bem misturado podendo em seguida reduzir-se o peso da amostra subdividindo-a (por exemplo repartindo-a em quatro partes e utilizando uma delas para envio para análise).
- Evitar qualquer contaminação das amostras compostas por outros solos, ferramentas de amostragem, sacos de recolha, fertilizantes, etc.
- Um campo deve ser analisado uma vez a cada três anos e as amostras devem ser retiradas pouco antes da sementeira ou plantação, mas antes da aplicação de fertilizantes. Em sistemas de culturas perenes as amostras devem ser retiradas na mesma época do ano.

Os principais objectivos da análise do solo são os seguintes:

- ajudar a identificar as razões para o fraco desempenho da cultura (ferramenta de diagnóstico);
- fornecer um índice de disponibilidade ou de fornecimento de nutrientes de um solo;
- prever a capacidade de resposta do solo a adição de correctivos (por exemplo o calcário) e fertilizantes;
- proporcionar uma base para as recomendações de taxas de aplicação de nutrientes;
- auxiliar na elaboração de orçamentos associados à nutrição da cultura por campo e por exploração agrícola; e
- avaliar o estado de fertilidade de uma extensão de solo-paisagem.

Uma análise do solo requer um método químico para a estimar o potencial de fornecimento de nutrientes de um solo. Embora a análise directa da planta seja extremamente valiosa para o diagnóstico de carências de nutrientes na planta, a análise do solo é essencial para determinar quais os nutrientes em deficiência no solo para uma determinada cultura.

Em comparação com a análise da planta, a principal vantagem da análise de solo é a sua capacidade para determinar o nível de nutrientes no solo antes da cultura ser plantada. No entanto, as análises de solo não são capazes de prever a quantidade de um dado nutriente que irá ser efectivamente absorvido por uma cultura. Para se quantificar as necessidades de adição de nutrientes de uma dada cultura, os resultados da análise de solo devem ser comparados com a quantidade de nutrientes absorvidos e rendimento da cultura em ensaios de campo.

Equipamento de campo necessário à avaliação da fertilidade do solo:

- Medidor de pH portátil (por exemplo os medidores de pH Pehameter® e FieldScout SoloStik® e o medidor de pH e humidade do solo Kelway®);
- Sonda de solo Edelman;
- Chave de classificação da textura do solo (por exemplo o Fluxograma de campo para a determinação da textura de Solos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA))
- Sacos de amostras e etiquetas.

Fonte: Dierolf, T.S., Fairhurst, T.H. e Mutert, E.W. (2001) *Kit de Fertilidade do Solo: Um Kit de Ferramentas para o Maneio da Fertilidade de Solos Ácidos, Montanhosos no Sudeste Asiático.* Potash & Phosphate Institute (PPI), ProRLK, GTZ GmbH, Singapura.

7.3 Determinação da densidade aparente do solo

A densidade é o peso de um dado volume de solo. É utilizada para medir a compactação e para corrigir as medições da matéria orgânica do solo tendo em conta o valor de densidade do solo. Em geral, quanto maior a densidade menor o espaço de poros disponível para o movimento da água, para o crescimento e penetração de raízes e para a germinação de sementes e crescimento das plântulas.

As medições de densidade devem ser realizadas à superfície do solo e/ou numa zona compactada (calo de lavoura) caso exista. Várias amostras devem ser retiradas para obter uma medição da densidade representativa da área.

Um anel de perfuração cilíndrico de metal ou de plástico de volume conhecido é inserido no solo à profundidade desejada. A parte central intacta da amostra é removida, seca na estufa a 105° C e pesada.

$$\text{Densidade do Solo } (Kg^3/m^3) = \frac{\text{Peso do Solo Seco na estufa}}{\text{Volume do Solo}}$$

7.4 Determinação da textura do solo no campo

A parte mineral do solo é dividida em três fracções, dependendo do tamanho da partículas:

- **Areia** tem um tamanho de partículas que varia entre 50 a 2000 μm (0.05–2.0 mm) de diâmetro. A areia confere um carácter abrasivo ao solo, devido à forma e dimensão das suas partículas individuais.
- **Limo** tem um tamanho de partículas que varia entre 2 a 50 μm (0.002–0.05 mm) de diâmetro. Quando humidecido, o limo dá a sensação de ser farinha, e não forma cordelinhos quando pressionado entre o polegar e o indicador devido à forma das suas partículas individuais. Quando colocado entre os dentes, o limo dá a sensação de ser areia.
- **Argila** tem um tamanho de partículas menor que 2 μm (<0.002 milímetros) de diâmetro. As partículas de argila apresentam propriedades coloidais, têm uma carga negativa e têm uma forma achatada. A argila húmida é pegajosa e forma facilmente cordelinhos quando pressionada entre o polegar e o indicador. Quando colocada entre os dentes, a argila dá a sensação de ser um material suave e escorregadio.

A textura do solo é estimada a partir da sensação ao tacto de um solo húmido (mas não molhado ou seco), utilizando uma chave dicotómica que distingue entre as principais classes de textura (Figura 7.1). Retire uma pequena quantidade de solo fresco. Adicione água aos poucos e amasse o solo até que os terrões sejam destruídos. Utilize a chave para identificar a classe de textura adequada (Figura 7.1).

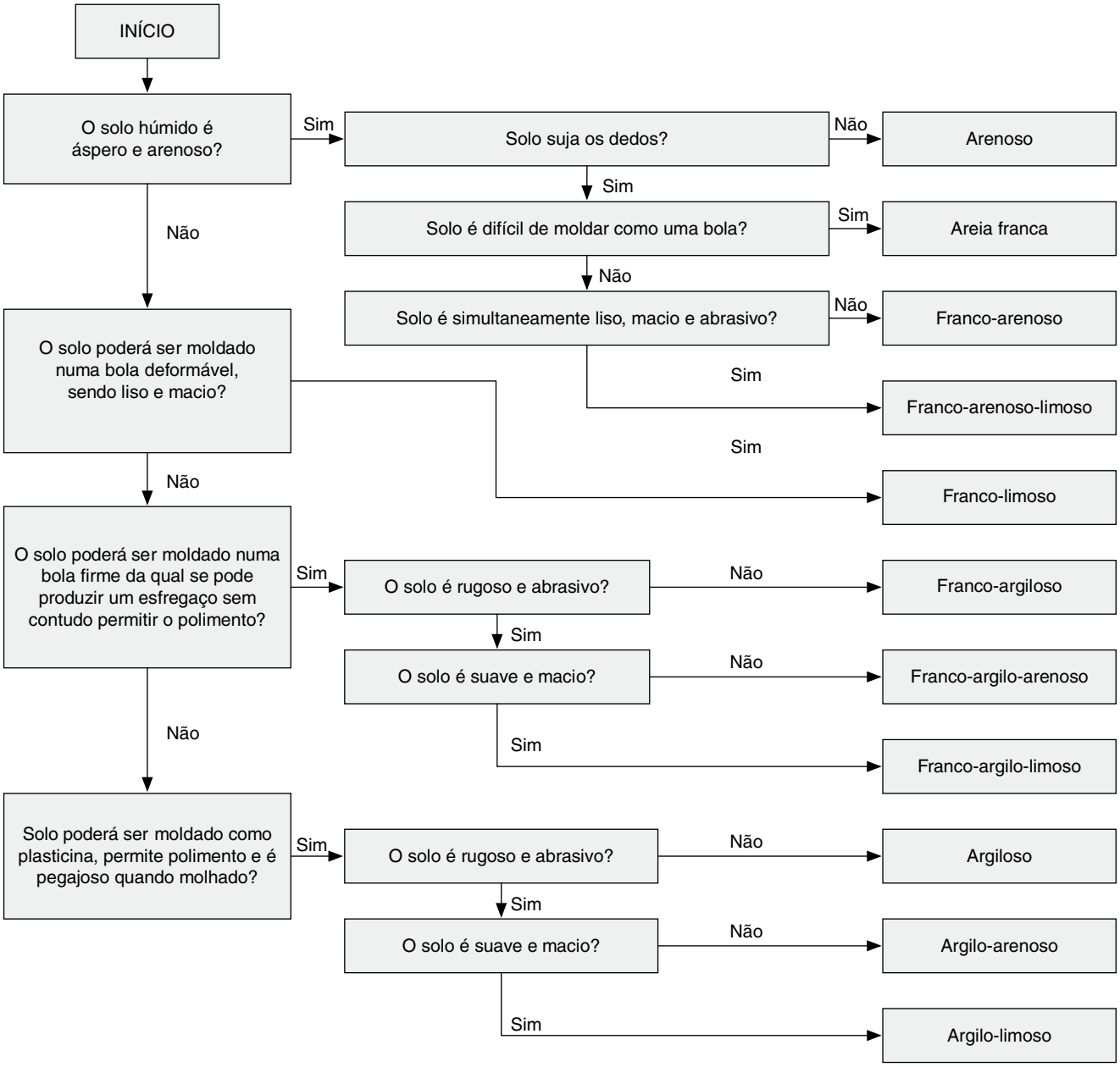


Figura 7.1 Chave dicotómica para distinguir entre as principais classes de textura de solo com base no “teste do tacto”.

7.5 Análise de sistemas de produção

Tabela 7.1 A melhoria através do MIFS é um processo que envolve três passos fundamentais.

Actividade	Finalidade
Diagnosticar os principais problemas de fertilidade do solo e identificar como o maneio da fertilidade do solo pode ser melhorado	
Análise do agregado familiar e do género: tarefas e controlo.	Determinar quem faz o quê, de forma a que os membros da família mais apropriados estejam envolvidos.
Mapa de fluxo de nutrientes na exploração agrícola.	Desenvolver um conhecimento geral sobre o sistema de produção e seus fluxos de nutrientes.
Maneio da fertilidade do solo pelo agregado familiar	Aprender mais sobre os conhecimentos e práticas do agricultor.
Histórico de cultivo/fertilidade.	Determinar os possíveis efeitos das práticas de maneio no passado na fertilidade do solo.
Sintomas de carência de nutrientes nas plantas.	Identificar os problemas críticos da fertilidade do solo que poderão ser corrigidos.
Avaliação das práticas de fertilidade do solo.	Saber mais sobre práticas actuais que poderão ser melhoradas.
Diagnóstico.	Determinar possíveis problemas de fertilidade e aspectos de maneio que poderão ser melhorados.
Fazer recomendações para melhorar as práticas actuais	
Debater as questões e fazer recomendações.	Recomendar maneiras para superar os problemas da nutrição vegetal e melhorar as práticas actuais.
Seleccionar recomendações.	Seleccionar as recomendações em colaboração com o agregado familiar.
Testar, avaliar e acompanhar as recomendações	
Testar a recomendação na exploração agrícola.	Escolher e testar tratamentos em colaboração com o agregado familiar nas condições da exploração agrícola.
Monitorar e avaliar o ensaio com o agricultor.	Avaliar os resultados do ensaio em colaboração com o agregado familiar.
Amostragem do rendimento.	Medir e comparar o rendimento nos diferentes tratamentos.
Orçamento parcial.	Calcular os custos e benefícios dos diferentes tratamentos. Ajudar o agregado familiar a adoptar/ajustar os resultados e partilhá-los com outros agricultores.
Seguimento do ensaio de campo com o agricultor.	Avaliar se as práticas recomendadas foram apropriadas
Divulgação dos resultados dos ensaios de campo.	Discutir um plano de acção de acompanhamento com outros agricultores na aldeia.

Tabela 7.2 Utilize esta lista de forma a garantir que se dirige à pessoa mais adequada quando fizer as perguntas sobre a gestão da exploração e/ou decidir sobre as recomendações para o ensaio.

Actividade	Quem faz a tarefa?				Quem toma as decisões?			
	M	E	F	O	M	E	F	O
Fertilizante								
• Aquisição de Fertilizantes								
• Determinação das doses de aplicação								
• Aplicação de fertilizantes na sementeira ou plantação								
• Aplicação de fertilizantes durante o cultivo								
Pecuária								
• Vigia do gado de pastagem								
• Corte/Carregamento de forragem do campo								
• Alimentação de gado de estábulo								
• Manipulação de estrume animal no estábulo								
• Carregamento do estrume para o campo								
• Aplicação do estrume à cultura								
Culturas								
Decisão sobre a escolha das culturas são								
Preparação do solo para a sementeira ou plantação (lavragem, sacha, etc)								
Maneio dos resíduos de cultura (por exemplo o empilhamento e a incorporação no campo)								
Maneio da palha de arroz (por exemplo a queima ou como alimentação para o gado)								

Mdo = Marido, M = Mulher, F = Filhos, O = Outros.

Tabela 7.3 Questões a colocar às famílias a fim de adquirir entendimento sobre os conhecimentos do agricultor e melhor compreender as práticas de maneio de fertilidade do solo que utiliza na sua exploração agrícola.

Questão	Como pode esta informação ser utilizada?
Qual é a situação da posse da terra dos seus campos?	Pode indicar o quanto o agricultor está disposto a investir no maneio da fertilidade do solo (menos provável para quem alugou a terra).
Quais são as propriedades de seu solo (as boas e as más)?	Identificar a percepção do agricultor quanto às características do solo (fertilidade, drenagem, facilidade em trabalhar a terra).
Como é a fertilidade do seu solo comparando com outras explorações da aldeia/região? Explique o porquê.	Identificar o nível geral de fertilidade.
Que culturas crescem melhor aqui sem a necessidade de fertilizantes adicionais?	Identificar o nível geral de fertilidade.
Que culturas crescem bem apenas em algumas áreas do campo? Porquê?	Identificar as áreas más e boas do campo.
Ao longo dos últimos 10 anos, a fertilidade do solo aumentou, diminuiu ou permaneceu na mesma? Como sabe disso?	Identificar se as actuais práticas mantêm a fertilidade.
Faz alguma coisa para evitar a erosão do solo e o escoamento superficial da água?	Identificar se se trata de um problema e se pode ser melhorado.
O que faz para melhorar a fertilidade do solo? Porquê?	Compare com os princípios descritos no presente manual.
Que práticas acha que mais diminuem a fertilidade do solo? Porquê?	Compare com os princípios descritos no presente manual.

Tabela 7.4 Identificar possíveis melhorias para práticas de maneio da fertilidade do solo dos agricultores.

Prática	Sim/Não
Tempo da fertilização	
O fertilizante é aplicado no momento correcto?	
O fertilizante é aplicado quando há suficiente humidade no solo?	
Método de aplicação de fertilizantes	
O fertilizante é incorporado no solo?	
O fertilizante é colocado perto da zona radicular da cultura?	
O fertilizante pode prejudicar a semente e/ou as mudas?	
As misturas a granel são produzidas com fertilizantes simples compatíveis?	
Fertilização equilibrada	
É aplicado o nutriente mais em falta?	
Maneio do material orgânico	
Os resíduos das culturas são devolvidos ao solo?	
Os resíduos/cinzas são espalhados uniformemente sobre o campo?	
Se os animais forem alimentados da vegetação de um dado campo, o estrume é devolvido ao mesmo campo?	

Continued

Tabela 7.4 Continued.

Prática	Sim/Não
O estrume animal é aplicado no campo?	
Estrume animal é armazenado correctamente?	
Dose de Aplicação de Fertilizantes	
São seguidas as doses de aplicação recomendadas?	
Outras Práticas	
Foram instaladas medidas de conservação do solo?	
A fertilidade do solo está a ser aumentada?	
Foram adoptadas práticas para manter a fertilidade do solo?	
Os animais são integrados nos campos agrícolas das terras altas?	
As árvores são integradas nos campos agrícolas das terras altas?	
As leguminosas são integradas nos campos agrícolas das terras altas?	

Tabela 7.5 Utilize esta tabela para resumir os resultados das suas pesquisas sobre a utilização de fertilizantes.

Questão	Resposta
Que nutriente mais necessita de melhorias nas práticas maneio?	
O momento de aplicação dos fertilizantes pode ser melhorado?	
O método de aplicação de fertilizantes pode ser melhorado?	
O equilíbrio entre nutrientes pode ser melhorado?	
O maneio do material orgânico pode ser melhorado?	
A dose de fertilizantes pode ser melhorada?	
Há qualquer outra prática que pode ser melhorada?	
1.	
2.	
3.	
4.	

Tabela 7.6 Exemplos de problemas com o maneio da fertilidade do solo que poderão ser detectados durante as discussões com os agricultores e recomendações de práticas melhoradas

Problema	Recomendações
O agricultor aplica fertilizantes no momento errado.	1. Melhoria do momento de aplicação de fertilizantes. • Aplicar fertilizantes P e K na sementeira ou plantação. • Aplicar fertilizantes de N em aplicações parceladas de acordo com a fase de crescimento da cultura.
O agricultor não incorpora o fertilizante.	2. Melhoria do método de aplicação de fertilizantes. • Incorporação de fertilizantes para reduzir as perdas por lixiviação e volatilização. • Aplicação de fertilizantes perto da zona radicular das culturas.
O agricultor aplica grandes quantidades de fertilizante N, mas fertilizantes P e K insuficientes.	3. Introdução de adubação equilibrada. • Aplicação de fertilizantes P e K de forma proporcional á aplicação de fertilizante N (aumento da quantidade total e custo dos fertilizantes). • Redução da quantidade de fertilizante N aplicado e aumento da quantidade de fertilizantes K e P aplicados (mantendo-se a quantidade total e o custo de fertilizantes). • Utilização de uma quantidade elevada de fertilizantes P numa aplicação única para repor o conteúdo de P no solo.

Tabela 7.6 Continued.

Problema	Recomendações
O agricultor queima o restolho dos cereais numa grande pilha a um canto do campo.	4. Melhoria do maneio do material orgânico. • Distribuição da palha antes da queima. • Distribuição das cinzas em todo o campo antes da lavoura. • Organização para queima em diferentes partes do campo em épocas sucessivas. • Não queimar a palha; incorpora-la durante a preparação do solo para a próxima safra.
Os resíduos são removidos do campo para alimentar o gado do agricultor.	5. Retorno do estrume animal para o campo.
As doses de fertilizantes estão abaixo do óptimo económico.	6. Optimização das doses de aplicação de fertilizantes. • Aumento da quantidade total de fertilizantes aplicados.

Tabela 7.7 Consumo anual e diário da matéria seca e produção de estrume por bovinos, caprinos e búfalos.

Espécies	Peso kg	Consumo de matéria seca		Estrume produzido	
		kg/ano	kg/dia	kg/ano	kg/dia
Bovinos (trabalho moderado)	350	11.000	30	2.700	7
Caprinos (actividade média)	40	1.200	3	440	1
Búfalo de Água (trabalho moderado)	400	13.000	36	3.300	9

7.6 Maneio da fertilidade dos solos

Tabela 7.8 Unidades e métodos utilizados para a análise básica do solo.

Parâmetros do Solo	Unidades	Método Utilizado
pH (água)	pH	1:1 (solo:H_2O)
pH (KCl)	pH	1:1 (solo:1 M KCl)
C Orgânico	%	Oxidação húmida (Walkley e Black)
N Total	%	Método de Kjeldahl
P Disponível	mg/kg	Método Bray II (azul do molibdato de), espectrofotómetro
	mg/kg	Método de Olsen
K Trocável	cmol/kg	1 M NH_4Cl, pH 7, fotómetro de chama
Na Trocável	cmol/kg	1 M NH_4Cl, pH 7, fotómetro de chama
Ca Trocável	cmol/kg	1 M NH_4Cl, pH 7, espectrofotómetro de absorção atómica
Mg Trocável	cmol/kg	1 M NH_4Cl, pH 7, espectrofotómetro de absorção atómica
Al Trocável	cmol/kg	1 M KCl método de titulação
H Trocável	cmol/kg	1 M KCl método de titulação
Capacidade de Troca Catiónica Efectiva ($CTC_{Efectiva}$)	cmol/kg	K+Na+Ca+Mg+Al+H Trocável
Saturação de Al	%	(Al Trocável /$CTC_{Efectiva}$) x 100
Areia	%	Método da pipeta
Limo	%	Método da pipeta
Argila	%	Método da pipeta

Tabela 7.9 Valores críticos de algumas propriedades físicas e químicas do solo das terras altas.

Propriedade	Unidade SI	Valor	Comentários
Areia	%	>50	As perdas por lixiviação são provavelmente grandes. É importante devolver os resíduos da cultura ao campo a fim de repor a matéria orgânica do solo, melhorar a retenção de nutrientes e aumentar a disponibilidade de humidade do solo.
Argila	%	>45	Prováveis problemas de drenagem. Grande Capacidade de Troca Catiónica se a argila for constituída por minerais 2:1. Facilidade em aumentar a matéria orgânica do solo.
Argila	%	<30	Fraco teor de nutrientes; fraca retenção de humidade do solo; difícil aumentar a MOS
pH (H_2O, 1:2.5 ou 1.5)	–	<4.5	Pode ser necessária a aplicação de calcário. Nenhuma vantagem na aplicação de calcário para pH> 5.5.
pH (KCl, 1:2.5 ou 1:5)	–	<4.2	Pode ser necessária a aplicação de calcário. Nenhuma vantagem na aplicação de calcário para pH> 5.5.
C Orgânico	%	<1.5	Fraca retenção de nutrientes, fraco fornecimento de N. Propriedades físicas pobres (por exemplo baixa retenção de humidade e dificuldade em trabalhar a terra).
N Total	%	<0.15	Fraco fornecimento de N.
P Total (HCl 25%)	mg/kg	<200	Provável deficiência P. Necessário adiçionar P (fertilizantes, estrume de animais, etc).
P (Bray II)	mg/kg	<15	Provável deficiência P. Necessário adicionar P (fertilizantes, estrume de animais, etc).
Capacidade de Troca Catiónica	cmol/kg	<10	Fraca retenção de catiões. MOS é uma fonte importante de troca catiónica.
K Trocável	cmol/kg	<0.2	Provável deficiência K. Necessário adicionar K (fertilizantes, estrume de animais, etc).
Mg Trocável	cmol/kg	<0.2	Provável deficiência Mg. Necessário adicionar Mg (fertilizantes, estrume de animais, etc).
Ca trocável	cmol/kg	<0.5	Provável deficiência Ca. Necessário adicionar Ca (fertilizantes, estrume de animais, etc).

Tabela 7.10 Principais efeitos do pH no solo.

Factor	Efeito
Toxicidade de Al	Toxicidade de Al diminui com o aumento do pH.
Disponibilidade de P	A disponibilidade de P é a maior entre pH 5.5 e 7.0.
Disponibilidade de micronutrientes (nutrientes que as plantas necessitam em pequenas quantidades)	Todos os micronutrientes, excepto Mo, estão mais disponíveis a partir de pH 5.5 a 6.0 (a toxicidade de Mn e Fe é minimizada nesta faixa).
Capacidade de Troca Catiónica (a capacidade dum solo reter catiões tais como Ca, Mg e K)	A Capacidade de Troca Catiónica aumenta com o aumento do pH nos solos altamente meteorizados. Isto significa que o solo com pH menos ácidos, capazes de reter mais Ca, Mg, K, que de outra forma se perderiam por lixiviação.
Mineralização do nitrogénio (libertação de N a partir de matéria orgânica em formas disponíveis para as plantas)	Organismos do solo necessários para a mineralização de N funcionam melhor a pH 5.5–6.5.
Fixação de N_2 (conversão de N_2 da atmosfera em formas que podem ser utilizados pelas plantas)	Os nódulos fixadores de N poderão não existir ou funcionar menos bem em solos com pH> 5,0.
Doenças	Algumas doenças podem ser controladas por meio da manipulação do pH do solo (por exemplo, a incidência da sarna da batata é reduzida pela diminuição do pH).
Dissolução da Rocha Fosfatada (RF)	O pH do solo deve ser <5,5 para a RF se dissolver e libertar o P para absorção pelas plantas.

Tabela 7.11 Efeito de algumas práticas de maneio na Matéria Orgânica do solo (MOS).

Prática	Efeito
Redução da erosão do solo	Redução das perdas de MOS
Redução da intensidade do cultivo	Taxa mais lenta de decomposição de MOS.
Qualidade dos resíduos orgânicos (relação C/N)	Os resíduos com uma elevada razão C/N (por exemplo a palha de arroz) são menos eficazes do que os que têm uma baixa razão C/N (por exemplo as folhas de amendoim) na manutenção de MOS. Grande parte do carbono dos resíduos de baixo teor de N é oxidado e libertado como CO2, e a quantidade de MOS criada é, por conseguinte, menor.
Resíduos de culturas devolvidos ao campo	Disponibilização de matéria-prima para o reabastecimento da MOS. Se os resíduos são necessários para alimentar o gado, o estrume dos animais deve ser devolvido ao solo.

Tabela 7.12 Factores importantes para o maneio de macronutrientes nas terras altas.

Nutrientes	Factores importantes para o maneio
Nitrogénio	• Redução das perdas por lixiviação. • Aumento da fixação biológica de N_2 (FBN). • Manutenção ou aumento da MOS. • Utilização de fertilizantes N de forma eficiente. • Devolução dos resíduos de culturas para o campo. • Não queimar os resíduos das culturas.
Fósforo	• Acréscimo de P ao solo na forma de fertilizantes. • Manutenção da MOS. • Aumento da eficiência da utilização de P pela aplicação de fertilizantes P, juntamente com resíduos orgânicos de rápida decomposição e adubos de origem animal.
Potássio	• Redução das perdas por lixiviação. • Devolução dos resíduos da cultura e de estrume do gado alimentado com forragem retirada do campo. • Acréscimo de fertilizantes de K ao solo.
Magnésio	• Devolução de resíduos da cultura e estrume do gado alimentado com forragem retirada do campo. • Acréscimo de fertilizantes Mg ou dolomita ao solo.
Cálcio	• Devolução dos resíduos da cultura e de estrume do gado alimentado com forragem retirada do campo. • Acréscimo de fertilizantes Ca ou calcário ao solo.
Enxofre	• Devolução de resíduos das culturas. • Manutenção da MOS. • Não queimar os resíduos das culturas.

Tabela 7.13 Fontes de nutrientes para a recuperação do solo

Fonte	Vantagem	Desvantagem
Fertilizantes minerais e calcário	Facilidade de transporte e aplicação. Efeito rápido.	Dispendioso. Podem não estar disponíveis localmente em áreas remotas.
Estrume animal, composto e resíduos das culturas obtidos a partir de fontes não-agrícolas.	Além de nutrientes, os adubos orgânicos fornecem material para reposição da MOS.	Podem não estar disponíveis localmente ou em quantidade suficiente. Podem tornar-se muito caros. Difícil de manusear e transportar.
Fixação Biológica de N_2 (FBN).	O N_2 atmosférico é fixado e incorporado no solo da exploração agrícola.	Fertilizantes P e K podem ser necessários para aumentar a FBN nos solos ácidos das terras altas.
Chuvas.	Nutrientes adicionados sem qualquer custo.	Quantidades insuficientes.
Nutrientes contidos no escoamento superficial de águas e solo erodido transportado para a exploração.	Nutrientes adicionados sem qualquer custo.	A exploração agrícola vizinha tornou-se erosionada, resultando na redução da estabilidade na comunidade agrícola.
Nutrientes absorvidos pelas culturas ou plantas de raízes profundas e depositados á superfície do solo sob a forma de folhas mortas e resíduos das culturas.	Os nutrientes podem ser adicionados sem custo.	Dificuldade em encontrar uma espécie vegetal que tenha interesse agrícola comerciável e tenha ao mesmo tempo, raízes tolerantes à toxicidade por Al. A quantidade de nutrientes no subsolo é muito pequena.

Tabela 7.14 Alguns mitos e factos sobre o maneio biológico da fertilidade solo

Mito	Facto
A vegetação de pousio acrescenta nutrientes ao solo.	Vegetação de pousio devolve ao solo nutrientes que podem ter sido absorvidos abaixo da zona radicular da cultura.
Os nutrientes são adicionados ao solo por meio de podas às arvores das culturas em faixas em consociação e de podas de manutençao das sebes vivas (barreiras vegetativas).	Quando devidamente noduladas, as espécies de leguminosas de pousio fixadoras de N_2 adicionam N ao solo através da decomposição das raízes e dos resíduos da parte aérea. Outros nutrientes (P, K, Mg) são reciclados, não acrescentados.
As leguminosas cultivadas em sistemas de consociação fornecem N para a cultura acompanhante.	Ao fixar parte das suas necessidades de N, as leguminosas deixam disponível o N do solo para a absorção pelas plantas não-fixadoras de N_2.
A matéria orgânica do solo (MOS) é aumentada com a incorporação de resíduos das culturas ao solo.	O carbono devolvido ao solo nos resíduos das culturas pode não ser suficiente para substituir a diminuição de MOS em solos agrícolas devido à decomposição. O retorno de resíduos das culturas ao solo pode reduzir a taxa de diminuição da MOS de solos sob cultivo.

Tabela 7.15 Métodos para ultrapassar os factores de fertilidade do solo que inibem a fixação de N_2

Factor de inibição da fixação de N_2	Recomendação
Situação de elevado N no solo	Não aplicar N inicial ou aplicar apenas pequenas quantidades (< 10 kg/ha de fertilizante N) a culturas de leguminosas à sementeira ou plantação.
Situação de baixo P no solo	Aplicação do fertilizante P na zona radicular da cultura
Solo de baixo pH (<5.0–5.5), excepto para o feijão	Aplicação de calcário na zona radicular da cultura.
Situação de baixo Mo no solo (nódulos grandes e verdes no interior, mas inactivos)	Aplicação de fertilizantes que contêm Mo

Tabela 7.16 Géneros de leguminosas e *Rhizobium* compatíveis.

Gênero *Rhizobium*	Tipo de Planta	Géneros de vegetal inoculados
Bradyrhizobium (*Rhizobium* de "crescimento lento")	Plantas de cobertura do solo	*Calopogonium, Centrosema, Desmodium, Pueraria, Stylosanthes*
	Leguminosas de grão	*Arachis, Cajanus, Glycine, Phaseolus, Vigna*
	Árvores fixadoras de N	*Acácia, Prosopsis*
Rhizobium (*Rhizobium* de "crescimento rápido")	Leguminosas de grão	*Cajanus, Phaseolus*
	Árvores fixadoras de N_2	*Calliandra, Gliricidia, Leucaena, Prosopsis, Sesbania*

Tabela 7.17 Princípios e métodos para redução da erosão do solo

Princípios	Métodos
Redução do desprendimento de partículas de solo	
Protecção do solo do impacto directo das gotas de chuva	Utilize o mulch (cobertura vegetal viva ou morta), aplique resíduos de culturas, folhas de árvores cortadas.
Reduzir a força das gotas de chuva	As folhas ajudam a reduzir o impacto da força das gotas de chuva na superfície do solo. Por esta razão, a manutenção de uma cobertura vegetal contínua sobre o solo pode ajudar a reduzir a erosão.
Redução do transporte de solo	
Redução da velocidade da água[a]	Encurtar o comprimento da encosta. Quanto maior o declive mais depressa a água se pode mover. Num exemplo estudado, a duplicação do comprimento de um declive em 9% aumentou a perda de solo para o dobro.
	Use barreiras físicas, tais como faixas de capim, resíduos de culturas, cepos de árvores, troncos de arvores/plantas, amontoamento de terra e sulcos perpendiculares ao declive (lavragem).
	Reduza a inclinação da encosta construindo terraços naturais suportados por paredes de pedra, barreiras de vegetação e barragens de pedra nas margens dos terraços e seguindo a linha dos contornos.

Continued

Tabela 7.17 Continued.

Princípios	Métodos
Aumentar a infiltração da água	Misture resíduos de culturas com o solo. Aplique o estrume animal para melhorar a estrutura do solo. Isto pode aumentar a quantidade de infiltração de água e reduzir a quantidade de água que escorre encosta abaixo.
	Torne a superfície do solo irregular através de uma lavoura leve. Aplique resíduos das culturas.

[a]Ao reduzir para metade a velocidade da água que escorre pela encosta abaixo:
- o tamanho máximo de partículas que carrega é reduzido 64 vezes;
- o poder erosivo da água é reduzido quatro vezes; e
- a quantidade de material que se pode mover na água é reduzido em 32 vezes.

Tabela 7.18 Teor de nutrientes (%) em adubos e resíduos orgânicos normalmente disponíveis na ASS.

Material	Água	C	N	P	K	Ca
Fezes humanas	–	–	1.0	0.2	0.3	–
Fezes de gado bovino	–	–	0.3	0.1	0.1	–
Fezes de porcos	–	–	0.5	0.2	0.4	–
Estrume fresco de bovino	60	8–10	0.4–0.6	0.1–0.2	0.4–0.6	0.2–0.4
Estrume curtido de bovino	35	30–35	1.5	1.2	2.1	2
Estrume	50	–	1.0	0.8	1.2	0.8
Estrume de cabra	50	–	0.8	0.7	1.5	0.8
Estrume de ovelha	50	–	1.0	0.7	1.5	1.7
Estrume de porco	80	5–10	0.7–1.0	0.2–0.3	0.5–0.7	1.2
Estrume de galinha	55	15	1.4–1.6	0.25–0.8	0.7–0.8	2.3
Composto de resíduos domésticos	40	16	0.6	0.2	2.3	1.1
Lodo de esgoto	50	17	1.6	0.8	0.2	1.6
Bagaço de cana	75–80	8	0.3	0.2	0.06	0.5
Bagaço de semente de rícino	10	45	4.5	0.7	1.1	1.8

7.7 Nutrição de culturas

Tabela 7.19 Símbolos e pesos atómicos dos elementos envolvidos na nutrição de plantas.

Nome	Símbolo	Peso Atómico	Nome	Símbolo	Peso Atómico
Alumínio	Al	26.79	Manganês	Mn	54.93
Boro	B	10.82	Molibdénio	Mo	95.95
Cálcio	Ca	40.08	Nitrogénio	N	14.01
Cloro	Cl	35.46	Níquel	Ni	58.69
Cobalto	Co	58.94	Oxigénio	O	16.00
Cobre	Cu	63.57	Fósforo	P	30.89
Flúor	F	19.00	Potássio	K	39.10
Hidrogénio	H	1.01	Sódio	Na	23.00
Iodo	I	126.92	Enxofre	S	32.06
Ferro	Fe	55.85	Zinco	Zn	65.38
Magnésio	Mg	54.93	Silício	Si	28.06
Carbono	C	12.01	Selénio	Se	78.96

Tabela 7.20 Funções dos nutrientes essenciais das plantas (excluindo o C, H e O) e sua mobilidade relativa na planta e solo.

Nutrientes essenciais	Funções importantes na planta	Matéria seca (%)	Mobilidade[a]	
			Planta	Solo
Macronutrientes				
Nitrogénio (N)	Formação de proteínas, fotossíntese.	1.5	5	5
Fósforo (P)	Armazenamento/transporte de energia, crescimento de raízes, maturação da cultura, resistência da fibra, resistência a doenças.	0.2	5	1
Potássio (K)	Regulação da turgescência celular da planta, acumulação e transporte de produtos do metabolismo, resistência a doenças.	1.0	5	3–4
Magnésio (Mg)	Fotossíntese.	0.2	5	2
Enxofre (S)	Muitas funções. Em compostos do odor na cebola.	0.1	2	5
Cálcio (Ca)	Crescimento das celulas e das paredes celulares. Exigido pelo amendoim para o desenvolvimento do fruto.	0.5	1	2–3
Micronutrientes				
Cloro (Cl)	Fotossíntese, maturação precoce da cultura, controlo de doenças.	0.01	5	5
Ferro (Fe)	Fotossíntese e respiração.	0.01	2	2
Manganês (Mn)	Fotossíntese, funcionamento de enzimas.	0.005	–	2
Boro (B)	Desenvolvimento/crescimento de novas células.	0.002	1	3
Zinco (Zn)	Actividade enzimática.	0.002	2	2
Cobre (Cu)	Clorofila e formação de sementes, síntese de proteínas.	0.0005	2	2
Molibdénio (Mo)	Fixação de N_2 em leguminosas, redução de nitrato.	0.00001	2	2

[a]1 = Fraca Mobilidade, 5 = Muita Mobilidade. Comparar a mobilidade em cada coluna.

Tabela 7.21 Extracção de nutrientes em cereais, tubérculos, leguminosas alimentares e culturas forrageiras.

Cultura	Produto	Remoção (kg/t produto da cultura)					
		N	P	K	Mg	Ca	S
Cereais							
Milho híbrido	Grão	15.6	2.9	3.8	0.4	0.9	1.3
Milho local	Grão	16.0	2.8	4.0	0.4	0.8	1.2
Arroz melhorado	Grão	15.0	2.8	3.8	0.3	1.0	0.8
Arroz local	Grão	15.0	2.5	2.5	0.5	1.0	0.5
Sorgo	Grão	16.5	3.5	3.8	1.9	0.4	1.2–1.6
Mexoeira	Grão	26.6	3.5	4.4	1.3	0.1	1.2
Cultura de Raízes							
Mandioca	Raiz	1.7	0.5	2.5	0.4	0.2	0.2
Taro	Tubérculo	3.0	0.6	2.9	0.3	0.4	0.3
Batata	Tubérculo	2.7	0.3	3.6	0.3	0.3	0.3
Batata-doce	Tubérculo	3.8	0.5	5.3	0.4	0.5	0.3
Inhame	Tubérculo	1.5	0.4	2.5	0.2	0.1	0.1
Leguminosas Alimentares							
Feijão	Feijão	28.3	3.0	14.0	2.0	1.3	1.0
Feijão Frade	Grão	55.0	5.0	21.0	4.0	4.0	6.0
Amendoim	Grão	32.0	3.2	4.8	1.6	1.6	1.2
Lentilha	Grão	55.0	4.0	17.0	4.0	3.0	2.0
Soja	Grão	50.0	4.0	15.3	2.7	2.7	2.0
Culturas forrageiras							
Capim	Matéria seca	30.0	3.7	26.7	7.2	5.0	4.2
Leguminosas	Matéria seca	37.5	4.4	33.3	13.4	5.3	5.0

Tabela 7.22 Deficiências de nutrientes comuns em solos ácidos, das terras altas e seus efeitos no crescimento das culturas.

Situação do Solo	Efeito no crescimento da cultura
Baixo teor de fósforo no solo	Muitas culturas, especialmente as leguminosas, não crescem bem em solos com baixo teor de P. Normalmente, o P deve ser adicionado sob a forma de um fertilizante mineral, tal como Superfosfato triplo ou rocha fosfatada. Quando os sistemas de cultivo têm por base a fixação biológica de N_2, a deficiência de P muitas vezes limita, de uma forma indirecta, o N disponível às plantas cultivadas.
Baixo teor de nitrogénio no solo	O fornecimento de N do solo depende da quantidade de matéria orgânica do solo (MOS). Quanto maior a quantidade de MOS, mais N o solo pode fornecer às plantas. O baixo teor de N no solo reduz o crescimento de todas as plantas não-leguminosas (por exemplo, cereais), e quase todas as culturas beneficiam das aplicações de N.
Baixo teor de potássio no solo	O potássio torna-se geralmente insuficiênte nos solos que tenham sido cultivados por várias épocas ou anos, sem a utilização de fertilizantes K, tais como KCl. Em muitas culturas, a maior parte do K absorvido pela planta está contido nos resíduos vegetais e, por conseguinte, a deficiência de K é mais provável que ocorra quando os resíduos da colheita são removidos do campo.
Baixo teor de cálcio no solo	Muitas culturas podem crescer em solos com baixo teor de Ca, mas algumas culturas (por exemplo, o amendoim) não formam vagens/cascos devidamente desenvolvidos em solos com baixo teor de Ca. O cálcio é normalmente aplicado em materiais de calagem tal como o calcário agrícola, a calcite ou a dolomite.
Estado de apenas baixo teor de magnésio	O magnésio geralmente só se torna um problema, em solos que foram cultivados por várias estações ou anos sem a adição de fertilizantes de Mg (por exemplo dolomite, langbeinite, kieserite). A deficiência de Mg no solo é mais comum quando os resíduos da colheita são removidos do campo.
Baixo teor de micronutrientes no solo (Zn, B, etc)	Os micronutrientes são nutrientes que as plantas necessitam em quantidades relativamente pequenas. A correcção das deficiências de micronutrientes no solo torna-se importante no caso dos campos intensamente cultivados durante vários anos sem a adição de micronutrientes.

Tabela 7.23 Algumas das condições nas quais os nutrientes podem limitar o crescimento das culturas nos solos ácidos, das terras altas.

Nutriente	Condições em que o nutriente se torna limitante
P	A maioria dos solos das terras altas que não receberam quantidades significativas de fertilizantes P.
N	Quando grandes quantidades de palha foram aplicadas em épocas anteriores; quando o teor da MOS é baixo; quando culturas não fixadoras de N e de elevada exigência de N (por exemplo, milho, arroz) são cultivados sem fertilizantes.
K	Quando um solo foi cultivado por várias épocas com pouca ou nenhuma adição de fertilizantes K (ocorre mais facilmente quando os resíduos de culturas não são devolvidos ao solo); quando fertilizantes que contêm Ca são aplicados.
Mg	Semelhante a K.
S	Quando os resíduos de culturas não são incorporados; quando não são aplicados minerais S contendo (por exemplo, sulfato de amónio, langbeinite, kieserite, dolomita).
Ca	A formação de sementes é muitas vezes deficiente no amendoim cultivado em solos ácidos.

Tabela 7.24 Identificação de problemas nutricionais. Quanto mais vezes responder "Sim" para um nutriente, maior a probabilidade do seu maneio necessitar de ser melhorado.

Critérios	Sim/Não
Deficiência de N	
Estão presentes sintomas de carência do nutriente N nas plantas?	
Será que o balanço de nutrientes indica remoção de N?	
São geralmente plantadas culturas não-leguminosas?	
O rendimento das culturas são inferiores aos rendimentos médios da região?	
A deficiência de P	
Estão presentes sintomas de carência do nutriente P nas plantas?	
Foram feitas grandes aplicações de P durante os últimos 5 anos?	
Será que o balanço de nutrientes indica que mais P é removido do que aplicado?	
Os rendimentos das culturas são inferiores aos rendimentos médios da região? O solo tem um pH 5,5?	
Deficiência de K e/ou Mg	
Estão presentes sintomas de carência dos nutrientes K e/ou Mg nas plantas?	
O resíduo da colheita é geralmente removido ou devolvido de uma forma não uniforme ao campo?	
O campo foi cultivado por muitos anos?	
Será que o balanço de nutrientes indica a remoção de K e/ou Mg?	
Os rendimentos das culturas têm vindo a diminuir?	
Existe uma relação entre a quantidade de Ca e Mg trocável no solo?	

Tabela 7.25 Características de carência de nutrientes na folha.

Nutriente	Local na planta	Clorose?	Necrose da margem da folha?	Cor e formato da folha
N	Todas as Folhas	Sim	Não	Amarelecimento de folhas e nervuras
P	Folhas Velhas	Não	Não	Manchas arroxeadas
K	Folhas Velhas	Sim	Sim	Manchas amarelas
Mg	Folhas Velhas	Sim	Não	Manchas amarelas
Ca	Folhas Novas	Sim	Não	Folhas deformadas
S	Folhas Novas	Sim	Não	Folhas amarelas
Mn, Fe	Folhas Novas	Sim	Não	Clorose inter-venal
B, Zn, Cu, Ca, Mo	Folhas Novas	–	–	Folhas deformadas

Tabela 7.26 A mobilidade dos nutrientes na planta e no solo pode ser utilizada para entender os mecanismos de carência de nutrientes nas plantas e o maneio de fertilizantes no solo

	Menos móvel	Mais móvel
Planta	Os sintomas de carência aparecem primeiro nas folhas mais jovens (S, Ca, Zn, Fe, Cu, B).	Os sintomas de carência aparecem primeiro nas folhas mais velhas (N, K, P, Mg).
	Quando a absorção de nutrientes é limitada, os nutrientes menos móveis não são movidos a partir de folhas mais velhas para apoiar um novo crescimento nas folhas mais jovens.	Quando a absorção de nutrientes é limitada, os nutrientes mais móveis são movidos a partir das folhas mais velhas para apoiar o crescimento nas folhas mais jovens
Solo	Os nutrientes menos móveis são mais propensos a permanecer perto de onde eles foram aplicados, excepto no caso em que as partículas do solo são misturadas fisicamente pelo preparo ou levadas pelo vento ou pela água (P).	Os nutrientes mais móveis são mais facilmente perdidos devido à lixiviação e volatilização (N, K, Mg, Ca). Devem ser tomados cuidados para reduzir as perdas desses nutrientes.

Tabela 7.27 Comparação da extracção de nutrientes em variedades locais e melhoradas.

Cultura	Colheita (t/ha)		Grão (kg/ha)			Palha (kg/ha)		
	Grão	Palha	N	P	K	N	P	K
Variedade de arroz melhorada	4	4	48	10	24	24	6	160
Variedade de arroz local	1	2	18	4	5	12	1	50
Diferença	3	2	30	6	19	12	5	110

Tabela 7.28 Existem três categorias principais de disponibilidade de nutrientes, porque nem todos os nutrientes no solo de um campo podem ser imediatamente utilizados pelas plantas

Disponibilidade	Quando se tornam disponíveis para as plantas	Exemplos
Imediatamente disponível	Imediatamente ou durante a actual época de cultivo.	Os nutrientes contidos nos fertilizantes solúveis (por exemplo, KCl), MOS facilmente mineralizada, nutrientes contidos á superfície das partículas do solo e na solução de solo.
Lentamente disponibilizado	Durante a actual época de cultivo anual ou nas épocas seguintes.	Nutrientes contidos na forma orgânica, tais como resíduos de plantas e estrumes (em particular quando a razão C/N é elevada), fertilizantes inorgânicos de lenta solubilidade (por exemplo a rocha fosfatada), e a fracção da MOS resistente à mineralização.
Não disponível para as plantas.	Provavelmente não disponíveis durante o tempo de vida do agricultor.	Os nutrientes contidos nas rochas, ou firmemente adsorvidos às partículas do solo.

Tabela 7.29 Concentração de micronutrientes em solo, intervalos de pH de máxima disponibilidade.

Micronutrientes	Símbolo	Conteúdo Total (mg/kg)	Intervalo óptimo de pH
Boro	B	10–630	5.0–7.0
Cobalto	Co	1–40	5.0–5.5
Cobre	Cu	1–960	5.0–6.5
Cloro	Cl	5–800	Não afectado pelo pH
Ferro	Fe	3.000–100.000	4.0–6.0
Manganês	Mn	30–5.000	5.0–6.5
Molibdénio	Mo	0.1–18	6.0–8.5
Zinco	Zn	2–1.600	5.0–6.5

Tabela 7.30 Factores que contribuem para a toxicidade de micronutrientes, sintomas de toxicidade e níveis de toxicidade nas plantas.

Micronutriente	Factor de Toxicidade	Sintomas de Toxicidade	Níveis de Toxicidade (mg/kg)
B	Grandes aplicações de resíduos urbanos compostados.	Clorose e necrose nas pontas e margens das folhas.	>200
Co	Certos solos (arenosos, altamente calcáricos, turfosos). Óxidos de Fe/Al/Mn. Calagem, drenagem.	Não se sabe (ainda não está claro se o Co tem uma função directa nas plantas).	>1000 (algumas >4000)
Cu	Contaminação de solos, devido à grandes aplicações de lodos e resíduos urbanos compostados.	Clorose e necrose das folhas mais velhas. Inibição do alongamento da raiz.	>20
Cl	Solos costeiros mal drenados e áreas salinizadas, tolerância das espécies à salinidade.	Queima superficial e inibição do crescimento da folha (especialmente em culturas sensíveis à salinidade).	>3500
Fe	Solos submersos, áreas alagadas.	Bronzeamento no arroz e coloração arroxeada das folhas noutras culturas.	>500
Mn	Solos submersos, áreas alagadas.	Manchas acastanhadas nas nervuras, necrose nas pontas e margens das folhas, enrugamento da folha.	>500
Mo	Calagem em adição à aplicação de Mo.	Descoloração de dourado a amarelo-laranja (por vezes vermelho).	>1000
Zn	Em estufas revestidas por vidro/rede.	Raramente ocorre.	>400

Tabela 7.31 Tolerância à saturação de Al de várias culturas.

Cultura	Nome em Latim	Baixa	Moderada	Alta
		0–40%	40–70%	>70%
Milho	*Zea mays*	X		
Lentilha	*Vigna radiata*	X		
Amendoim	*Arachis hypogaea*	X	X	
Feijão Frade	*Vigna unguiculata*		X	X
Soja	*Glycine max*	X		
Arroz	*Oryza sativa*		X	X
Mandioca	*Manihot esculenta*			X
Braquiária	*Brachiaria* spp.			X
Sectária	*Setaria* spp.		X	
Crotolária	*Crotolaria* spp.	X		
Mucuna	*Mucuna puriens*		X	X

7.8 Utilização de fertilizantes

Tabela 7.32 Factores de conversão de nutrientes.

A partir de	Multiplica-se por	Para obter/A partir de	Multiplica-se por	Para Obter
NO_3	0.226	N	4.426	NO_3
NH_3	0.823	N	1.216	NH_3
NH_4	0.777	N	1.288	NH_4
$CO(NH_2)_2$ -ureia	0.467	N	2.143	$CO(NH_2)_2$ -ureia
$(NH_4)_2SO_4$	0.212	N	4.716	$(NH_4)_2SO_4$
NH_4NO_3	0.350	N	2.857	NH_4NO_3
P_2O_5	0.436	P	2.292	P_2O_5
$Ca_3(PO_4)_2$	0.458	P_2O_5	2.185	$Ca_3(PO_4)_2$
K_2O	0.830	K	1.205	K_2O
KCl	0.632	K_2O	1.583	KCl
KCl	0.524	K	1.907	KCl
K_2SO_4	0.541	K_2O	1.850	K_2SO_4
K_2SO_4	0.449	K	2.229	K_2SO_4
$ZnSO_4.H_2O$	0.364	Zn	2.745	$ZnSO_4.H_2O$
$ZnSO_4.7H_2O$	0.227	Zn	4.398	$ZnSO_4.7H_2O$
SO_2	0.500	S	1.998	SO_2
SO_4	0.334	S	2.996	SO_4
$MgSO_4$	0.266	S	3.754	$MgSO_4$
$MgSO_4.H_2O$	0.232	S	4.316	$MgSO_4.H_2O$
$MgSO_4.7H_2O$	0.130	S	7.688	$MgSO_4.7H_2O$
$(NH_4)_2SO_4$	0.243	S	4.121	$(NH_4)_2SO_4$
SiO_2	0.468	Si	2.139	SiO_2
$CaSiO_3$	0.242	Si	4.135	$CaSiO_3$
$MgSiO_3$	0.280	Si	3.574	$MgSiO_3$
MgO	0.603	Mg	1.658	MgO
MgO	2.987	$MgSO_4$	0.355	MgO
MgO	3.434	$MgSO_4.H_2O$	0.291	MgO
MgO	6.116	$MgSO_4.7H_2O$	0.164	MgO
MgO	2.092	$MgCO_3$	0.478	MgO

Continued

Tabela 7.32 Continued.

A partir de	Multiplica-se por	Para obter/A partir de	Multiplica-se por	Para Obter
CaO	0.715	Ca	1.399	CaO
$CaCO_3$	0.560	CaO	1.785	$CaCO_3$
$CaCl_2$	0.358	Ca	2.794	$CaCl_2$
$CaSO_4$	0.294	Ca	3.397	$CaSO_4$
$Ca_3(PO_4)_2$	0.388	Ca	2.580	$Ca_3(PO_4)_2$
$FeSO_4$	0.368	Fe	2.720	$FeSO_4$
$MnSO_4$	0.364	Mn	2.748	$MnSO_4$
$MnCl_2$	0.437	Mn	2.090	$MnCl_2$
$MnCO_3$	0.478	Mn	2.092	$MnCO_3$
MnO_2	0.632	Mn	1.582	MnO_2
$CuSO_4.H_2O$	0.358	Cu	2.795	$CuSO_4.H_2O$
$CuSO_4.5H_2O$	0.255	Cu	3.939	$CuSO_4.5H_2O$
$Na_2B_4O_7.5H_2O$	0.138	B	7.246	$Na_2B_4O_7.5H_2O$
$Na_2B_4O_7.7H_2O$	0.123	B	8.130	$Na_2B_4O_7.7H_2O$

Tabela 7.33 Conteúdo de nutrientes (%) de fertilizantes comumente disponíveis na ASS.

Fertilizante	Abreviatura	N	P_2O_5	K_2O	MgO	CaO	S	Outro
Ureia	–	46						
Cloreto de amónio	AC	25						66 Cl
Nitrato de amónio	AN	34						
Nitrato de cálcio	CN	15				26		
Nitrato de amónio e cálcio	CAN	27			2	4		
Sulfato de amónio	AS	21					24	
Mono fosfato de amónio	MAP	11	48–55		0.5	2	1–3	
Fosfato de diamónio	DAP	18–21	46–53				1–1.5	
Rocha fosfatada	RF		25–41			25–50		
Fosfato de magnésio fundido	FMP		12–20		10–15	12–16		
Superfosfato simples	SSP		16–22			28	11–14	
Superfosfato duplo	SP36		32–36				5–6	
Superfosfato triplo	TSP		44–53		0.5	12–19	1–1.5	
Cloreto de potássio	KCl		60–62					47 Cl
Sulfato de potássio	SOP			50–53			17–18	
Nitrato de potássio,	KN	13		44	0.5	0.5	0.2	
Kieserite	Kies				27		22	
Langbeinite	SKMg			22	18		22	
Dolomita	GML				10–22	35–45		
Calcário agrícola (calcite)	–					47		
Gesso	–					22–30	13–16	
NPK 15–15–15	–	15	15	15				
NPK 16–16–8	–	16	16	8			1	
NPK 13–13–21	–	13	13	21				
NPK 12–12–17+2 (Mg) + (microelementos)	–	12	12	17	2			Micro
NPK 15–15–6+4 (Mg)	–	15	15	6	4			
NPK 5–18–10		5	18	10			8	
NPK 5–17–15		5	17	15				
NPK 8–14–7		8	14	7				

Tabela 7.34 Guia para mistura de adubos simples disponíveis na ASS.

	Sulfato de Cálcio	Dolomíte	Calcário	RF	NPK (à base de Uréia)	NPK (de base de nitrato amónio)	Sulfato de Potássio	Cloreto de Potássio	Superfosfato Simples	Superfosfato Triplo (TSP)	Superfosfato Simples	Nitrato de Amónio com Cálcio	Sulfato de Amónio	Nitrato de Amónio
Ureia						1		6		3	3	1		1
Nitrato de Amónio					1	7		7		4	4		2	
Sulfato de Amónio						7						2		
Nitrato de Amónio com Cálcio					1	7		7		5	5			
Superfosfato Simples	4	4	4		4	4			4					
Superfosfato Triplo (TSP)	4	4	4		4	4			4					
Fosfato de Diamónio														
Cloreto de Potássio						7								
Sulfato de Potássio														
NPK (à base de nitrato de amónio)					1									
NPK (à base de Ureia)														
RF														
Calcário														
Dolomíte														

Legenda

- Pode ser misturado e armazenado
- Pode ser misturado e armazenado por apenas 2–4 dias.
- Não pode ser misturado – Incompatível

Notas Explicativas

1 A mistura absorve humidade, torna-se uma lama molhada e é difícil de armazenar e aplicar.

2 A mistura pode tornar-se explosiva!

3 O TSP reage com a ureia e liberta água, resultando numa pasta molhada que se torna endurecida ao secar.

4 O TSP é produzido pelo tratamento de rocha fosfatada com ácido. Ácido em excesso pode reagir com outros componentes da mistura.

5 A mistura torna-se numa pasta molhada,tornando-se endurecida ao secar.

6 A mistura pode absorver água, e tornar-se endurecida e difícil de aplicar.

7 A mistura pode sofrer decomposição.

Tabela 7.35 Conteúdo em nutrientes de fontes secundárias de fertilizantes.

Nutriente	Material	Concentração
Enxofre	Sulfato de amónio	24% S
	Superfosfato simples	12% S
	Sulfato de potássio	18% S
	Sulfato de fosfato de amónio	15% S
	Gesso	13–18% S
	Pirita	22–24% S
	Enxofre mineral	84–100% S
	Sulfato de magnésio	13% S
	Todos os sais que contêm enxofre	13–19% S
Cálcio	Calcário	80–95% $CaCO_3$
	Dolomita	24–45% CaO
	Gesso	40% CaO
	SSP (superfosfato simples)	25–30% CaO
	RF (rocha fosfatada)	39–48% CaO
	Calcário	54% CaO
	Nitrato de amónio com cálcio	10–20% CaO
Magnésio	Magnetite	40% MgO
	Sulfato de magnésio	16% MgO
	Quelatos de Mg	2–10% MgO
	Dolomita	5–20% MgO
Boro	Ácido bórico	17.5% B
	Solubor	20.5% B
	Superfosfato simples de boro (SSP)	0.18% B
Cobre	Sulfato de cobre	24% Cu
	Quelatos de Cu	5–12% Cu
Ferro	Sulfato de ferro	19% Fe
	Compostos quelatados	5–10% Fe
	Quelatos de ferro (FCO)	12% Fe
Manganês	Sulfato de manganês	30.5% Mn
	Compostos quelatados	5–12% Mn
Molibdénio	Molibdénio amónio	54% Mo
Zinco	Sulfato de Zn	21% Zn
	Sulfato de zinco monohidratado	33% Zn
	Quelatos de Zn (FCO)	12% Zn
	Outros compostos	4–13% Zn
Cloreto	Cloreto de potássio	48% Cl
Todos	Fertilizante Composto NPK	Vários

Tabela 7.36 Época de aplicação de fertilizantes em relação às propriedades do solo, clima e exigências da cultura.

	Solo	Clima	Culturas anuais	Culturas perenes
N	Lixiviação do nitrato ($NO3^-$) em solos de pH baixo, textura leve e bem drenados. Maior volatilização da amónia (NH3) com o aumento do pH.	Aumento da lixiviação durante os períodos de elevada pluviosidade. Aumento da nitrificação durante os períodos de elevada temperatura.	Aumento do fornecimento na fase inicial de desenvolvimento da cultura, floração e durante as fases mais intensas de crescimento.	Fornecimento em conformidade com o clima e ciclo da cultura.
P	Forte adsorção (fixação) em solos ácidos de textura fina contendo óxidos de Fe/Mn/Al. Indisponível em solos de pH elevados devido à pluviosidade com Ca.	Maiores perdas do P aplicado pelo escoamento superficial da água e erosão durante os períodos de elevada pluviosidade.	Antes ou durante a sementeira ou plantação, incorporado ao solo perto da superfície.	Durante a preparação da terra, incorporação no solo perto da superfície e/ ou perto do covacho de sementeira ou plantação.
K	Os solos de textura leve, bem drenados e pobres em MOS podem ser propensos a lixiviação. Os minerais ilíticos em alguns solos tropicais podem causar fixação de K.	Aumento do potencial de escoamento superficial, lixiviação e erosão durante os períodos de alta pluviosidade. Culturas bem fornecidas em K, podem suportar melhor os períodos de seca.	Antes ou durante a sementeira ou plantação, incorporação no solo perto da superfície. Grandes doses de aplicação (por exemplo > 120kg K_2O/ha) devem ser faseadas (por exemplo, 50% na aplicação de fundo seguida de mais 1 ou 2 aplicações de cobertura).	Fornecimento regular de acordo com os ciclos de tempo e cultura.

Tabela 7.37 Recomendações de adubação para algumas culturas seleccionadas com base nos requisitos das culturas[a].

Cultura	Quantidade de nutrientes necessários para a produção de 1 t de produção comercializável (kg)		
	N	P_2O_5	K_2O
Banana	7.1	2.1	20.1
Feijão	69.6	20.0	55.1
Repolho	4.2	1.1	3.7
Mandioca	10.4	2.4	6.8
Citrinos	1.5	0.4	2.5
Café	76.9	12.4	86.6
Algodão	105.3	43.9	112.0
Amendoim	57.3	12.1	26.3
Milho	28.1	11.2	49.5
Óleo de palma	11.8	3.8	13.3
Batata	5.9	2.5	10.7
Mapira	42.2	19.5	70.2
Cana-de-açúcar	1.3	0.4	2.9
Girassol	37.4	24.9	110.0
Soja	79.0	14.0	36.0
Chá	40.0	26.4	28.9
Arroz	23.3	9.1	37.3
Trigo	28.3	10.5	32.7

[a]Estes valores não têm em conta as perdas de nutrientes do solo.

Tabela 7.38 Características das principais fontes de rochas fosfatadas disponíveis na ASS.

País	Local	Total P_2O_5	% P_2O_5 solúvel in 2% AC	% P_2O_5 solúvel em 2% AF	CaO(%)
Austrália	Christmas Island	34	12	12	36
China	Yunnan	35	14	8	44
Indonésia	Gresik	28	4	Indisponível	43
Jordânia	El Hassa	33	11	15	50
Marrocos	Khourigba	33	11	17	51
Tunísia	Gafsa	30	9	22	47
EUA	Florida	31	5	7	46
EUA	Carolina do Norte	35	13	25	49

[a]AC = Ácido Cítrico, AF = Ácido Fórmico

Tabela 7.39 Propriedades das rochas fosfatadas para aplicação directa.

Propriedade	Padrão Mínimo (%)	Comentário
Conteúdo • P_2O_5 Total • CaO	 >25 >40	A solubilidade da RF indica a quantidade de P que é fornecida para absorção pelas plantas. O teor de CaO afecta as propriedades de calagem.
Solubilidade • 2% Ácido Cítrico (AC) • 2% Ácido Fórmico (AF)	 >8.2 >14	O P_2O_5 total deve ser avaliado em relação à solubilidade.
Fineza • Passa por um crivo de 80 μm • Passa por um crivo de 50 μm	 >80 >50	Quanto mais fino o material, maior a área de superfície para a reacção com a solução de solo.
Teor de humidade	<2	O material húmido é difícil de espalhar.
Teor de metais pesados		Pequenas quantidades de metais pesados (por exemplo o Cd, Pb, Ni) em rochas fosfatadas e a sua potencial acumulação no solo devido a aplicação de fertilizantes P é um motivo de preocupação ambiental. No sudeste asiático, até a data, foram encontrados conteúdos comparáveis de metais pesados em solos fertilizados e não fertilizados. O urânio em depósitos sedimentares formados sob a água doce pode ser problemático para os trabalhadores de minas.

7.9 Aspectos agronómicos do cultivo

Tabela 7.40 Densidade de plantação recomendada para as principais culturas sob regime de pluviosidade favorável e marginal.[a]

	Elevada pluviosidade				Fraca pluviosidade			
	Entre linhas de plantas (cm)	Na linha (cm)	Plantas por covacho	Densidade (1000 plantas/ha)	Entre linhas (cm)	Na linha (cm)	Plantas por covacho	Densidade (1000 plantas/ha)
Milho	75	25	1	53	90	30	1	37
Soja	45	5	1	444	45	15	1	148
Feijão	50	10	1	200	50	15	1	133
Arroz	20	20	2	500	30	30	2	222
Mapira	75	15	1	888	90	15	1	74

[a]Estas devem ser consideradas como orientações gerais.

7.10 Economia da exploração agrícola

Tabela 7.41 Exemplo de uma análise do orçamento parcial usada para comparar a dose recomendada de fertilizantes com a prática do agricultor no amendoim.

Receitas adicionais por hectare da prática recomendada		$
Prática recomendada	1.25 t amendoim ao preço de $60/t	75
Prática do agricultor	0.5 t amendoim ao preço de $60/t	30
Receitas adicionais líquidas A		45
Materiais	Fertilizantes adicionais necessários	
	25 kg ureia ao custo de $ 0.2/kg	5
	50 kg TSP ao custo de $ 0.3/kg	15
	25 kg KCl ao custo de $ 0.4/kg	10
Trabalho	1 dia de trabalho de um homem para aplicação ao custo de $5/homem/dia	5
Custo Total adicional B		35
Margem sobre os custos adicionais da utilização de prática recomendada (A – B)		10

7.11 Aspectos gerais

Tabela 7.42 Equipamentos necessários ao trabalho com solos no campo.

Equipamentos	Posicionamento	Amostragem	
		Perfil do Solo	Topo do Solo
Fita métrica	X		
Clinómetro	X		
Kit GPS	X		
Mapa e foto aérea	X		
Pá/Catana		X	
Enxada		X	
Cutelo		X	
Sonda Edelman			X
Prancheta, lápis e borracha		X	X
Carta de Cores do Solo Munsell		X	
Faca		X	X
Lentes de mão		X	
Esguicho (H_2O)		X	X
Kit pH		X	X
HCl		X	X
Balde, sacos de amostras e canetas		X	X
Anel de amostras		X	
Saco de campo		X	X
Manuais		X	X

7.12 Bibliografia

Lista de referências bibliográficas relevantes de leitura recomendada. Cada citação é seguida de comentários e explicações sobre a obra em *itálico*. Se a fonte estiver disponível online, é proporcionada uma hiperligação.

Anderson, J.M. e Ingram, J.S.I. (1993) *Biologia Tropical e Fertilidade do Solo. Um Manual de Métodos*, 2ª ed. CAB International, Wallingford, UK.

Um manual que fornece métodos para a pesquisa da fertilidade do solo.

Dierolf, T.S., Fairhurst, T.H. e Mutert, EW (2001) *Kit de fertilidade do Solo: um Kit para o Maneio da Fertilidade de Solos Ácidos de Sequeiro no Sudeste Asiático*. Potash & Phosphate Institute (PPI), ProRLK, GTZ GmbH, Singapura.

Fonte de Tabelas 7.2-7.4, 7.6-7.33, 7.36, 7.38, 7.39, 7.41 e 7.42.

EFMA (2006) *Guia para a Compatibilidade de Materiais de Mistura de Fertilizantes*. European Fertilizer Manufacturers Association, Bruxelas.

Informações sobre a mistura de materiais fertilizantes.

Foto 7.1 O *Pehameter®* é uma ferramenta de baixo custo, útil para a medição do pH do solo no campo.

Foto 7.2 As cartas de cores de folhas podem ser utilizadas para melhor detectar o momento certo para a adubação de cobertura de N no arroz.

Foto 7.3 Uma sonda de solo Edelman é uma ferramenta essencial para a amostragem dos solos.

Glossário

Adulterar: Empobrecer a qualidade pela adição de uma outra substância, referente a fertilizantes.

Agroecologia: A ciência que apresenta conceitos e princípios ecológicos para a concepção e maneio de agroecossistemas sustentáveis (fonte: http://www.agroecology.org/glossary.html).

Agrosilvicultura: Sistemas múltiplos de utilização da terra que combinam o cultivo de culturas agrícolas e árvores ou espécies arbustivas na mesma parcela. Uma definição mais simples é 'árvores nas explorações agrícolas' (fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Agroforestry).

Eficiência agronómica: A quantidade adicional da produção obtida por kilograma de nutriente aplicado. A diferença entre a produção numa parcela de controlo e numa parcela adubada dividida pela quantidade do nutriente aplicado. A eficiência agronómica é calculada para cada nutriente separadamente.

Agronomia: A teoria e prática de produção agrícola e maneio do solo.

Fungos micorrízicos arbusculares: Um tipo de micorriza em que o fungo penetra nas células corticais das raízes duma planta vascular. As micorrizas melhoram a absorção de nutrientes, particularmente fósforo, pela planta hospedeira (fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Arbuscular_mycorrhiza).

Melhor-aposta (best-bet): Soluções ou tecnologias que podem dar os melhores resultados numa vasta gama de diferentes contextos.

Melhor-ajuste (best-fit): Soluções ou tecnologias que podem dar os melhores resultados num contexto específico.

Recomendações gerais sobre fertilizantes: Recomendações pré-estabelecidas sobre fertilizantes que não consideram a variabilidade dos solos, clima e sistema de cultivos.

Poder tampão: O grau de resistência do solo às alterações do pH. Os solos que têm grandes quantidades de argila e matéria orgânica têm um elevado poder tampão, o que significa que necessitarão de grandes quantidades de calcário para aumentar o pH do solo. Os solos com um baixo poder tampão como os solos arenosos com pouca matéria orgânica exigem menos calcário para o aumento do pH do solo (fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Buffer_solution).

Reivindicações concorrentes: Quando vários intervenientes com interesses divergentes procuram utilizar o mesmo recurso escasso ao mesmo tempo.

Agricultura de conservação: Sistema de cultivo e maneio de terra que envolve a mobilização reduzida do solo, retenção de resíduos das culturas, uso de rotação de culturas e diversificação de culturas (fonte: http://www.fao.org/ag/ca/).

Lavoura de conservação: Uma forma de lavoura que deixa pelo menos 30% dos resíduos das culturas anteriores na superfície do solo. (fonte: http://www.mda.state.mn.us/protecting/conservation/practices/constillage.aspx).

Resíduos de culturas: A parte de biomassa das culturas que sobra quando a parte económica da produção, como os cereais ou tubérculos, for retirada.

Rotação de culturas: Uma sequência temporal de diversas culturas cultivadas no mesmo campo.

Solo degradado: Um solo com quantidades insuficicientes em nutrientes e com matéria orgânica reduzida, com pouca actividade biológica e fraca estrutura do solo.

Desadopção: Quando os agricultores que participaram num projecto voltam às suas práticas anteriores após a conclusão do projecto que promoveu as novas práticas.

Agricultura de sequeiro: Quando as culturas são produzidas em zonas de baixa pluviosidade sem irrigação.

Ecologia: O estudo da relação entre os seres vivos e o seu ambiente natural (fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Ecology).

Eutrofização: Crescimento excessivo de algas ou plantas aquáticas devido à presença de grande concentração de fosfatos e nitratos. A decomposição subsequente de algas leva, muitas vezes, ao esgotamento do oxigénio, causando a morte de outros organismos aquáticos. (fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Eutrophication).

Análise *ex ante*: Uma avaliação do impacto previsto de uma intervenção antes da implementação (fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Ex-ante).

Análise *ex post*: Uma avaliação do impacto observado de uma intervenção após sua implementação. As avaliações adequadas do impacto determinam as condições onde uma intervenção funcionou bem e onde não funcionou.

Período de pousio: O período durante o qual um campo permanece em repouso a fim de restaurar a fertilidade do solo.

Preço de venda ao produtor: O preço do produto que o agricultor conta receber quando o produto é vendido directamente na propriedade agrícola.

Sistema de exploração agrícola: Uma família, seus recursos e os fluxos de recursos e interacções numa exploração agrícola específica.

Sistema de produção: Um conjunto de sistemas de exploração agrícola individuais. O sistema de produção inclui os sub-sistemas da exploração isto é, os sistemas de culturas e de pecuária, a terra comum que é utilizada para pastagem, recolha de lenha e frutos, etc.

Estrume de curral ou estábulo: Uma mistura de excremento e urina dos animais da exploração, resíduos de materiais fibrosos ou forragens utilizados na alimentação dos animais depois de passar por uma decomposição parcial. (source: http://agritech.tnau.ac.in/org_farm/orgfam_manure.html).

Geo-referência: As coordenadas geográficas que definem a posição espacial de um objecto, ou o processo de definição dessas coordenadas.

Leguminosas de grão: Uma cultura de leguminosas produzida essencialmente pelo seu rendimento em grãos.

Revolução Verde: Uma série de iniciativas de investigação, desenvolvimento e transferência de tecnologias que ocorreram entre a década de 1940 e finais da década de 1970, destinadas a aumentar a produção agrícola (source: http://en.wikipedia.org/wiki/Green_Revolution).

Factores limitantes do crescimento: Factores como água e nutrientes ou momentos críticos de consumo de nutrientes e de procura de forragens que limitam o crescimento de culturas e dos animais, respectivamente.

Redutores do crescimento: Factores como pragas, infestantes, doenças e poluentes que reduzem o crescimento de culturas e pecuária.

Calo de lavoura: Camada do solo sub-superficial e densa que é impermeável à água. Fundamentalmente formada por compactação pela lavragem frequente do terreno com charruas de aiveca e/ou tráfego de veículos pesados.

Heterogeneidade: Falta de uniformidade. Utiliza-se para descrever a variabilidade do estado de fertilidade do solo dentro e entre explorações agrícolas devido às diferenças no maneio.

Campos "de dentro": Campos localizados perto do domicílio que são geralmente bem geridos e recebem mais factores de produção incluindo fertilizantes e de mão-de-obra. Ver **Campos "de fora"**.

Hifas: Longas ramificações de estruturas de fungos que são o principal modo de crescimento vegetativo de fungos.

Inoculação: O processo de aplicação de inoculantes de *Rhizobium* nas sementes de leguminosas ou no solo onde as sementes de leguminosas serão semeadas para introduzir bactérias simbióticas compatíveis e eficazes para uma melhorar a nodulação e fixação de Nitrogénio atmosférico.

Intensificação: Práticas que resultam em aumentos na produtividade por unidade de área, que compreendem mudanças na utilização de recursos (mão-de-obra, factores de produção externos).

Cultivo consociado: O cultivo de duas ou mais culturas no mesmo terreno. As culturas podem ser plantadas em momentos diferentes, mas os períodos de crescimento devem coincidir.

Judicioso: De acordo com uma opinião precisa ou bom senso.

Lixiviação: Translocação de nutrientes aplicados às culturas para além da zona das raízes, principalmente devido à excessiva drenagem nos solos de textura grosseira.

Calagem: Aplicação de um material alcalino (o calcário agrícola) como calcário dolomítico moído para aumentar o pH do solo até ao nível adequado para o crescimento das plantas.

Meios de subsistência: Os meios de garantia das necessidades da vida, estratégias de controlo de que um indivíduo faz uso, sobre os rendimentos e recursos que podem ser utilizados ou trocados para satisfazer as suas necessidades básicas (fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Livelihood).

Agricultura de baixos insumos: Utilização de pequenas quantidades de factores de produção a fim de diminuir os custos de produção e reduzir os possíveis efeitos negativos que os factores de produção externos (e.g. fertilizantes) possam ter no ambiente.

Macronutrientes: Nutrientes que a planta precisa em grandes quantidades para o seu normal crescimento e desenvolvimento (nutrientes que constituem pelo menos 0,1% da matéria seca da planta).

Orientação de mercado: Nos casos em que os produtos agrícolas ou animais são essencialmente produzidos para o mercado em vez de para consumo doméstico.

Micronutrientes: Nutrientes exigidos pelas plantas em pequenas quantidades (nutrientes que constituem menos de 0,1% matéria seca da planta), existindo na maioria dos solos em quantidade suficiente. (fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Micronutrient).

Modelo: Uma representação simples de um sistema.

Fertilizantes multinutrientes: Fertilizantes que contêm mais do que um nutriente (e.g. fosfato diamónico, fertilizante composto 15–15–15).

Fungos micorrízicos: Fungos que formam uma associação simbiótica com as raízes de uma planta vascular e melhoram a absorção de nutrientes pela planta.

Deficiência de nutrientes: A procura de nutrientes é maior do que a capacidade de fornecimento do solo, causando uma redução ou atraso no crescimento da planta.

Extracção de nutrientes: A remoção de nutrientes nos produtos vegetais e biomassa excede a reposição através da adição de resíduos das culturas, estrume e fertilizantes.

Ensaios por omissão de nutrientes: Ensaios para identificar quais são os nutrientes que limitam o crescimento da planta. Os tratamentos geralmente incluem +N+P+K+Mg, –N+P+K+Mg, +N–P+K+Mg, +N+P–K+Mg, +N+P+K–Mg, e –N–P–K–Mg.

Toxicidade de nutrientes: O fornecimento dos nutrientes do solo excede a procura da planta de tal forma que provoca a diminuição do crescimento em vez do seu aumento.

Optimizar: Tornar o uso de um recurso mais eficaz ou o melhor possível.

Campos "de fora": Campos que estão mais distantes do domicílio, que recebem menos factores de produção agrícolas tais com fertilizantes e investimento de mão-de-obra do que os campos "de dentro".

Rocha-mãe: O material a partir do qual os solos são formados (geralmente rochas ou fragmentos saprolíticos).

Orçamento parcial: No contexto do maneio da fertilidade de solos num sistema de exploração agrícola, um orçamento parcial é usado para avaliar os impactos de uma proposta de mudança nas práticas de gestão de exploração agrícola através da análise das mudanças nos factores de produção e resultados específicos que são afectados pelas mudanças nas práticas de gestão de exploração agrícola.

Infestante perniciosa: Plantas infestantes que são particularmente competitivas ou destrutivas para as plantas cultivadas.

Factor principal: O factor mais influente que determina os resultados num processo específico.

Manual introdutório: Livro que contém uma introdução a um tema que pode ser usado para o ensino.

Défice de produtividade: A diferença entre a produtividade real dos agricultores e a produtividade alcançável pelo uso das melhores práticas de maneio.

Promíscuo: No contexto de fixação biológica de Nitrogénio, descreve uma leguminosa que pode formar uma simbiose efectiva com muitas estirpes de *Rhizobium*, ou uma estirpe de *Rhizobium* que pode formar nódulos com muitas plantas hospedeiras.

Dotação de recursos: Quantidade de recursos de produção agrícola que o agricultor tem capacidade de utilizar.

Mapas de fluxo de recursos: Representação visual de todo o movimento de nutrientes, mão-de-obra, produtos de culturas, resíduos de culturas e estrume animal em e entre as explorações agrícolas.

Solos com capacidade de resposta: Solos de que se obtém grandes resultados à aplicação de nutrientes ás culturas.

***Rhizobium*:** Bactérias encontradas no solo que formam nódulos com plantas leguminosas compatíveis e são capazes de fixar o Nitrogénio atmosférico (N_2) no interior dos nódulos.

Inoculantes de *Rhizobium*: Produtos comerciais usados para a introdução de *Rhizobium* no solo a fim de garantir a nodulação e a fixação do Nitrogénio pelas plantas leguminosas. Os inoculantes devem ser compatíveis com as espécies leguminosas hospedeiras e são aplicados nas sementes das leguminosas antes da sementeira ou no próprio sulco de sementeira. Os inoculantes apenas são necessários quando *Rhizobium* eficazes compatíveis não se encontram no solo em número suficiente.

Risco: A probabilidade de quebra da produção agrícola devido aos efeitos de seca, pragas e doenças e falhas do mercado.

Análise de sensibilidade: O estudo de como a incerteza no resultado de um processo produtivo pode ser repartida pelas várias fontes de incerteza nos factores de produção. É utilizada para melhor compreender as dinâmicas de um sistema de exploração agrícola e quantificar os riscos envolvidos (ou seja a relação quantitativa entre as variáveis "factores de produção" e produção).

Agricultura itinerante: Os campos são cultivados durante um curto período de 1–3 anos e depois ficam em pousio para a reposição da fertilidade do solo.

Nichos socio-ecológicos: As condições agro-ecológicas e socio-económicas a que se destina uma intervenção específica.

Acidez do solo: Uma medida de concentração de iões hidrogénio (H^+) no solo. Os solos ácidos têm pH menor que 7.

Capital solo: O solo incluindo as suas reservas de nutrientes é considerado como um activo fixo tangível.

Gradientes da fertilidade do solo: Diferenças na fertilidade do solo causadas pelas diferenças no maneio das culturas (e.g. aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais) numa exploração agrícola a longo prazo (fonte: http://library.wur.nl/isric/fulltext/isricu_i25173_001.pdf).

Fertilidade do solo: A fertilidade física, química e biológica do solo.

Porosidade do solo: A quantidade de espaço que pode ser preenchida com ar e água entre as partículas do solo (fonte: http://www.noble.org/ag/soils/soilwaterrelationships/).

Textura do solo: A quantidade de areia, limo e argila na fracção mineral do solo.

Aplicação localizada: Quando o fertilizante é aplicado em locais específicos próximos à planta em vez de ser espalhado por toda a superfície do solo.

Subsídio: Um pagamento em numerário, redução de impostos ou incentivos financeiros concedidos pelo governo para proteger os interesses dos agricultores, eliminar um encargo financeiro ou encorajar a aquisição de factores de produção agrícolas ou a venda de um produto agrícola.

Desenvolvimento sustentável: Desenvolvimento em que o uso de recursos satisfaz as necessidades humanas actuais sem comprometer a capacidade de atender às necessidades humanas no futuro.

Simbiose: Uma interacção entre dois organismos diferentes que vivem numa estreita associação física que é vantajosa para ambos organismos.

Solução de compromisso: Uma situação que envolve a perda de uma qualidade ou vertente de alguma coisa em troca da obtenção de uma outra (fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/trade-off).

Lacuna de produção: A diferença entre a produção real do agricultor e a produção alcançável. Produção alcançável é a máxima produção observada numa determinada zona agro-ecológica quando são utilizadas as melhores práticas de maneio.

Acrónimos e abreviaturas

AC	Agricultura de Conservação
ACC	Agente para o Conhecimento das Comunidade
AGRA	Aliança para uma Revolução Verde em África
Al	Alumínio
ASHC	Consórcio Africano para a Fertilidade do solo
ASP	Análise dos Sistemas de Produção
ASS	África Subsariana
B	Boro
C	Carbono
Ca	Cálcio
$Ca(OH)_2$	Hidróxido de Cálcio
CABI	CAB International
$CaCO_3$	Carbonato de Cálcio
$CaMg(CO_3)_2$	Dolomite
CaO	Óxido de Cálcio
$CaSO_4.2H_2O$	Gesso
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
Cl	Cloro
Co	Cobalto
CTC	Capacidade de Troca Catiónica
Cu	Cobre
DAP	Fosfato Diamónico
EA	Eficiência Agronómica
ECC	Equivalente de Carbonato de Cálcio
F/P	Fertilizante/Produção
FA	Fracção de Aproveitamento
Fe	Ferro
FMA	Fungos Micorrízicos Arbusculares
GPS	Sistema de Posicionamento Global
H^+	Ião de Hidrogénio
HI	Índice das Colheitas
ICRAF	Centro Mundial de Agro-Silvicultura
ICRW	Centro Internacional de Investigação sobre a Mulher
IFDC	Centro Internacional para o Desenvolvimento de Fertilizantes

Publicado por Africa Soil Health Consortium

IITA	Instituto Internacional de Agricultura Tropical
IPNI	Instituto Internacional de Nutrição de Plantas
IRRI	Instituto Internacional de Pesquisa de Arroz
K	Potássio
K_2SO_4	Sulfato de Potássio
KCl	Cloreto de Potássio
LEISA	Agricultura Sustentável com Baixa Utilização de Factores de Produção
Mg	Magnésio
MIFS	Maneio integrado da fertilidade dos solos
Mn	Manganês
Mo	Molibdénio
MOS	Matéria Orgânica do Solo
MSU	Universidade do Estado de Michigan
N	Nitrogénio
Na	Sódio
NH_3	Amoníaco, Amónia
NH_4^+	Amónio
Ni	Níquel
NO_3	Nitrato
NPK	Nitrogénio, Fósforo, Potássio
O	Oxigénio
OGM	Organismo Geneticamente Modificado
RAE	Razão de área equivalente
RDC	República Democrática do Congo
RF	Rocha Fosfatada
RVC	Relação Valor-Custo
S	Enxofre
Si	Silício
SMS	Serviço de Mensagens Curtas (texto)
SOFECSA	Consórcio para a Fertilidade do solo da África Austral
SSP	Superfosfato Simples
TAG	Grupo Consultivo Técnico
TCC	Consultores de Culturas Tropicais Ltd
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
TSP	Superfosfato Triplo
USAID	Agência dos EUA para o Desenvolvimento Internacional
WUR	Universidade de Wageningen
Zn	Zinco

Índice ideográfico

África Subsariana (ASS)
- desenvolvimento dos sistemas de produção agrícola 14
- fertilidade do solo 18
- intensificação de rendimentos 13
- LEISA 22-23
- necessidades alimentares 13
- paisagens agrícolas 18
- paradigamas da gestão da fertilidade dos solos tropicais 20
- utilização de fertilizantes e materiais orgânicos 24
- utilização de fertilizante mineral
  - custo 21
  - declaração da Abuja 22
  - nitrogénio 22
  - situação dos agricultores 21

Agricultura sustentável de baixo uso de factores de produção (LEISA)
- estrume e composto 22-24
- nutrientes 22-24
- sistemas de pecuária 24

Ambiente político
- conhecimentos do MIFS 95
- infra-estrutura 96
- informação e controlo de qualidade do mercado 95-96
- políticas relativas à posse de terra 96
- subsídios agrícolas 95

Amostragem do solo 140-141

Análise de sistemas agrícolas
- avaliação, lacunas de produção 88
- calendário de cultivo 89
- frequência e calendarização de visitas 88
- inspecção de campo 87
- manutenção de registo das actividades agrícolas 88
- orçamentação participativa 89, 90, 91

Análise de sistemas de produção agricola (ASP)
- agrupamento de agricultores 85-86
- avaliação de risco 87
- componentes 81
- concepção 82-84
- consumo anual e diário de matéria seca e produção de estrume 147
- etapas 144
- ferramenta 81, 82
- histórico, actividades anteriores 84
- identificação, sistemas agrícolas dominantes em cada domínio 85
- investigações sobre a utilização de fertilizantes 146
- lista de verificação 144-145
- práticas do maneio da fertilidade de solos 145
- problemas e recomendações 146
- produção 81
- questões a colocar 145
- rácio terra:mão-de-obra 86
- recolha de registos 82
- recolha, dados biofísicos 85

Análise ex ante, MIFS
- análises do orçamento parcial 107-108, 162
- dados necessários 105-106
- descrição 103
- desempenho do mercado 105
- EA 103
- etapas seguintes 108
- incentivos económicos 104–105
- objectivo 103
- recolha de dados 106

Análise ex post, MIFS 109

ASP *ver* Análise de sistemas de produção agrícola (ASP)

Aspectos agronómicos (normas) de cultivo 161

ASS ver África Subsariana (ASS)

Avaliação da fertilidade do solo
- análise do solo e interpretação dos dados 94
- características, solo fértil 91
- fluxo de recursos dentro e entre as explorações agrícolas 91-92
- plantas indicadoras 93
- recolha de amostras do solo 93-94
- sintomas de deficiência 93

Deficiência de nitrogénio
- bananeira 74
- milho 75

Densidade aparente do solo 141

Desenvolvimento de sistemas agrícolas, ASS 7

Eficiência Agronómica (EA)
- dose de aplicação de fertilizantes 32
- utilização de fertilizantes de Nitrogénio (N) 104
- utilização de nutrientes e rendimento de grão 30-31

Economia agrícola
- análise do orçamento parcial 162
- Equipamento necessário, trabalhar com solos 162

Edelman, ferramenta de sondagem do solo 138, 162, 163

EA *ver* Eficiência Agronómica (EA)

Erosão hidrica e eólica 55

Fertilidade do solo
- avaliação 136-137
- definição 136

Publicado por Africa Soil Health Consortium

Fertilizante de nitrogénio
areias graníticas, Chinyika, Zimbábue 72
produtividade do milho 72
Fertilizantes de fósforo 43-44
Fertilizantes minerais
composto 45
correctivos do solo
calcário 46-47
gesso 47-48
descrição 43
fósforo (P) 43-44
mistura de adubos a granel 45, 46
mistura optimizada de NPK 37
multinutrientes complexos 45
nitrogénio 43
potássio (K) 45
teor e custo de nutrientes 45–46
Fertilidade do solo 18
Fungos micorrízicos arbusculares (FMA)
inoculantes comerciais 62
características das plantas 62
produtos 63
esporos 78
Funções do solo
espaço físico/plataforma 128
fonte das matérias primas 127
meio para o crescimento das plantas 127
organismos biológicos 127
serviços ambientais 127
Germoplasma
descrição 57
eficiência na utilização de nutrientes 57
leguminosas 58-62
materiais de plantação 58
potencial genético da produção 57
resistência a pragas e doenças 57
Leguminosas
adubos verdes e leguminosas arbóreas 61
alimentos 61
componentes 59-60
fertilidade 61
fertilidade do solo 61-62
forragem 61
lenha e estacas 61
Rhizobium 'indígenas' 60
LEISA ver Agricultura sustentável com baixa utilização dos factores de produção externos (LEISA)
Maneio da fertilidade do solo
adubos minerais ver fertilizantes minerais
agricultura biológica 65
agricultura de conservação (AC) 64-65
consociação com soja 71
controlo da erosão 63
controlo de infestantes 64
correção da acidez do solo 63
cultura intercalar do milho
feijão-nhemba 72
mandioca 72
cultura do milho 73
culturas consociadas 64
data e práticas de plantação 64
deficiência de nitrogénio 74-75
deficiências de micronutrientes 63
deficiência em fósforo 75
descrição 39
desenvolvimento de rebentos e raízes 74
destruição de calos de lavoura 63
diques e valados para a conservação do solo 73
economia
capital do solo 66
componentes de custos 66
produção contínua do milho 66-67
restricções 68
efeitos do pH 148
eficiência da utilização de fertilizantes
EA 48-49
condições iniciais de fertilidade 49
eficiência do uso interno 48-49
factor de aproveitamento 48
interpretação 49
ensaios de deficiência de nutrientes 75
espaçamento 64, 161
fertilizante de fundo 77
fertilizante de nitrogénio 72
fontes de nutrientes, reabilitação do solo 149
FMA 62-63
géneros de leguminosas e Rhizobium compatíveis 150
germoplasma 60-62
germoplasma melhorado da mandioca 70
intervenções 64-65
lavoura segundo as curvas de nível 73
leguminosas de grão 70
materiais orgânicos
agricultura 41
cor, teor da fibra e sabor dos materiais 41
descrição 39
materiais 39
MOS 41
vantagens e desvantagens 42
mitos e factos 150
N, P e S nos solos das terras altas 149
nódulos 79
nutrientes 56-58
plantação, recolha da água 73
práticas de maneio da MOS 149
preparação do terreno 64-65
princípios e métodos para a redução de erosão do solo 150-151
resíduos de culturas e plantas herbáceas 76
rotação de culturas e conservação da água 73
sintomas de deficiência de nutrientes 76

Publicado por Africa Soil Health Consortium

sintomas de deficiência de potássio 75
sistemas de produção da mandioca 70
superar a inibição da fixação de N2 150
teor de nutrientes, estrume, resíduos 151
utilização de fertilizantes e condições ambientais 57
valores críticos, propriedades físicas e químicas 127–128
Maneio integrado da fertilidade de solos (MIFS)
4C´s 50-53
EA 30-32
'adaptação local'
fertilizantes de nitrogénio e estrume 30
resposta à aplicação de fertilizantes, solos pobres 29, 30
análise ex ante 103–108
análise ex post 109
armazém de fertilizantes 120
campanhas 121
componentes 34
comunicação directa com os agricultores 112
definição 9, 24
demonstrações sobre o maneio de nutrientes 120
descrição 20
efeito de fertilizantes, grão de milho 28
efeito do maneio agronómico, fertilizante 29
escolha de meios de comunicação 112
encontros e acções de formação 122
escola no campo do agricultor 122
estratégia de comunicação 110
fertilizante e materiais orgânicos 25-26
fertilizante e resíduos de culturas, mexoeira 28
fertilizantes minerais 26
germoplasma 27-28
implementação 24-25, 125
materiais de extensão rural
comunicação directa com os agricultores 112
escolha de meios de comunicação 112
provedores de serviços de extensão rural 112
materiais orgânicos 27
preparação de materiais audio-visuais 124
preparação, materiais de extensão rural 10
princípios económicos sustentáveis 33
resposta à aplicação de fertilizantes, solos pobres 29, 30
provedores de serviços de extensão rural 112
fertilizantes de nitrogénio e estrume 30
RAE 32
reforço e expansão da adopção 109-110
sistema "Gestor de Nutrientes para o Arroz" 123
sistema de ACC 123
testagem nas explorações agrícolas 109
TIC 112-116
uso de telemóveis para o acesso aos dados sobre a produção 120
variedades de soja, fósforo 29
Matéria orgânica do solo (MOS) 41
Mercados
crédito 98-99
desenvolvimento 101
factores de produção 97-98
mão-de-obra 100
produção 100
Mercados de crédito
seguro agrícola 99
programas de micro-finanças 99
programas de crédito do governo 99
fontes 98
contratos integrados de factores de produção/venda da produção da cadeia de valor 99
comerciantes locais e retalhistas de factores de produção 99
Mercados de factores de produção
custos de transporte de fertilizantes 97
domínios 96
embalagem 98
Mercados de mão-de-obra 100
Mercados para a produção 100
MIFS ver Maneio Integrado da Fertilidade do solo (MIFS)

MOS ver Matéria orgânica do solo (MOS)
Nutrição vegetal
símbolos e pesos atómicos 151
nutrientes
deficiências 153-154
disponibilidade 155
extracção 152
identificação de problemas 154
mobilidade 154
variedades locais e melhoradas 154
micronutrientes
concentração 155
sintomas e níveis de toxicidade 155
funções, nutrientes essenciais de plantas 152–153
condições que limitam o crescimento das culturas 153
características, deficiências de nutrientes nas folhas 154
tolerância à saturação por Al 156
Nutrientes
deficiências 153-154
disponibilidade 154-155
erosão hídrica e eólica 55
extracção 152
identificação de problemas 154
lixiviação 55-56
macronutrientes
cálcio (Ca) 134
magnésio (Mg) 134
nitrogénio (N) 133
fósforo (P) 133

Publicado por Africa Soil Health Consortium

potássio (K) 133
enxofre (S) 133

maneio de resíduos de culturas 56
micronutrientes
boro (B) 135
cloro (Cl) 135
cobalto (Co) 135
cobre (Cu) 135
ferro (Fe) 134
manganésio (Mn) 134
molibdénio (Mo) 135
níquel (Ni) 135
silício (Si) 136
sódio (Na) 135
zinco (Zn) 135
mobilidade 154
na produção de plantas 129, 132
perdas gasosas 56
variedades locais e melhoradas 154
Paradigamas da gestao da fertilidade dos solos tropicais 20
Pehameter® 141, 163
Pequenos agricultores 13
Programas de micro-finanças 99
Quatro 'certos' (4Cs), maneio de fertilizantes
colocação certa 53
momento certo, aplicação 52
produto fertilizante certo 50
taxa de fertilizante certa
aplicação 50-51
orientações 51
respostas 51
técnicas, aplicação correcta 52
RAE ver Razão área equivalente (RAE)
Razão área equivalente (RAE) 32
Recolha da água 63
Rocha fosfatada (RF) 43-44
Seguros agrícolas 99
Sistema de ACC *ver* Sistema de Agentes para o conhecimento das comunidades (ACC)
Sistema de Agentes para o Conhecimento das Comunidades 123
Sistema de Maneio de Nutrientes para o Arroz 123

Sistemas agrícolas de pequenos agricultores 81
Solo e produção agrícola
constituintes 128
fertilidade 128
fracção mineral
'teste do 'tacto' 129–130
areia, limo e argila 129
fracção orgânica
mineralização 131
MOS 131–132
nitrificação 131
teor de K, materiais orgânicos 131-132
funções do solo 127–128
indicadores de qualidade 127
nutrientes ver Nutrientes
textura 129-130
Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC)
acesso à Internet 114
armazenamento de dados 115–116
formatos dos meios de comunicação 112
telemóveis 113-114
vídeos 114
Tecnologias do MIFS, ASS
problema, baixa fertilidade do solo 15
soluções de abordagem única ou milagrosas 15
soluções mais adequadas 15
soluções melhor aposta 15
tomada de decisões
decisões estratégicas 16
decisões operacionais 16
decisões tácticas 16
Testagem na exploração agrícola, MIFS 109
Textura do solo 129-130, 142-143
TIC ver Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC)
Unidades e métodos usados 147
Utilização de fertilizantes
factores de conversão de nutrientes 157
fontes de rochas fosfatadas disponíveis na ASS 161
guia para a mistura de fertilizantes simples existentes na ASS 158
nutrientes secundários 159
período de aplicação de fertilizantes 160
propriedades da rocha fosfatada 161
recomendações para culturas seleccionadas 160
teor de nutrientes disponíveis na ASS 157

Este manual apresenta o Maneio Integrado da Fertilidade dos Solos, mais conhecido por MIFS, como um contributo chave para o melhoramento do solo em África e aumento de produtividade das culturas, em especial dos produtos agrícolas de base deste continente tais como o milho, as leguminosas, o arroz, a mandioca, a banana, o sorgo, o painço e o café.

Foi elaborado a fim de facultar um meio de formação para os profissionais de extensão rural em fertilidade do solo ou em outras técnicas de gestão agrícola na África Subsariana, sendo também dirigido para quaisquer outro tipo de profissionais envolvidos no desenvolvimento rural que tenham interesse em aprender mais sobre os princípios de MIFS.

Produzido pelo Africa Soil Health Consortium (ASHC), este manual faz parte de uma série de materiais e publicações em MIFS dirigidos a vários intervenientes, incluindo os profissionais de extensão rural, pequenos agricultores, comerciantes de factores de produção agrícolas, decisores políticos e instituições de formação profissional.

Outros materiais incluem os guias de cultivo e nutrição de várias culturas, relatórios com resumos de políticas e manuais de formação técnica à base de informação prática dirigidos aos profissionais de extensão rural e agricultores. Por favor, visite a página do ASHC na Internet para informação adicional: www.cabi.org/ashc

O ASHC colabora com várias iniciativas na África Subsariana de forma a expandir a adopção das práticas em MIFS. O ASHC é coordenado pela CABI em parceria com organizações científicas e agronómicas nacionais e internacionais sob o apoio da Fundação Bill & Melinda Gates.

O Africa Soil Health Consortium é coordenado pela CABI. A CABI é também a editora deste manual.

The Communications Unit, Africa Soil Health Consortium, CABI,
P.O. Box 633-00621 Nairobi, Kenya
Tel: +254-20-722 4450/62 Fax: +254-20-712 2150 Email: Africa@cabi.org
Website: www.cabi.org/ashc

978 1 78064 291 8

Publicado: October 2014