



## Princípios, funcionamento e gestão de ecossistemas cultivados em plantio direto sobre cobertura vegetal permanente

---

Lucien SEGUY, Olivier HUSSON, Hubert CHARPENTIER, Serge BOUZINAC, Roger MICHELLON,  
André CHABANNE, Stéphane BOULAKIA, Florent TIVET, Krishna NAUDIN, Frank ENJALRIC,  
Stéphane CHABIERSKI, Pierson RAKOTONDRALAMBO, Ignace RAMAROSON, RAKOTONDRAMANANA

---



Este documento consiste na tradução dos primeiros capítulos de um manual prático de plantio direto sobre cobertura vegetal permanente em Madagascar (também chamado PDCV, de Plantio Direto sobre Cobertura Vegetal permanente), originalmente publicado em francês em 2009. Apesar deste manual ter por base a experiência de Madagascar, os princípios e os processos aqui descritos têm um âmbito de aplicação amplo, podendo ser usados em todo o mundo.

Os vários projectos que deram origem à informação reunida neste documento, e o “Manual Prático do Plantio Direto em Madagascar” foram financiados por:



Traduzido por : Cláudia Caires Fernandes e Lucia Brugnara, Junho 2011  
Tradução financiada por : Programa PAMPA (AFD/MAE/FFEM)

Design e artes gráficas por Eloise Grand e Olivier Husson.

# PREFÁCIO

---

A Agricultura de Conservação (AC) baseia-se em três princípios fundamentais:

- Mínima perturbação do solo;
- Cobertura permanente do solo;
- Rotação de culturas.

O plantio direto sobre cobertura vegetal permanente (PDCV), desenvolvido por CIRAD e organizações associadas, faz parte das práticas de AC, tentando melhorar seus resultados.

Com base na compreensão das interações solo/plantas/microorganismos e na importância da produção de biomassa primária no funcionamento do sistema de solo, o PDCV introduz culturas de cobertura multifuncionais, que crescem em associação ou em sucessão com a principal cultura comercial. A introdução de culturas de cobertura leva a uma melhor utilização dos recursos naturais disponíveis, à maximização da produção de biomassa e a maiores restituições orgânicas ao sistema de solo.

Este documento apresenta um modelo conceptual que demonstra como o solo, as plantas, os micro e macro-organismos interagem num solo vivo, e como os sistemas de cultura podem ser manejados de modo que funcionem da melhor forma possível com PDCV.





# Capítulo 1

## Princípios e funcionamento de ecossistemas cultivados em plantio direto sobre cobertura vegetal permanente

---

Lucien SEGUY, Olivier HUSSON, Hubert CHARPENTIER, Serge BOUZINAC,  
Roger MICHELLON, André CHABANNE, Stéphane BOULAKIA, Florent TIVET,  
Krishna NAUDIN, Frank ENJALRIC, Ignace RAMAROSON, RAKOTONDRAMANANA

---



## 1. Funcionamento de um ecossistema florestal natural

Num ecossistema natural como a floresta, o solo nunca é perturbado e é permanentemente protegido por uma cobertura vegetal muito diversificada, o que cria condições favoráveis para uma forte atividade biológica (umidade, arejamento, temperatura, substrato nutritivo, etc.).

Diversas plantas e organismos do solo vivem em interação, assegurando uma elevada produção de biomassa e desempenhando diversas funções ecossistêmicas, tais como:

- a produção de matéria orgânica por fotossíntese, a partir da água e do dióxido de carbono;
- a proteção do solo e a redução do escoamento de água superficial pela cobertura vegetal permanente;
- a reciclagem de nutrientes e da água pelas raízes profundas;
- a fixação do nitrogênio atmosférico pelas bactérias associadas às plantas (nos nódulos das raízes de leguminosas ou na rizosfera);
- a mineralização e solubilização de nutrientes pelos organismos vivos, permitindo a nutrição regular das plantas;
- o enriquecimento do solo em matéria orgânica estável e a sequestração de carbono;
- o arejamento do solo por sistemas radiculares poderosos;
- a regulação da temperatura do solo; e
- o conjunto dos processos de pedogênese com:
  - alteração da rocha mãe em argilas (mais ou menos rápido dependendo do clima e do tipo de rocha), pelos sistemas de raízes fortes e os seus exsudatos, fungos, micro-organismos do solo, etc.

### O solo vivo

A macrofauna e os microrganismos desempenham um papel fundamental na vida de um solo. Eles são indispensáveis à sua formação: alteração da rocha-mãe, decomposição de matéria orgânica, processos de mineralização e formação de húmus, bioturbação, etc.

Eles desempenham igualmente um papel chave na formação e estabilidade dos agregados do solo e, portanto, da sua estrutura.

A microflora (bactérias, micorrizas, tricodermas, etc.) é também fundamental para a nutrição das plantas:

- mineralização da matéria orgânica;
- fixação de nitrogênio atmosférico;
- solubilização dos elementos minerais por oxidação ou quelação, o que os torna assimiláveis pelas plantas;
- extração de nutrientes do solo pouco mobilizáveis (modificação do pH e do potencial redox, aumento da superfície de interceptação pelas micorrizas, etc.).

Eles são tão importantes para as plantas que estas os estimulam através dos seus exsudatos radiculares, até à «liberação» por rizodeposição de 20 a 50% do carbono capturado pela fotossíntese. Algumas plantas deficientes em fósforo, por exemplo, podem através das suas secreções favorecer de forma preferencial o desenvolvimento de bactérias que extraem o fósforo fixado no solo e o solubilizam.

→ fracionamento progressivo, pela fauna, dos restos vegetais de grande porte (o que os torna acessíveis à microflora), sob a intervenção de uma grande diversidade trófica: colêmbolos grandes, dípteras, macro-artrópodes, enquitreídeos, colêmbolos pequenos, oribátidas, etc.

→ humificação sob a ação das bactérias, a velocidade e os produtos dessa humificação variam em função da vegetação, do clima e da microflora;

→ bioturbação (função indispensável na pedogênese, misturando deste modo a matéria mineral e orgânica, permitindo a formação do complexo argilo-húmico e os processos de agregação do solo) pela fauna do solo: minhocas, formigas, termitas, larvas de besouros, etc.

→ Agregação e estabilização de agregados pela fauna (bioturbação, ativação da microflora), fungos (pelos micélios/hifas), colônias de bactérias, exsudatos radiculares, polissacarídeos, etc.

Estas diversas funções executadas pelas plantas e organismos vivos do solo permitem assegurar uma pedogênese ativa e manter um solo que se renova periodicamente. O importante turn-over da matéria orgânica e nutrientes, e a ausência de perdas por lessivagem, permitem manter de forma durável uma produção elevada, mesmo em solos com

baixa fertilidade. Essa produção de biomassa permite por sua vez manter a pedogênese. O ecossistema se mantém estável e resiliente.





## 2. Princípios de funcionamento dos ecossistemas cultivados

### 2.1. Princípios da agricultura convencional



*Erosão e deficiência em fósforo no milho em sistema convencional*

A agricultura convencional é baseada no trabalho do solo e nos insumos químicos. O papel do solo é reduzido à sua forma mais simples, o de suporte físico para as plantas e de reservatório de nutrientes. A resposta aos vários constrangimentos agrônômicos faz-se essencialmente através da adaptação de ações técnicas que pretendem assegurar as diferentes funções agrônômicas fundamentais:

- reestruturação do solo através do trabalho mecânico;
- controle de ervas daninhas com trabalho do solo e uso de herbicidas;
- nutrição das plantas com nutrientes através de aportes de fertilizantes químicos e/ou orgânicos;
- abastecimento de água pela irrigação (quando possível);
- controle de pragas através do uso de pesticidas.

A criação varietal e a seleção de plantas visa valorizar ao máximo os insumos e a adaptar-se da melhor forma às condições do meio que se degradam (resistência a doenças, etc.).

### 2.2. Princípios dos sistemas tradicionais de derruba-e-queima

Os sistemas agrícolas tradicionais baseados na derruba-e-queima funcionam com base na alternância entre ecossistema florestal e sistemas convencionais com trabalho no solo (mas com um aporte mínimo de insumos). A degradação geral do ecossistema (atividade biológica, estrutura do solo, pressão de ervas daninhas, etc.), muito rápida durante os períodos de cultivo, é parcialmente compensada pela regeneração durante o período de repouso.

#### Três princípios fundamentais

1. Minimizar a perturbação do solo e da sua serrapilheira (sem trabalho mecânico do solo).
2. Manter o solo coberto permanentemente.
3. Produzir e restituir ao solo uma grande quantidade de biomassa por associação e/ou sucessão de uma variedade de plantas com múltiplas funções.

### 2.3. Princípios dos ecossistemas cultivados em plantio direto (PDCV)

#### Os princípios fundamentais do plantio direto sobre cobertura vegetal permanente

Os princípios de conduta dos ecossistemas cultivados em PDCV visam reproduzir o funcionamento de um ecossistema de floresta natural, e em particular os da sua serrapilheira:

- **Minimização das perturbações do solo e serrapilheira.** O solo e a serrapilheira devem de ser perturbados ao mínimo. Por isso eles não são trabalhados. O plantio é feito diretamente através da cobertura vegetal, perturbando e expondo o solo o mínimo possível (3 a 10%, dependendo do domínio e da natureza dos instrumentos de plantio direto) através da abertura de buracos (plantio manual) ou de linhas (plantio mecanizado). A baixa perturbação do solo favorece o desenvolvimento da atividade biológica, abranda a mineralização e permite manter a cobertura vegetal.
- **Cobertura permanente e total do solo.** O solo é mantido permanentemente protegido sob uma espessa cobertura vegetal que pode estar morta (resíduos de culturas, ervas daninhas e/ou as plantas de cobertura são totalmente controladas antes da implementação da cultura) ou mantida viva (uma cobertura vegetal perene é simplesmente controlada no tempo de cultura, sem ser morta, o que lhe permite de continuar o seu crescimento após a colheita da cultura). Esta cobertura vegetal protege permanentemente o solo contra a erosão, mantém as condições favoráveis ao desenvolvimento de uma intensa atividade biológica e contribui para a redução da pressão de plantas daninhas.
- **Produção e restituição ao solo de grande quantidade de biomassa.** Esta biomassa é renovada anualmente (o que permite manter a cobertura do solo apesar da mineralização) por **diversas plantas** (culturas e plantas de cobertura) multifuncionais, conduzidas em **associação e/ou sucessão** e que desempenham diversas funções ecossistêmicas.

O ecossistema cultivado em PDCV é no entanto mais intenso quando comparado a um ecossistema natural, para permitir a produção de culturas e/ou forragens que são exportadas (o que torna necessário um retorno de aportes para devolver os nutrientes retirados pelo sistema).

Estes três princípios permitem construir três «pilares»:

#### Os três «pilares» do plantio direto sobre cobertura vegetal :

- O primeiro « pilar » do PDCV, é a **cobertura vegetal permanente do solo** (alimentada por uma elevada produção de biomassa, e não perturbada pelo trabalho do solo). A espessura da serrapilheira, assim constituída com base nos três princípios fundamentais do plantio direto, protege o solo e altera a dinâmica da matéria orgânica, da água e dos nutrientes;
- O segundo « pilar » do PDCV é constituído pela **diversidade de plantas** (associadas ou em sucessões nos sistemas PDCV de acordo com o terceiro princípio), que têm múltiplas funções. Elas asseguram em particular a produção de biomassa aérea (alimentação da serrapilheira) e radicular (exploração de um grande volume de solo, produção de biomassa subterrânea, reestruturação do solo, mobilização e reciclagem de nutrientes, etc.);
- O terceiro « pilar » do PDCV é a **forte atividade biológica do solo** (fauna e microflora), tornada possível graças aos dois « pilares » que alimentam o solo em matéria orgânica e favorecem o desenvolvimento de organismos, ao:
  - reestruturar e arejar o solo através dos fortes sistemas radiculares;
  - manter a umidade (baixo escoamento superficial de água, forte infiltração e armazenamento, evaporação limitada) e tamponar as temperaturas através da cobertura vegetal;
  - fornecer um substrato energético: a matéria orgânica fresca (ao nível da serrapilheira em decomposição e das raízes após a morte das plantas) e os exsudatos libertados pelas raízes jovens (açúcares, hormônios, enzimas, etc.).

Em contrapartida, essa forte atividade biológica ajuda a melhorar e estabilizar a estrutura do solo (estruturação e estabilização de agregados do solo pela macrofauna, fungos do solo, colônias de bactérias, etc.).

Esta é essencial na gênese dos solos e desempenha um papel fundamental nos ciclos de nutrientes, tanto na serrapilheira (ciclo de matéria orgânica: mineralização, humificação, e sequestração de carbono, acumu-

### A cobertura vegetal/ serrapilheira

A cobertura do solo é essencial para o bom funcionamento dos PDCV.

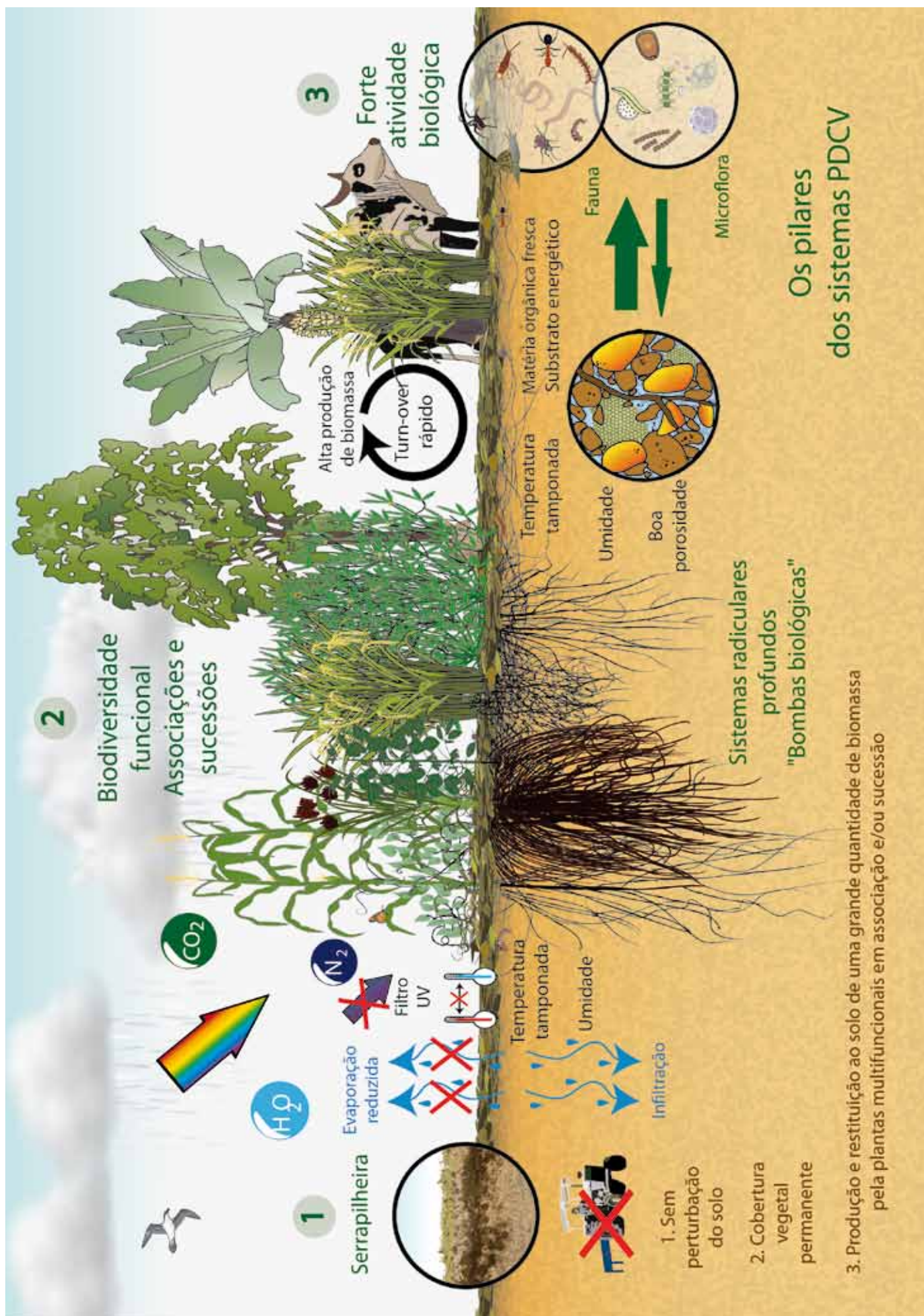
Esta deve de ser mantida tão completa quanto possível, e de forma tão contínua quanto possível. É composta por resíduos de culturas aos quais se junta a matéria seca, muitas vezes dominante em quantidade e em biodiversidade, proveniente de plantas associadas à cultura principal ou em sucessão anual. Pode ser difícil manter-se em condições climáticas excepcionais, o que poderia limitar fortemente o crescimento das plantas. Esta pode ser muito espessa, composta por vezes por resíduos de biomassa de vários anos consecutivos, em função da quantidade e qualidade da biomassa e das condições climáticas. Este é o caso das terras altas de Madagascar, onde podemos encontrar na serrapilheira fragmentos de cana de milho cultivado dois ou três anos antes. Este aprisionamento regular e a conservação de uma cobertura vegetal permanente, sem perturbar o solo, distinguem o PDCV da maioria das técnicas, por vezes agrupados sob o termo agricultura de conservação, incluindo as TCS (Técnicas de Cultura Simplificadas).

### Uma variedade de plantas com múltiplas funções

As associações e sucessões de culturas desempenham um papel fundamental no funcionamento do PDCV. As diferentes plantas utilizadas nos sistemas permitem melhorar a produção de biomassa e completar uma série de funções ecossistêmicas: estruturação e proteção do solo, sequestração de carbono, reciclagem e armazenamento de nutrientes, controle de ervas daninhas e de pragas, etc.

Estas favorecem igualmente o desenvolvimento de uma forte atividade biológica que contribui para assegurar essas funções. Os sistemas são construídos para executar da melhor forma as funções prioritárias num determinado contexto, escolhendo as plantas mais adequadas para fazer face aos constrangimentos agronômicos mais limitantes.

A inserção nos sistemas de plantas com sistemas radiculares fortes e profundos permite melhorar especialmente as funções fundamentais de reestruturação dos solos e de reciclagem de nutrientes e de água (papel de « bombas biológicas »).



lação de nitrogênio orgânico; solubilização de nutrientes por oxidação ou quelação) como no complexo absorvente (tipo de bases e retenção). Ela reforça o segundo «pilar» (plantas multifuncionais) que alimenta o primeiro (serrapilheira).

### Intensa atividade biológica

A intensa atividade biológica, tornada possível pela criação de um ambiente propício e fornecimento de substrato energético em abundância (matéria orgânica fresca e exsudatos radiculares), permite assegurar uma série de funções indispensáveis:

- estabilização da estrutura do solo;
- processo de humificação e mineralização;
- solubilização de nutrientes (por oxidação ou quelação);
- reforço das defesas naturais das plantas, etc.

Estes três «pilares» (cobertura vegetal/serrapilheira + plantas multifuncionais/raízes + atividade biológica associada) reforçam-se mutuamente.

Eles permitem ao PDCV, pela sua natureza e quantidade constantemente renovada (biodiversidade funcional), de preencher funções múltiplas e complementares, comuns a todos os PDCV mas de intensidade variável em função dos sistemas e das suas condições de execução (qualidade e quantidade da biomassa produzida e restituída ao solo).

## 3. Operation of cultivated ecosystems

### 3.1. Dinâmica da matéria orgânica

#### A matéria orgânica do solo :

Num ecossistema de plantas de alta produção vegetal, de qualidade diversa, a fitomassa vegetal produzida permite manter a serrapilheira, na qual a decomposição de organismos vivos contribui bastante para: i) a nutrição das plantas (que permite assegurar a alta produção de biomassa) e, ii) o armazenamento de carbono no solo em formas mais ou menos estáveis, relacionadas com a agregação das partículas.

Podemos distinguir:

**1. O reservatório «ativo» ou «instável»,** constituído por compostos orgânicos facilmente oxidados originários de fragmentos de plantas recentes (açúcares, amidos, proteínas simples, proteínas interestratificadas, polissacarídeos, hemicelulose). É controlado principalmente pelo aporte de resíduos e pelo clima, e é fortemente afetado pela forma de manejar o solo. Em ambientes tropicais, este reservatório tem duas funções principais: i) assegurar o fornecimento de nutrientes e, ii) fornecer os compostos orgânicos, agentes de agregação do solo e de retenção de cátions.

**2. O reservatório «lentamente oxidável»,** relacionado com os microagregados, afetados pela forma de manejar o solo.

**3. O reservatório «passivo» ou «recalcitrante»,** relacionado com os microagregados, pouco afetados pela forma de manejar o solo.

**4. The “passive” or “recalcitrant” reservoir.** forma muito estável relacionada com o carbono associado às partículas primárias do solo, controlado pela mineralogia da porção argilosa. Este reservatório não é influenciado (à escala da parcela) pela forma de manejar excepto quando esta gera um transporte por erosão. Esses diferentes reservatórios de matéria orgânica sofrem mineralização e humificação, em diferentes vias, dependendo do material e das condições do meio:

- humificação por herança de grandes moléculas (polifenóis, lignina), pouco atacadas pelos microrganismos;
- humificação por policondensação de compostos fenólicos, derivados diretamente da decomposição dos tecidos vegetais;
- humificação por neo-síntese pelos micro-organismos do solo, utilizando as moléculas (pequenas) derivadas da degradação das matérias orgânicas frescas para formar novos compostos mais resistentes: os polissacarídeos (que desempenham um papel importante na agregação).

### Importância da matéria orgânica

A matéria orgânica do solo desempenha um papel fundamental na(o):

- estrutura do solo e na sua estabilidade (ligando as partículas minerais no complexo argila-húmico, contribuições para os agregados, etc.);
- retenção de água e sua disponibilidade para as plantas;
- armazenamento e disponibilização de nutrientes (forte contribuição para a capacidade de troca catiônica, produtos da mineralização, etc.);
- regulação do pH do solo (tampão);
- estimulação da atividade biológica (substrato energético e suportes);
- retenção de micropoluentes (melhorando a sua degradação), etc. degradation), etc.

A serrapilheira sendo regularmente alimentada com matéria orgânica de diversa qualidade (e portanto a velocidades de mineralização diferentes), a mineralização é contínua e libera permanentemente nutrientes solúveis, que permitem a nutrição regular das plantas.

Os produtos resultantes da humificação da matéria orgânica (ácidos húmicos, etc.) vão estar intimamente associados aos cátions polivalentes ( $\text{Ca}^{2+}$ , hidróxidos de ferro e de alumina) e às argilas (resultantes da alteração da rocha mãe) no complexo argilo-húmico, alimentando o reservatório passivo de matéria orgânica. Esta fração fina, muito estável (tempo de vida 1000 anos) é progressivamente agregada:

- nos microagregados (< 250  $\mu\text{m}$ ), com limos, e partículas finas de matéria orgânica resultantes da decomposição de plantas e revestidos de argila, solidamente ligados pelas raízes das plantas, hifas e micélios de fungos e polissacarídeos produzidos por microrganismos e fungos estimulados por exsudatos radiculares;
- nos macroagregados, menos estáveis do que os microagregados (e nos quais a matéria orgânica é menos protegida fisicamente), agregando microagregados, fração intermédia da matéria orgânica (50-200  $\mu\text{m}$ : fragmentos de folhas e raízes), colônias de bactérias e grãos de areia sob o efeito de ligação das hifas/micélio de fungos do solo, polissacarídeos, e raízes de plantas.

### Velocidade de decomposição dos resíduos

A velocidade de mineralização depende fortemente da qualidade da matéria orgânica fresca. Os resíduos ricos em açúcares, amidos e proteínas simples (e em menor medida, em proteínas interestratificadas e em polissacarídeos), com relação C/N baixo, decompõem-se muito mais rapidamente do que aqueles ricos em hemicelulose e celulose, com relação C/N mais alto. As maiores moléculas, como as gorduras e as ceras, e principalmente os polifenóis e a lignina, com os seus anéis aromáticos, decompõem-se muito mais devagar.

Esta depende também da atividade da microflora e, assim, das condições do meio (arejamento, umidade, temperatura), do tipo de solo e das superfícies de «ataque» (tamanho dos fragmentos). A mineralização é relativamente lenta durante os períodos secos e/ou em meios frios (como nos climas temperados). No entanto, ela é particularmente rápida em meio tropical úmido e quente durante todo o ano.

A aração (e as TCS) acelera os processos de mineralização, fragmentando os resíduos, desestruturando os macroagregados (expondo assim a matéria orgânica que estava protegida no interior), criando (temporariamente) um aporte de oxigênio muito elevado e tornando possível o aumento da temperatura do solo. A velocidade de mineralização só é limitada (eventualmente) pela umidade e/ou pela temperatura (em meios temperados).

A fauna do solo, e em particular as minhocas, desempenham um papel fundamental no processo de agregação. Elas asseguram a bioturbação do solo e, dessa forma, o contato entre frações minerais (argilas, limos, areias) e orgânicas do solo. Estas contribuem não só para a criação de agregados (ação mecânica de mistura), mas também para a sua estabilização (alternância seca-umidade, ativação de micro-organismos, etc.).

Este processo de agregação (e, portanto, de sequestração de carbono) é contínuo, e a sua taxa é diretamente proporcional à restituição da matéria orgânica (raízes, caules, folhas, palhas), em quantidade e qualidade.

A dinâmica da matéria orgânica é assim fundamentalmente diferente entre uma agricultura com trabalho do solo e os sistemas PDCV bem geridos.

### Dinâmica da matéria orgânica em sistemas convencionais com trabalho do solo

Os sistemas convencionais são caracterizados por:

- trabalho do solo que conduz à mineralização irregular, com picos de mineralização muito rápida;
- uma produção de biomassa relativamente baixa (produzindo um pequeno número de espécies, num período de tempo limitado, nutrição irregular e desequilibrada das plantas, etc.);
- resíduos pouco variados, com C/N relativamente baixa, que se decompõem rapidamente, e como consequência produzem pouco húmus;
- matéria orgânica pouco protegida devido à fraca agregação;
- erosão muitas vezes forte, causada por práticas destruturantes do solo e um forte escoamento superficial de água que faz com que mesmo as frações mais estáveis da matéria orgânica possam ser exportadas da parcela.

Consequentemente, os resíduos da colheita, mesmo que forem inteiramente mantidos na parcela, são geralmente insuficientes para manter o estoque de carbono do solo, principalmente em meios tropicais onde a mineralização é muito rápida. Além disso, essa biomassa é frequentemente exportada ou queimada, o que faz com que as restituições de carbono ao solo nos sistemas convencionais sejam muito baixas. Estas não permitem alimentar os diferentes reservatórios de matéria orgânica (incluindo o reservatório ativo da fauna e da microflora). Resultando uma descontinuidade no processo de transformação do compartimento ativo, com uma redução do fluxo de C para o reservatório estável da matéria orgânica do solo.

### Dinâmica da matéria orgânica num ecossistema cultivado em PDCV

Ao contrário dos sistemas convencionais, o plantio direto sobre cobertura vegetal permanente caracteriza-se pela:

- produção e restituição regular de uma grande quantidade de biomassa, de diversa qualidade, alimentando os diversos reservatórios de matéria orgânica do solo e mantendo um fluxo contínuo de carbono do reservatório ativo para o reservatório estável;
- mineralização regular e retardada graças à não perturbação da serrapilheira (sem fracionamento mecânico dos resíduos, proteção de várias camadas de aportes sucessivos, com diferentes velocidades de decomposição e pouco expostas aos processos microbianos, sem fluxo de oxigênio brutal, temperatura tamponada);
- agregação contínua, levando à proteção da matéria orgânica nos agregados: formação de complexo argilo-húmico, proteção da fração estável do carbono (< 53  $\mu\text{m}$ ) fortemente ligada nos microagregados (< 250  $\mu\text{m}$ ), proteção dos microagregados nos agregados macroagregados, etc.

A elevada produção de biomassa e a atividade biológica intensa permitem um funcionamento dinâmico da matéria orgânica em relação com os processos de agregação. A matéria fresca (reservatório temporário) passa por processos de mineralização (nutrição das plantas que vão por sua vez alimentar as serrapilheiras) e de humificação (abastecimento do reservatório transitório e do reservatório estável de matéria orgânica). Esses reservatórios de matéria orgânica são mais ou menos protegidos nos agregados, consoante o seu tamanho.

Estes processos (em primeiro lugar com a elevada produção de biomassa) levam à sequestração de carbono no solo e prestam um serviço ecossistêmico fundamental à escala do planeta.

O plantio direto funciona de forma similar a um ecossistema natural, com um turn-over importante e rápido de matéria orgânica e processos de agregação eficientes. A principal diferença entre os sistemas bem geridos em PDCV e um ecossistema florestal natural está na quantidade e qualidade da matéria orgânica. No PDCV, apesar da diversidade de plantas cultivadas, a proporção de plantas lenhosas é menor do que nas florestas e os resíduos produzidos têm uma grande quantidade de celulose e menos lignina. A velocidade de decomposição é mais rápida e a taxa de humificação é menor. O fluxo de carbono é mais rápido do que sob vegetação natural de várias espécies com um maior número de compostos orgânicos constituídos por ceras, gorduras, ligninas e polifenóis. Para serem eficazes, os sistemas de PDCV devem garantir uma produção muito elevada de matéria rica em celulose graças às associações/sucessões, afim de manter um fluxo de carbono, permitindo assim a redistribuição de compostos orgânicos em diferentes estados de humificação, nos diferentes compartimentos da matéria orgânica do solo. Tais sistemas têm um turn-over de matéria orgânica muito elevado e um reservatório de matéria orgânica ativa particularmente importante (20 a 25% em meios tropicais). Em meios temperados, os fluxos (produção e mineralização) são mais lentos do que em meios tropicais e a parte do reservatório ativo é proporcionalmente mais fraca.

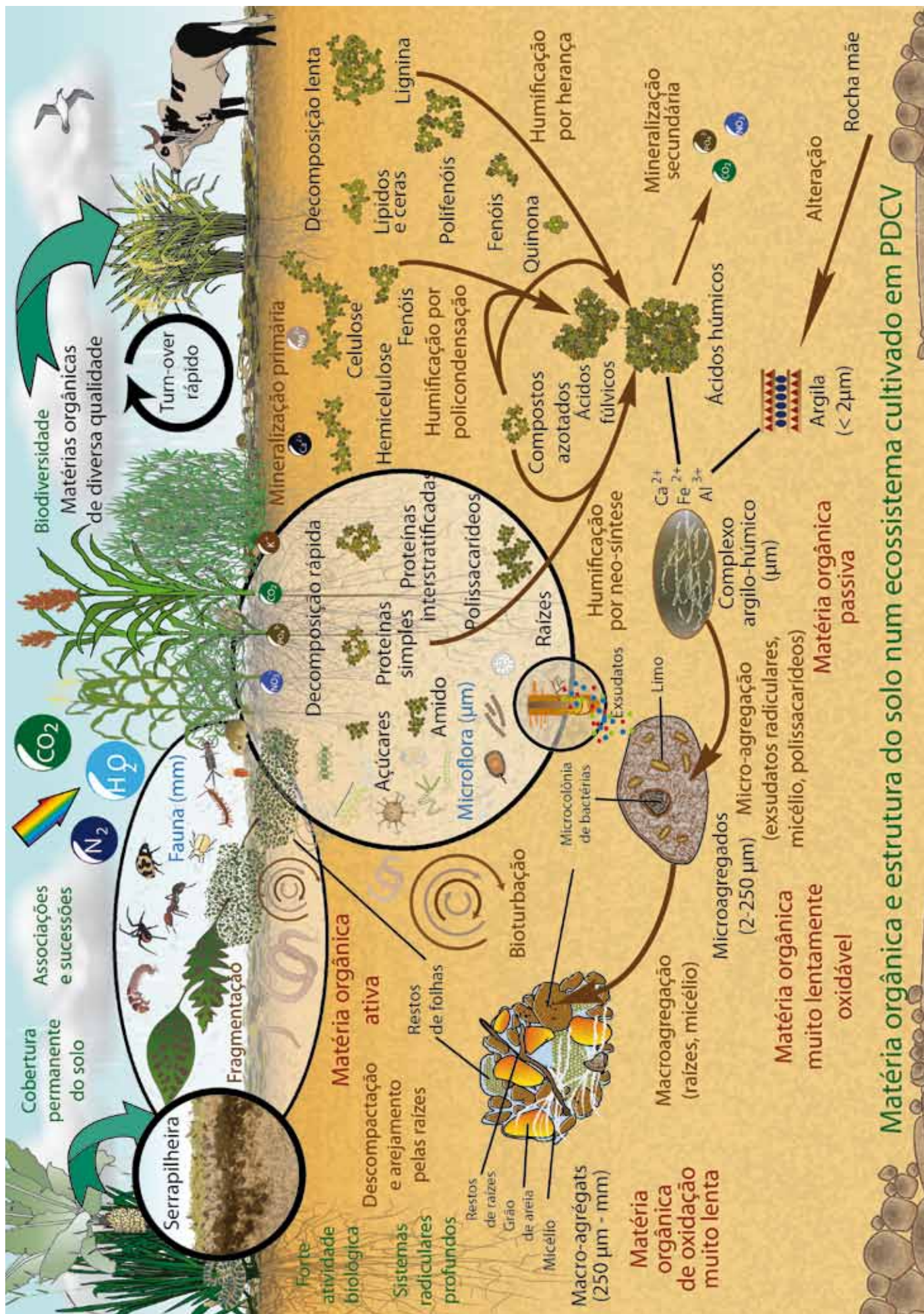
#### Atividade biológica e velocidade de mineralização

O baixo aporte de matéria orgânica fresca em sistemas convencionais, e a exposição dessa matéria orgânica com relação C/N baixo, explicam que, apesar de uma mineralização rápida nesses solos, a atividade biológica é globalmente baixa: essa atividade biológica está concentrada em torno dos fragmentos de matéria orgânica, sem ou com baixa proteção, e relativamente pouco numerosos.

Por outro lado, em solos sob PDCV, os elevados aportes de matéria orgânica fresca (aérea e radicular) oferecem um substrato abundante à macrofauna e aos micro-organismos do solo. A atividade biológica (que não se limita à mineralização da matéria orgânica) é melhor distribuída e muito mais intensa, apesar do processo de mineralização da matéria orgânica (com relação C/N elevada e protegida nos agregados e/ou na serrapilheira) ser mais lento.



Arroz + aveja, sobre cobertura espessa após milho + dolichos



**Materia orgânica e estrutura do solo num ecossistema cultivado em PDCV**

## Turn-over da matéria orgânica

Nos sistemas convencionais, a produção limitada e a baixa restituição ao solo de biomassa com relação C/N baixo, associadas a uma mineralização irregular com picos muito fortes (depois da aração), fazem com que a matéria orgânica seja pouco renovada e que as perdas sejam importantes (e agravadas pela erosão). É muito difícil nestas condições de manter um nível adequado de matéria orgânica para a produção agrícola.

Por outro lado, nos sistemas em PDCV, as altas produções e restituições de biomassa e a criação de condições propícias a uma mineralização lenta e regular, permitem um turn-over rápido e significativo da matéria orgânica e, conseqüentemente, a melhoria ou, pelo menos, a manutenção do estado orgânico do solo.

Isso não significa que os sistemas em PDCV mineralizam menos matéria orgânica do que os sistemas convencionais: a quantidade mineralizada depende fortemente da quantidade de matéria orgânica do solo, que é maior em PDCV do que no sistema convencional !

Resumindo, os sistemas convencionais mineralizam rapidamente uma pequena quantidade de biomassa e produzem pouco húmus, enquanto que os sistemas em PDCV mineralizam lentamente grandes quantidades de biomassa e produzem muito mais húmus.

## 3.2. Estrutura do solo

### *Estrutura do solo nos sistemas convencionais*

Os sistemas convencionais tentam assegurar uma boa estrutura do solo, através de um trabalho mecânico, antes da instalação das culturas. Se esta prática é relativamente simples de implementar (embora às vezes muito exigente em trabalho), esta tem muitas desvantagens a médio prazo:

- a melhoria da estrutura fica limitada aos horizontes trabalhados e é portanto superficial. O aparecimento de uma crosta na terra arada, frequente nestas práticas, impede a penetração de água e das raízes em profundidade;
- o seu impacto muito negativo na atividade biológica e na matéria orgânica, fazem com que a estabilidade da estrutura do solo não possa ser assegurada. Os processos de agregação não podem funcionar e a estrutura degrada-se rapidamente. A melhoria da estrutura através do trabalho mecânico é por isso apenas temporária;
- o solo nu está exposto à erosão (pelo vento, trabalho do solo ou pelo escoamento superficial de água), e pode endurecer na superfície (especialmente depois de forte chuva sobre trabalho do solo muito «fino», com ruptura dos agregados), ou formar uma crosta de destruturação superficial (em solos sensíveis ao encrostamento).

### *Estrutura do solo nos ecossistemas cultivados em PDCV*

No plantio direto, como num ecossistema natural, a criação e a conservação de uma boa estrutura do solo são asseguradas por:

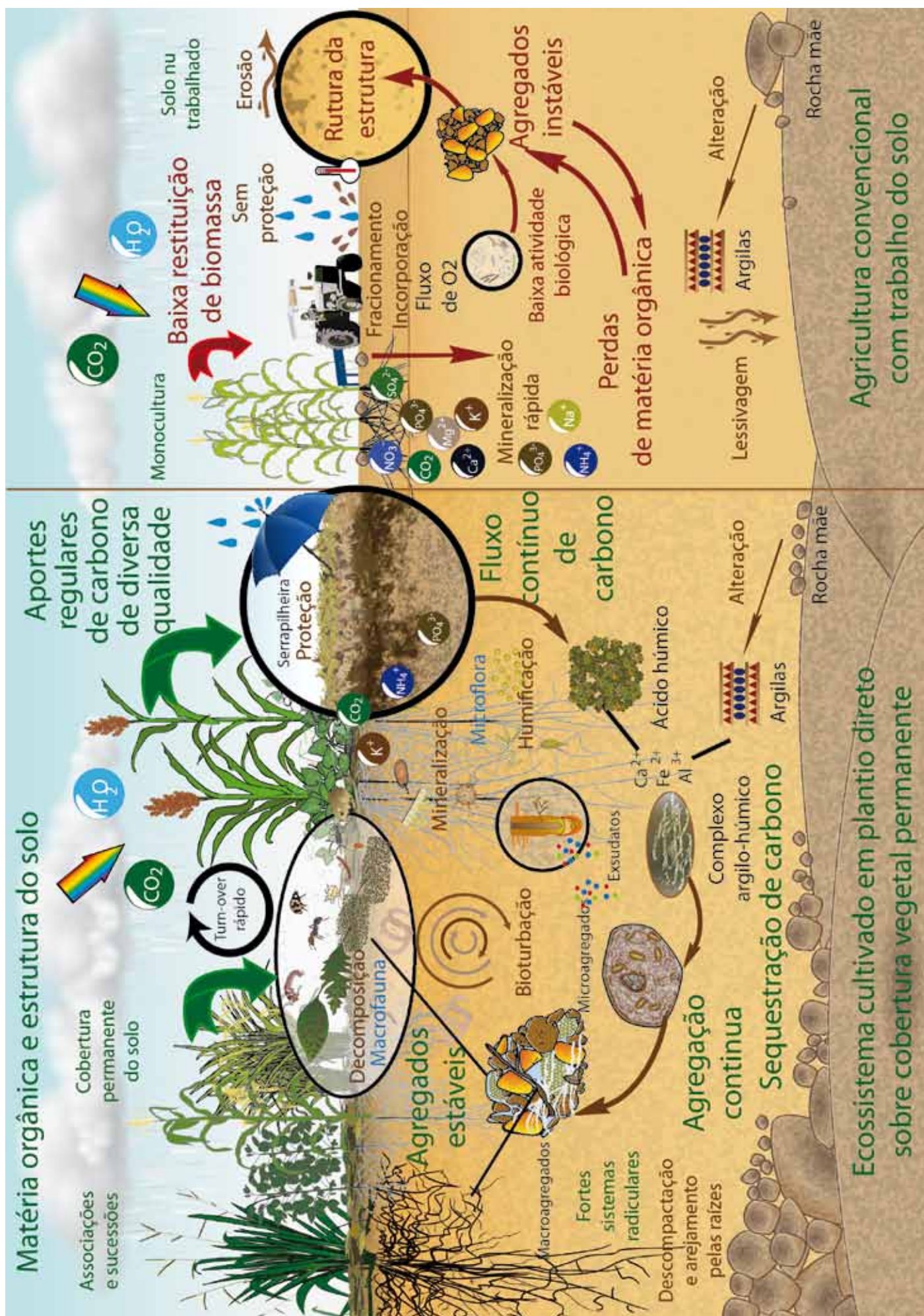
- a cobertura vegetal permanente do solo que executa a função de proteger-lo contra o impacto das gotas de água (energia cinética elevada), contra a erosão eólica e/ou hídrica, e contra a radiação solar (que seca o solo, gera uma forte amplitude térmica, e os raios UV que são prejudiciais para os organismos biológicos);
- o arejamento do solo e a sua reestruturação através da macrofauna (minhocas, térmitas, formigas, colêmbolos macroartrópodes, etc.) e dos fortes sistemas radiculares de plantas utilizadas nas associações e sucessões (em especial com o trabalho das raízes de plantas cultivadas na estação seca). O sistema radicular muito denso na superfície desempenha igualmente o papel de uma armadura flexível e resiliente, e limita o impacto da compactação pela passagem de máquinas pesadas na agricultura mecanizada;
- a incorporação de matéria orgânica no solo: na superfície ao nível da serrapilheira, e em profundidade pelas raízes. Esta matéria orgânica, de qualidade variada (açúcares e proteínas simples, facilmente decompostos em lignina, grandes moléculas decompostas lentamente, com uma dominância de celulose em plantio direto), vai alimentar os diferentes reservatórios de matéria orgânica do solo, mais ou menos estáveis;

### **Microporosidade e macroporosidade**

A macroporosidade do solo, que permite uma boa infiltração e uma drenagem rápida da água, resulta principalmente do trabalho das grandes raízes e da atividade da macrofauna.

A microporosidade do solo, que permite o armazenamento de água, está ligada aos processos de agregação e à atividade de pequenas raízes.





- a formação e a estabilização de agregados graças a uma atividade biológica intensa (papel de ligação da microflora e bioturbação pela macrofauna), um sistema radicular denso e aportes regulares de biomassa que constituem ao mesmo tempo um substrato energético para estes organismos e a matéria-prima da humificação.

O trabalho mecânico do solo dos sistemas convencionais (com os seus efeitos negativos) é, assim, substituído por um trabalho biológico num solo vivo, que permite o armazenamento e a proteção da matéria orgânica do solo nos agregados estáveis.

### 3.3. Fertilidade dos ecossistemas cultivados

#### Fertilidade dos sistemas convencionais

Nos sistemas convencionais, o declínio progressivo da capacidade de armazenamento de nutrientes no solo (especialmente por causa da queda da taxa de matéria orgânica que influencia fortemente a capacidade de troca catiônica do solo) faz com que uma parte considerável dos nutrientes tenha que ser aportada às culturas, por vezes mesmo sem passar pelo solo, como no caso dos fertilizantes foliares.

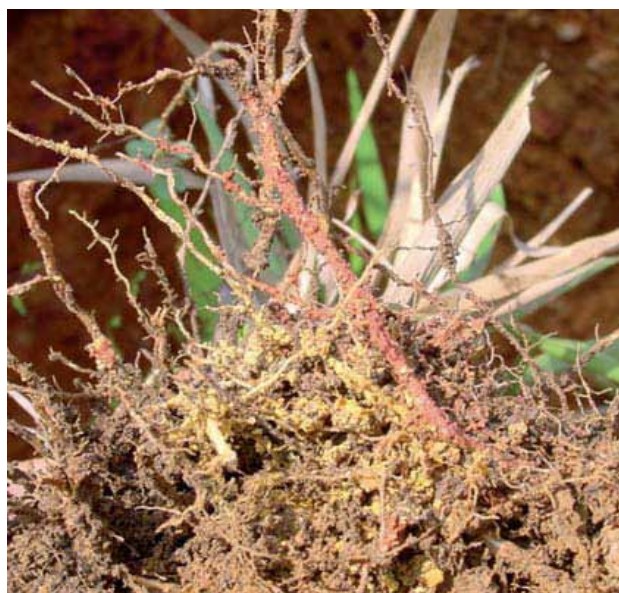
As perdas por escoamento superficial de água e lixiviação são elevadas devido à grande solubilidade de determinados fertilizantes, à rápida mineralização da matéria orgânica e ao fraco enraizamento das plantas, assim como aquelas relacionadas com a erosão (facilitada pelo trabalho do solo) e aquelas por volatilização em solo nu exposto a temperaturas elevadas. A fertilidade do sistema é pouco estável e as suas performances dependem muito de aportes exteriores (quando os agricultores têm acesso a eles).

Elas baixam rapidamente após a interrupção dos aportes de fertilizantes, especialmente porque os outros componentes da fertilidade do sistema «solo» são muitas vezes deficientes (especialmente devido à fraca atividade biológica, à baixa taxa de matéria orgânica e à instabilidade da estrutura do solo), e as perdas do sistema são importantes.



Milho + Capim pé-de-galinha + Crotalaria  
Foto: L. Séguy

#### Fertilidade dos ecossistemas cultivados em PDCV



Forte atividade biológica em torno das raízes de *Brachiaria brizantha*

Nos ecossistemas cultivados em PDCV, os nutrientes estão, como num ecossistema florestal, concentrados maioritariamente na biomassa (fitomassa, serrapilheira e microflora do solo), que aprovisiona os horizontes superficiais do solo. As plantas cultivadas obtêm a maior parte dos nutrientes que lhe são necessários na serrapilheira e nos primeiros centímetros do solo. A fertilidade é global ao sistema solo/planta e não é exclusiva do solo. Graças às reservas (na fitomassa e a matéria orgânica do solo) e às baixas perdas, a fertilidade dos sistemas PDCV é estável. A conservação dessa fertilidade é assegurada por:

- um turn-over rápido da matéria orgânica, assegurado por uma elevada produção de fitomassa e por uma atividade biológica intensa, que permitem otimizar os processos de humificação e de mineralização. Graças a este turn-over rápido, a produção anual de biomassa pode ser significativa, mesmo em meios pobres;

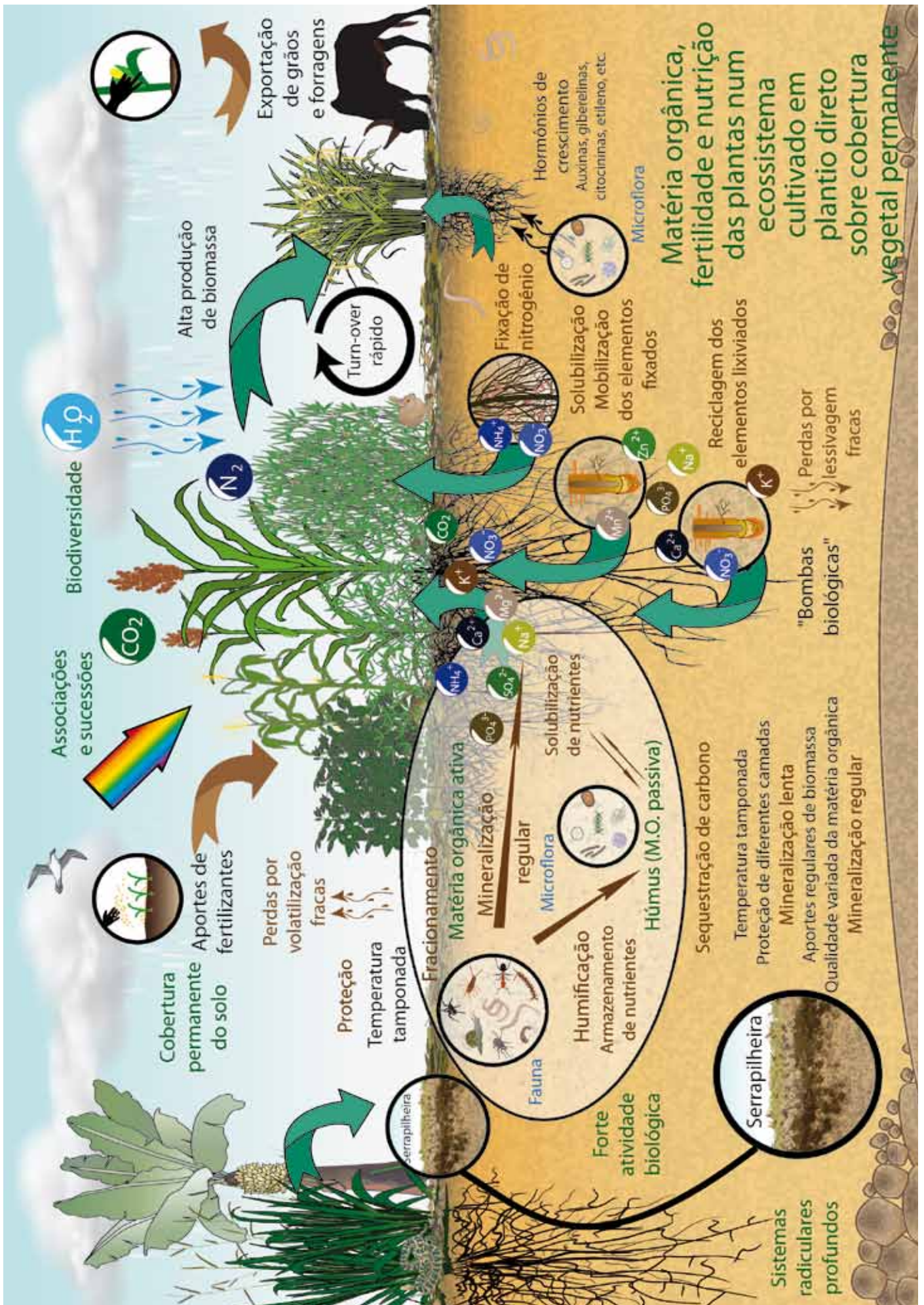
### As «bombas biológicas»

«bombas biológicas» são espécies inseridas nos sistemas e que desempenham (entre outras) uma função fundamental de reciclagem e de mobilização dos nutrientes. Através do seu sistema radicular forte e profundo, a sua associação com micorrizas e/ou a estimulação de populações específicas de bactérias, permite-lhes reciclarem nutrientes lixiviados em profundidade, extrair os elementos pouco disponíveis e transformá-los numa importante biomassa que se junta à serapilheira do solo, permitindo assim alimentar as plantas. O milho, por exemplo, é um excelente reciclador de potássio, enquanto que o *Stylosanthes* é capaz de reciclar as bases (em particular o cálcio) e os oligoelementos (B, Cu, Zn, Mn, etc.) e de mobilizar o fósforo.

- uma alta taxa de matéria orgânica (mantida pela elevada produção de biomassa) e, conseqüentemente, uma capacidade de troca catiônica (CTC) elevada, um poder tampão e uma capacidade de retenção dos nutrientes importantes;
  - fixação de nitrogênio atmosférico, pelas leguminosas mas também pelas bactérias livres (*tipo Azotobacter sp., Azospirillum sp., Arthrobacter sp.* etc.) e/ou pelos fungos do tipo tricotomicetos e actinomicetos, estimulados pelos exsudatos radiculares das plantas (como o capim pé-de-galinha ou as brachiárias para *Azotobacter sp.*);
  - solubilização de nutrientes por oxidação ou quelatização, sob a ação de bactérias que se desenvolvem num ambiente favorável (porosidade, arejamento, umidade, substrato energético, etc.) e rico em matéria orgânica;
- extração de elementos fixados ou em quantidades muito baixas no solo, por associação das plantas com micorrizas e/ou estimulação seletiva (pelos exsudatos radiculares) de populações de fungos e/ou de bactérias livres do solo capazes de executar esta função de mobilização de nutrientes (*fungos do gênero Trichoderma e bactérias do gênero Pseudomonas, Enterobacter, Bacillus, Agrobacterium, Rhizobium, Burkholderia, etc.*) para o fósforo, bactérias do gênero *Bacillus* para o potássio e manganésio, *Thiobacillus* para o cobre, etc.). Esta função é específica das «bombas biológicas», plantas utilizadas em cobertura que têm diferentes capacidades para influenciar o meio (potencial redox, pH, etc.) e estimular as diferentes populações da microflora;
- manutenção de uma estrutura favorável ao enraizamento das plantas em profundidade, o que permite a exploração de um grande volume de solo;
- minimização das perdas, quer seja:
- por erosão, graças à proteção do solo pela cobertura vegetal permanente;
  - por lixiviação, graças à estabilização das argilas no complexo argilo-húmico;
  - por lixiviação dos sais solúveis, graças à reciclagem dos nutrientes pelas «bombas biológicas», plantas com sistema radicular que se desenvolve em profundidade (em particular durante a estação seca para captar água);
  - por volatilização ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$ , etc.), graças à cobertura vegetal (temperaturas tamponadas) e ao funcionamento aeróbio da microflora num meio bem arejado, etc.

A capacidade de limitar essas perdas depende no entanto dos sistemas PDCV estabelecidos. Os melhores sistemas, que combinam uma muito alta produção de biomassa ao longo de todo o ano (e em particular nos picos de mineralização), o uso de plantas com sistemas radiculares muito profundos (em particular na estação seca) e os aportes de fertilizantes minerais nas plantas de cobertura (com sistema radicular profundo) em vez de na cultura, têm níveis de perda muito baixos, quase nulos. Além de melhorar a fertilidade do solo, algumas coberturas vegetais (gramíneas do gênero *Brachiaria* e leguminosas do gênero *Cassia* e *Stylosanthes* em particular) permitem desempenhar (através da sua elevada produção de biomassa, mesmo sob condições de elevada acidez, a qual toleram muito bem) uma função de neutralização da acidez (e portanto o alumínio), mesmo em solos ferralíticos, os mais desaturados.

No entanto, ao contrário de um ecossistema florestal natural, sem qualquer saída de nutrientes do sistema quando não é explorado, um ecossistema cultivado em PDCV sofre perdas de nutrientes por exportação das produções. A gestão da fertilidade passa portanto por um retorno ao sistema (solo + fitomassa) dos elementos exportados, sob a forma orgânica (estrupe, compostagem) ou mineral (fertilizantes químicos).



### 3.4 Alimentação das plantas (em nutrientes)

#### Alimentação irregular e desequilibrada em sistemas convencionais

##### A nutrição das plantas

O carbono (42 a 50%), o hidrogênio (6%) e o oxigênio (42 a 44%), resultantes da fotossíntese a partir do dióxido de carbono e da água, representam em média mais de 95% da matéria seca da planta. O nitrogênio representa 1 a 2% dessa matéria seca, e provem diretamente ou indiretamente do ar, fixado por via biológica (bactérias) ou química (fertilizantes nitrogenados).

Excluindo parte da porção de enxofre (0,4% das plantas) que provem também do ar (SO<sub>2</sub>), todos os elementos minerais das plantas provêm do solo. O C, O, H, N e S, o potássio (2 a 2,5%), o cálcio (1 a 1,5%), o fósforo (0,4%) e o magnésio (0,4%), ou seja, os macronutrientes principais, constituem mais de 99% da matéria seca das plantas. Os outros macroelementos (Cl, Na, Si) e os oligoelementos (B, Cu, Mn, Fe, Mo, Co, etc.) representam menos de 1% da matéria seca total. Todos estes elementos minerais (cations ou anions) são absorvidos na solução do solo pelas raízes. Eles são solúveis e, portanto, assimiláveis pelas plantas, na sua forma oxidada (caso do N, P, S, Ca, Mg e Se), ou quelatada (para os outros).

Na agricultura convencional, a nutrição das plantas é altamente dependente dos aportes externos de nutrientes. Os aportes no solo sob a forma orgânica (estrume, excrementos de animais, compostagem) permitem limitar as perdas de matéria orgânica do sistema e aportar nutrientes às plantas de uma forma relativamente regular. No entanto, estes são muitas vezes difíceis de gerir (disponibilidade, dificuldades de transporte e ao espalhar, etc.). Quando, como muitas vezes na agricultura convencional, esses aportes são feitos principalmente na forma de fertilizantes minerais (mais fáceis de manusear), a disponibilidade de nutrientes para as plantas é muito irregular.

Observa-se um pico após as aplicações (o que leva a perdas por lixiviação e escoamento superficial de água) e posteriormente carências. O equilíbrio desta alimentação das plantas está também dependente dos aportes e é difícil de alcançar.

#### Alimentação regular e equilibrada em ecossistemas cultivados em PDCV

A gestão dos sistemas em PDCV permite aumentar rapidamente a fertilidade do solo e, em particular a quantidade de nutrientes disponíveis para as culturas. Eles permitem melhorar a sua alimentação em geral.

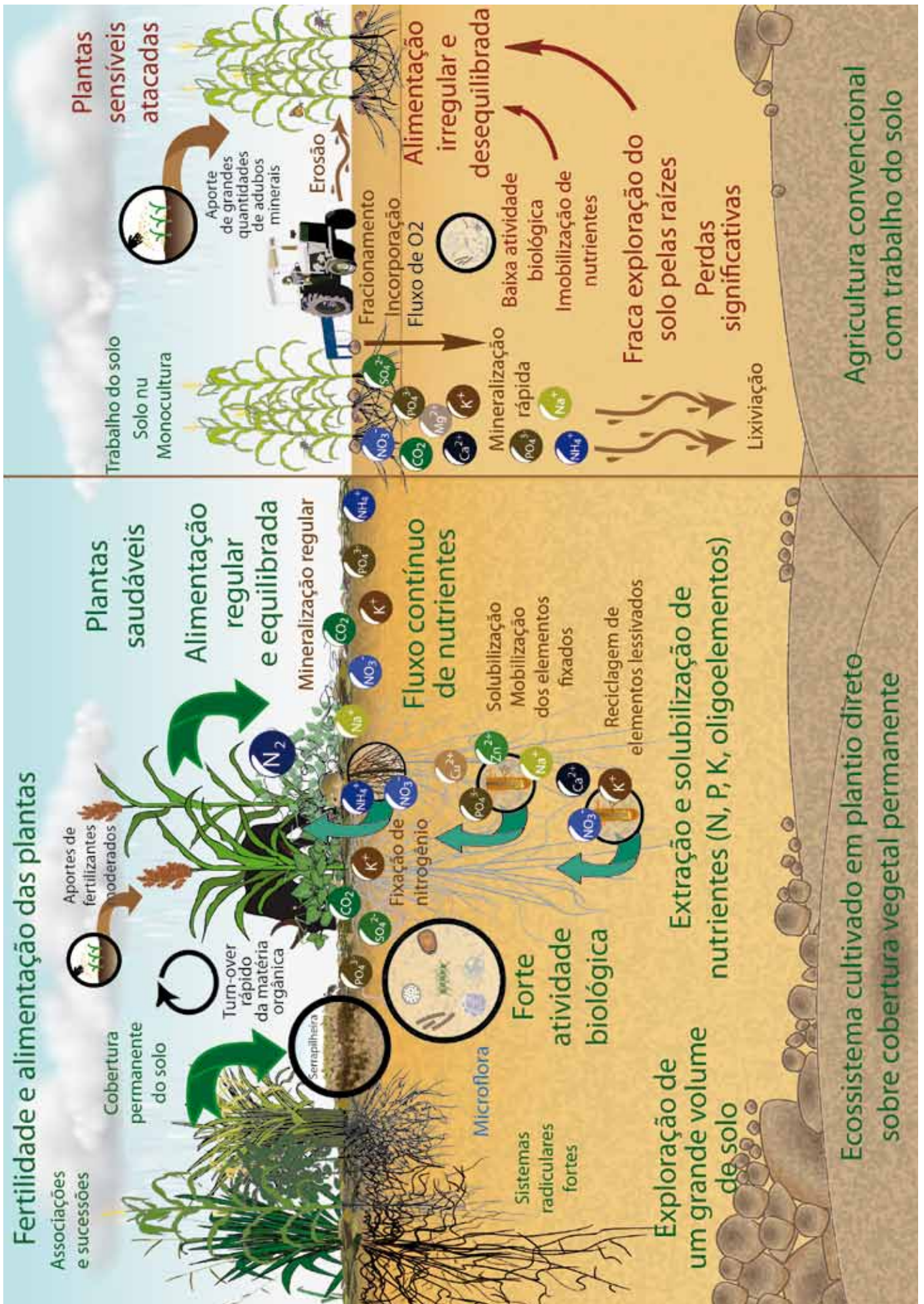
Estes sistemas permitem em particular uma alimentação regular e equilibrada das plantas graças à decomposição e mineralização progressivas da biomassa, obtidas graças a:

- uma regularidade dos aportes de fitomassa;
- uma variedade na qualidade dos aportes, com velocidades de mineralização diferenciadas das plantas usadas para formar as coberturas vegetais. Uma cobertura à base de leguminosas mineraliza-se rapidamente (especialmente as suas folhas muito ricas em nitrogênio) e restitui ao solo os nutrientes que podem ser usados diretamente pelas culturas seguintes, desde o início do seu ciclo. Em contrapartida, as gramíneas com relação C/N e teores de lignina e de polifenóis elevados, em particular aquelas com grandes caules (sorgo, milho, milheto) decompõem-se lentamente e libertam nutrientes tardiamente, permitindo a alimentação das culturas seguintes vários meses após o seu aporte à serrapilheira;
- uma não perturbação do solo que permite manter a proteção das camadas superiores da serrapilheira, enquanto as camadas em contato com o solo são mineralizadas. Além do seu papel fundamental nos processos de mineralização da matéria orgânica, que permite uma alimentação regular das plantas, a microflora (e em particular bactérias, micorrizas e tricodermas) aumenta a quantidade de nutrientes acessíveis às plantas (aumento muito grande da superfície de trocas, como nas associações simbióticas com micorrizas, solubilização pelas bactérias, etc.).

### 3.5. Balanço hídrico (e alimentação das plantas em água)

#### Baixa eficiência do uso de água pelos sistemas convencionais

As práticas convencionais, com aração e solo nu, geram um escoamento superficial de água importante, uma fraca infiltração da água (devido à perda rápida de macroporosidade reconstituída pela aração) e uma elevada evaporação (ligada à elevada temperatura do solo à superfície).



### Fertilidade e alimentação das plantas

Associações e sucessões

Cobertura permanente do solo

Aportes de fertilizantes moderados

Turn-over rápido da matéria orgânica

Microflora

Forte atividade biológica

Fluxo contínuo de nutrientes

Solubilização e mobilização dos elementos fixados

Reciclagem de elementos lixiviados

Extração e solubilização de nutrientes (N, P, K, oligoelementos)

Exploração de um grande volume de solo

Plantas saudáveis

Alimentação regular e equilibrada

Mineralização regular

Plantas sensíveis atacadas

Aporte de grandes quantidades de adubos minerais

Erosão

Alimentação irregular e desequilibrada

Baixa atividade biológica

Imobilização de nutrientes

Fracca exploração do solo pelas raízes

Perdas significativas

Lixiviação

Ecosistema cultivado em plantio direto sobre cobertura vegetal permanente

Agricultura convencional com trabalho do solo

A baixa microporosidade não é propícia a um bom armazenamento de água no solo, o que faz com que a reserva de água seja baixa. Além disso, a criação frequente de uma crosta de aração, devido ao trabalho repetitivo do solo, constitui um obstáculo ao enraizamento das plantas em profundidade. O volume de solo explorado pelas raízes é baixo e, conseqüentemente, a reserva útil de água é muito fraca.

Em tais condições, a hidratação das plantas depende muito da regularidade dos aportes de água. Em cultura de sequeiro, sem acesso à irrigação, o crescimento das plantas é rapidamente limitado depois de alguns dias sem chuva, especialmente durante as fases sensíveis das culturas, como a floração

### Otimização do uso da água pelos sistemas em PDCV



*Elevada produção em solos arenosos em meio semi-árido*

Nos sistemas PDCV, a cobertura vegetal permite reduzir significativamente o escoamento de água superficial e deixa mais tempo para que a água se infiltre. Além disso, a infiltração é rápida graças à boa macroporosidade criada e mantida pela prática do plantio direto. Essa infiltração rápida permite evitar o alagamento em caso de forte precipitação (efeito «descarga de água»).

A microporosidade igualmente criada e mantida pelas práticas PDCV oferece ao solo uma grande capacidade de armazenamento (o que limita a lessivagem, apesar da elevada infiltração). Uma elevada infiltração e uma capacidade de armazenamento elevada conduz à formação de uma reserva de água significativa. Essa reserva de água é facilmente acessível às plantas, que desenvolvem, no PDCV, sistemas radiculares profundos,

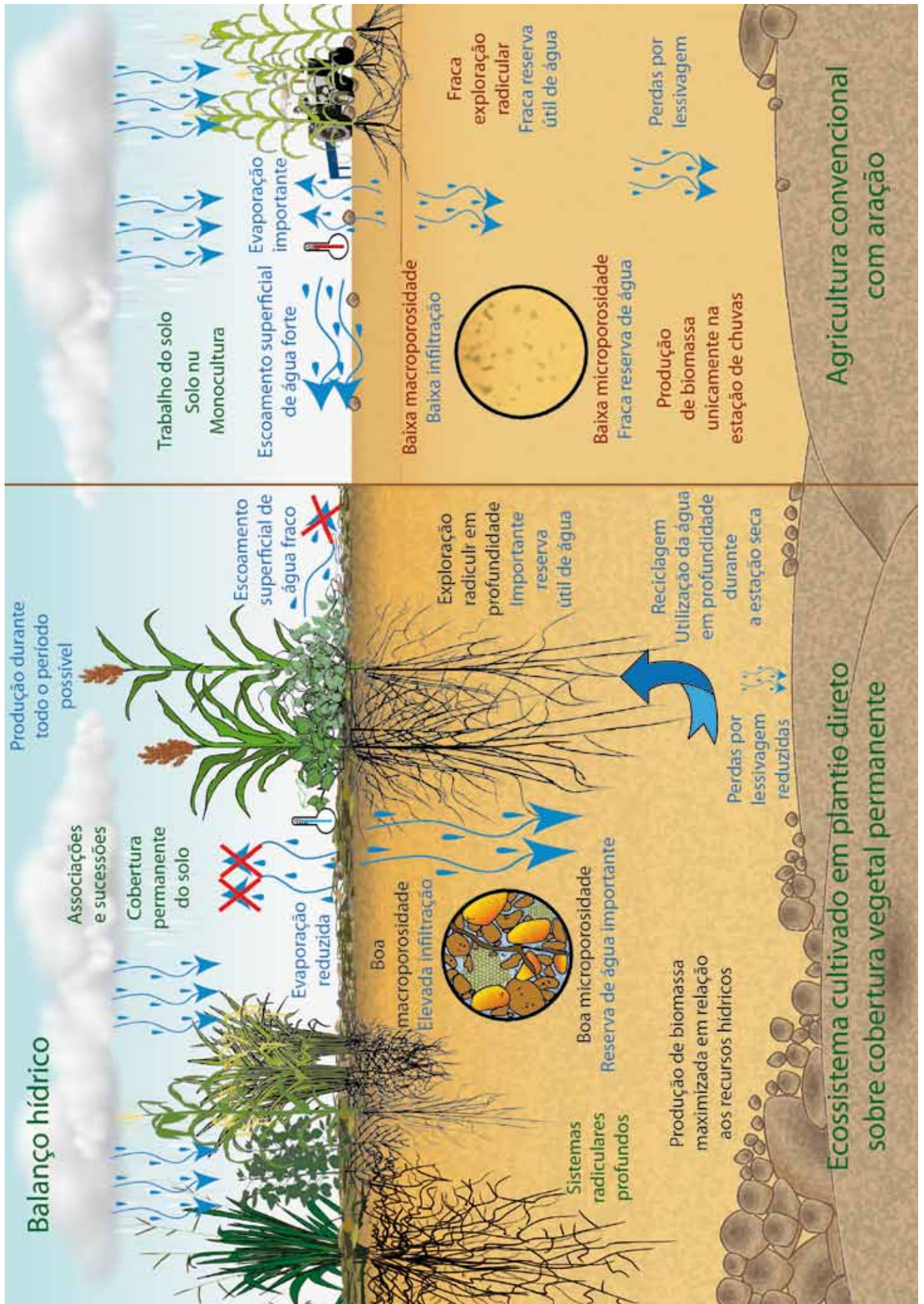
num solo bem estruturado. A reserva útil de água é conseqüentemente muito importante. Além de reduzir as perdas por escoamento de água superficial, o plantio direto permite reduzir as perdas de água por:

- redução da evaporação através da cobertura vegetal;
- redução das perdas por lessivagem, devido à utilização de água em profundidade pelos sistemas radiculares profundos, especialmente em períodos secos (subidas capilares);

Os riscos climáticos são assim tamponados: redução das perdas, reservas significativas utilizadas em caso de período de seca e infiltração rápida em períodos de elevada pluviosidade. Além disso, o plantio direto permite semear as culturas desde as primeiras chuvas úteis e assim deslocar o ciclo das culturas para o período mais favorável (o que é particularmente interessante em climas com estação seca longa). Finalmente, a condensação do orvalho é muito maior numa cobertura vegetal (maiores superfícies de intercessão) do que em solo nu. Estas «precipitações ocultas» podem contribuir significativamente para a alimentação das plantas em água em meios com baixa pluviometria, mas elevada umidade do ar (litorais, por exemplo).

Conseqüentemente, as plantas têm uma alimentação em água mais regular, sem excessos importantes ou seca prolongada, e o período que permite uma boa hidratação das plantas é amplo. As culturas tornam-se possíveis em plantio direto em zonas agroecológicas onde estas não poderiam se desenvolver com as técnicas convencionais.

Para além de uma melhor hidratação das culturas, uma boa gestão dos sistemas PDCV deve permitir otimizar a produção de biomassa (essencial para o bom funcionamento dos PDCV) em relação à quantidade de água disponível em uma parcela (quer seja resultante da chuva ou da irrigação). A água armazenada num solo bem estruturado é portanto utilizada tanto quanto possível pelas plantas para produzir em períodos «marginais» (chuvas aleatórias, dificilmente utilizáveis pelas culturas) como em estação seca (graças ao seu sistema radicular profundo e ao uso da capilaridade) uma elevada biomassa que alimenta a serrapilheira e melhora o funcionamento do solo e dos sistemas conduzidos em PDCV. A produção de biomassa na estação seca permite aumentar significativamente a produção total e é especialmente interessante quando acontece num período de baixa mineralização, com um diferencial «produção - perdas» muito positivo, e que permite uma cobertura do solo muito boa para a cultura seguinte, mesmo que ocorra depois de uma longa estação seca.





### 3.6. Saúde das plantas

#### *Saúde das plantas em agricultura convencional*

Quase todas as práticas da agricultura convencional, com uma visão a curto prazo, conduzem rapidamente a um enfraquecimento das plantas e ao aumento da sua susceptibilidade ao ataque de insetos e às doenças. A baixa atividade biológica, ligada em particular à perturbação do solo, à redução da taxa de matéria orgânica, à utilização de pesticidas, e à fraca restituição de matéria orgânica ao solo, conduzem a:

- uma alimentação irregular e desequilibrada das plantas (em particular com carências em oligoelementos);
- uma diminuição das defesas naturais (sem produção de antibióticos naturais e elicitores pela microflora).

#### **A teoria da trofobiose**

Na sua teoria da trofobiose, Chaboussou (1985) explica que a suscetibilidade das plantas aos insetos e doenças (fungos, bactérias e vírus) é acima de tudo o resultado de um desequilíbrio nutricional. Um mau funcionamento da síntese de proteínas conduz à acumulação, nos tecidos das plantas, de aminoácidos livres (em particular a asparagina), de açúcares redutores e de nitrogênio mineral. Esses elementos solúveis são a base da alimentação dos insetos, fungos, bactérias e vírus que, quando os têm à disposição, desenvolvem-se melhor e mais rapidamente. Quando em elevada concentração, estes elementos solúveis tornam as plantas suscetíveis aos ataques, enquanto que, em plantas que contêm pequenas quantidades desses elementos básicos para a sua alimentação, as pragas desenvolvem-se pouco.

O desequilíbrio fisiológico da planta, com domínio da proteólise sobre a síntese proteica, depende do seu estado fisiológico, mas está principalmente relacionado com:

- a agressão da planta pelos pesticidas: inseticidas, fungicidas e sobretudo herbicidas que perturbam a síntese proteica das plantas (a sua seletividade nunca é absoluta);
- uma fertilização mineral desequilibrada, em particular nos aportes de nitrogênio e em caso de falta de potássio;
- carências em oligoelementos (Mn, Cl, B, que são ativadores de enzimas e Cu, Fe, Zn e Mo, que são componentes de enzimas);
- estresses hídricos (inundações, seca).

Estes desequilíbrios nutricionais (agravados durante os aportes de fertilizantes minerais, em particular o nitrogênio), e o uso de herbicidas para o controle de ervas daninhas (maior necessidade quando as culturas crescem lentamente), conduzem a um mau funcionamento fisiológico das plantas. O processo de formação de proteínas, em particular, é perturbado, levando à acumulação de aminoácidos livres, de açúcares redutores e de nitrogênio mineral nos tecidos. Esses elementos são o substrato privilegiado para diversas pragas que encontram nessas plantas enfraquecidas condições muito favoráveis ao seu desenvolvimento. O desequilíbrio nutricional das plantas favorece consequentemente a pululação de insetos e as epidemias. Frente a estas condições de ataques severos às plantas, a utilização de pesticidas para tentar reduzir o número de agressores é a «resposta» técnica mais fácil (apesar de cara e potencialmente poluente) na agricultura convencional.

Estas «soluções» químicas têm uma certa eficiência a curto prazo (o que permitiu o seu rápido desenvolvimento apesar de seu custo significativo), mas apresenta numerosos inconvenientes a médio prazo, incluindo:

- os riscos de poluição;
- a ruptura dos equilíbrios ecológicos no sistema, através da destruição de predadores de insetos parasitas;
- a destruição da vida do solo, levando a uma redução da disponibilidade de nutrientes e, consequentemente, causando desequilíbrios nutricionais e privando as plantas de proteção pela microflora (tricoderma, etc.);
- a perturbação da síntese proteica das plantas pelos pesticidas.

Consequentemente, a sensibilidade das plantas aumenta e o desenvolvimento de pragas é favorecido. A médio prazo, a «solução» química é apenas uma forma de aumentar os problemas, o que explica as dificuldades da agricultura convencional em obter culturas saudáveis.

#### *Saúde das plantas em plantio direto sobre cobertura vegetal permanente*

A saúde das plantas cultivadas em sistemas PDCV é assegurada de forma integrada por:

- uma alimentação (em água e nutrientes) equilibrada e regular. A elevada reserva útil de água, o armazenamento de nutrientes na forma orgânica, a mineralização regular, a mobilização dos elementos fixos no solo,

a solubilização desses nutrientes (ação dos microrganismos, pH e potencial redox do solo favoráveis) fazem com que as plantas tenham à sua disposição água e nutrientes, incluindo oligoelementos, que estas podem retirar facilmente do solo ao longo de todo o seu ciclo de vida. As plantas bem alimentadas (alimentação regular e equilibrada, em quantidade suficiente) têm um bom funcionamento fisiológico, são muito saudáveis e pouco atacadas por pragas. O arroz, por exemplo, é remarcavelmente saudável após *Stylosanthes* e é muito pouco afetado pela brusone após uma associação capim pé-de-galinha + crotalaria;

- uma produção pelos microrganismos (bactérias e fungos do solo) de uma série de substâncias: antibióticos (produção de *Pseudomonas sp.* contra *Fusarium sp.*, podridão das raízes, etc.), hormônios de crescimento, elicitores (que reforçam as defesas imunológicas naturais contra *Xanthomonas campestris*, *Pseudomonas syringae*, *Colletotrichum lindemuthianum*, etc.). A incidência de doenças fúngicas como a fusariose, a podridão das raízes (*Rhizoctonia sp.*), o tombamento (*Pythium sp.*) é fortemente reduzido em solos com adubos orgânicos, nos quais se desenvolve uma elevada atividade microbiana, como no plantio direto sobre cobertura vegetal permanente;
- a colonização por micróbios (bactérias e fungos) e nematodes que destroem os propágulos dos patógenos (esporos de *Cochliobolus sp.* por exemplo);
- a criação de condições pouco favoráveis ao desenvolvimento de bactérias patogênicas (meio bem arejado, em particular) e a eliminação da transmissão de bactérias patogênicas, do solo para as folhas, através do efeito «splash» (efeito de gotas de água que batem no solo, projetando fragmentos de solo contaminado sob as folhas);
- a proteção das plantas contra os nematodes fitoparasitas através das micorrizas;
- a utilização de misturas de espécies (culturas associadas) e/ou de variedades: as variedades/espécies resistentes são menos afetadas e permitem limitar a transmissão de doenças às variedades menos resistentes (mas usadas devido ao seu elevado potencial de produção);
- a utilização racional de herbicidas (e sempre que possível, a não utilização destes produtos), de forma a perturbar o mínimo possível a fisiologia das plantas (aplicação antes das culturas, sobre uma cobertura vegetal espessa, em baixas doses, etc.).

Os tratamentos com fungicidas são reduzidos, tanto quanto possível, devido ao seu efeito devastador na microflora do solo (que contrariamente tem efeito muito positivo na alimentação e na saúde das plantas). Eles limitam-se ao tratamento de sementes (principalmente leguminosas), quando necessário. O tratamento da cobertura vegetal faz-se com doses baixas, unicamente quando for de absoluta necessidade, o que pode ser o caso nos primeiros anos, antes que o conjunto de efeitos benéficos do PDCV se faça sentir.

O uso de produtos biológicos para reforçar as defesas naturais das plantas (elicitores) também é possível.

Além da alimentação equilibrada das culturas, a qual reduz fortemente a susceptibilidade das plantas, o controle de pragas, principalmente pragas de insetos, é feito de acordo com os princípios da luta integrada, através:

- da reconstituição de um equilíbrio ecológico com os predadores naturais dos insetos prejudiciais;



*Libélula comendo uma cigarra*

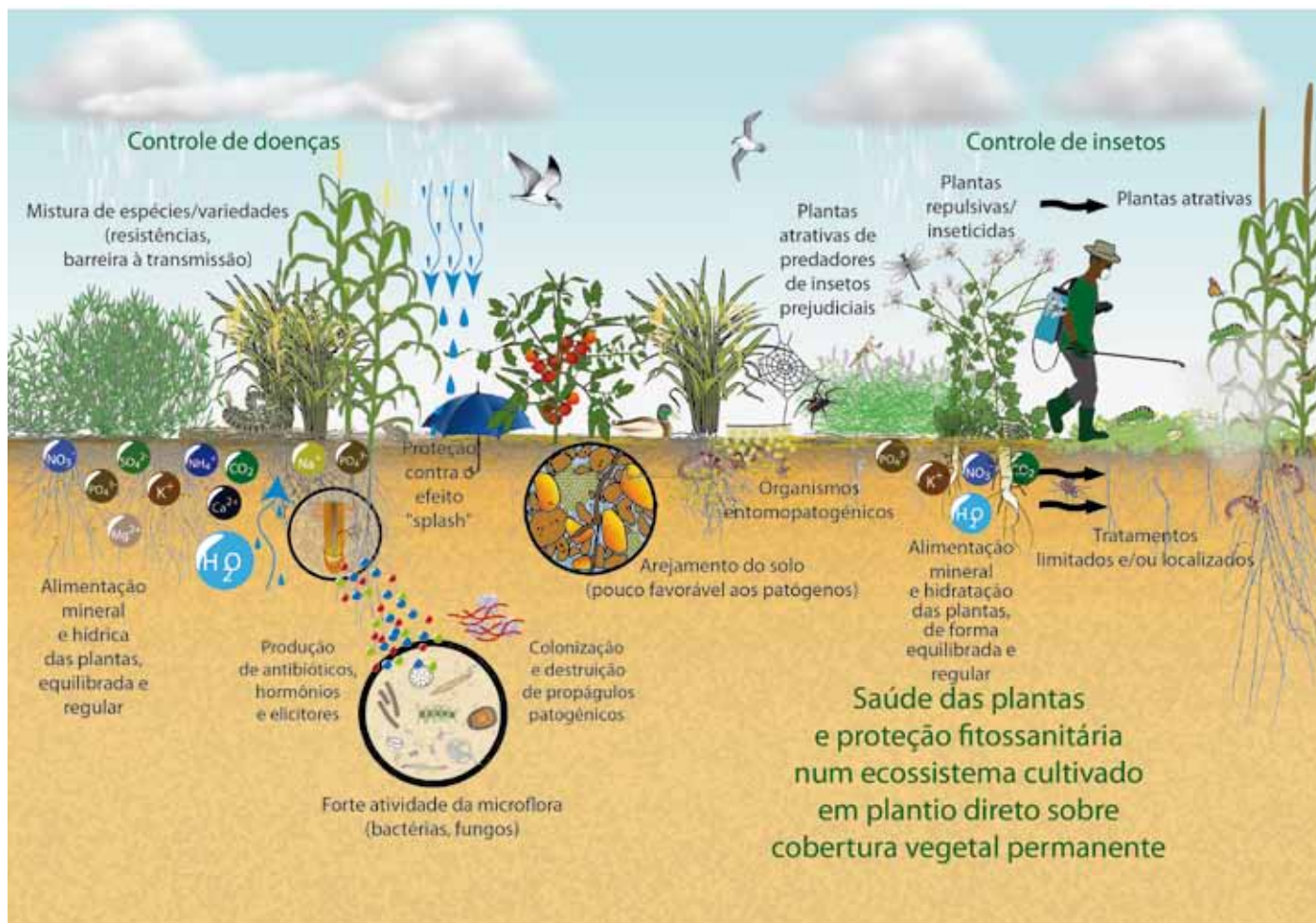


Lagarta atacada por um fungo entomopatogénico

- da inoculação com organismos entomopatogénicos (fungos como *Metharizium spp.* ou *Beauveria spp.*; bactérias como *Bacillus thuringiensis*; nematodes como *Steinematidae sp.*) que são colocados em condições muito favoráveis ao seu desenvolvimento; e/ou
- da utilização de plantas que produzem substâncias insecticidas ou repulsivas. A ervilhaca peluda e o nabo forrageiro, por exemplo, são utilizados em Madagascar para reduzir a pressão dos *Heteronychus sp.* e o género *Desmodium* é conhecido por repelir as brocas. Por outro lado, as plantas atrativas de certos insetos (como o *Arachis pintoii*, que atrai percevejos, milho para os grilos ou o género *Pennisetum* para as brocas) são usados para «afastar» os predadores da cultura (técnica «Push-Pull»). Um insecticida é aplicado localmente sobre estas plantas atrativas quando a infestação de insetos é elevada.

Esses princípios de luta integrada, que não são específicos de sistemas PDCV, encontram nesses sistemas as condições que facilitam a sua implementação (plantas melhor alimentadas, e por isso, menos susceptíveis, reconstrução dos equilíbrios ecológicos favorizada pela baixa perturbação, biodiversidade, etc.) ou que aumentam os efeitos benéficos (condições muito favoráveis para o desenvolvimento de organismos inoculados, etc.). Contrariamente, os sistemas convencionais complicam a sua implementação e limitam a sua eficácia.

Se a pressão das pragas é muito forte (em particular nos primeiros anos, tempo necessário para que a melhoria dos solos permita a alimentação equilibrada das plantas e que um equilíbrio ecológico se tenha restabelecido), a utilização de pesticidas pode ser necessária para conduzir certas culturas. No entanto, é preferível, nesses primeiros anos, evitar o cultivo de plantas particularmente susceptíveis às pragas presentes, o que permite limitar o uso de pesticidas. Tal favorece o retorno rápido de um equilíbrio ecológico, e evita o desequilíbrio dos processos de síntese proteica e o aumento da sensibilidade das plantas.



### 3.7. Controle de ervas daninhas

#### Controle de ervas daninhas em agricultura convencional

O controle de ervas daninhas em agricultura convencional depende do trabalho de preparação da terra e da utilização de herbicidas seletivos das culturas (quando estão disponíveis). Esta abordagem permite um bom controle das principais ervas daninhas desde que estas não tenham desenvolvido resistências aos herbicidas utilizados. A agricultura convencional «adapta-se» a essas resistências através do desenvolvimento, pela indústria química, de substâncias ativas cada vez mais eficientes, mas também cada vez mais caras e, muitas vezes, poluentes.

Na ausência desses herbicidas (muitas vezes indisponíveis, ou com custos proibitivos em pequenas áreas de agricultura familiar no sul do país), o retirar de ervas daninhas manualmente das parcelas é muitas vezes a única prática acessível. No entanto, esta implica tempos de trabalho consideráveis. O controle de ervas daninhas é difícil de realizar a tempo, o que faz com que a densidade vegetativa seja muitas vezes um dos primeiros fatores que limitam a produção nessas condições.

#### Controle de ervas daninhas em PDCV

Em PDCV, a função do controle de ervas daninhas é assegurada, em prioridade, pela inserção nos sistemas de cultivo de plantas (culturas ou plantas de cobertura) capazes de dominar naturalmente a maioria das plantas invasoras, que produzem uma elevada biomassa (alimentando assim a cobertura vegetal) e que são facilmente manejáveis. Este domínio das ervas daninhas faz-se por competição pela luz (sombreamento), competição pelos nutrientes e/ou efeitos alelopáticos (produção de substâncias que interferem com a germinação e/ou o crescimento da planta, verdadeiros herbicidas naturais). Essas substâncias são libertadas pelas plantas vivas (exsudatos radiculares, em particular) ou durante a sua decomposição. As plantas, como a aveia ou o trigo sarraceno, são particularmente eficazes na «limpeza» das parcelas infestadas, graças ao seu efeito alelopático muito forte. As coberturas à base de espécies do género *Sorghum* permitem controlar a infestante *Cyperus rotundus* (capaz de se desenvolver no meio de palhadas). Uma planta como o *Stylosanthes guianensis* controla perfeitamente a striga através da sua espessa palhada e dos seus efeitos sobre a germinação de sementes (esta desencadeia a germinação, mas não é parasitada pela striga, cuja plântula morre rapidamente por falta de hospedeiro).

Estas plantas, que controlam naturalmente as ervas daninhas, permitem reduzir gradualmente o seu banco de sementes no solo, e diminuir a pressão sobre as culturas seguintes.

O controle dessas plantas pode ser feito mecanicamente (corte, rolamento, decapagem manual) ou quimicamente (pelo uso de herbicidas totais ou seletivos) em função das suas características (ver Volume II. Capítulo 2). As plantas anuais (aveia, ervilhaca, mucuna enana, etc.) são em geral facilmente controladas por simples corte ou rolamento, ou ainda com herbicidas, em doses baixas. As plantas perenes (*Brachiaria spp.*, *Cynodon dactylon*, *kikuyu*, etc.) exigem doses mais elevadas de herbicidas, e são geralmente mais difíceis de controlar mecanicamente, com exceção do *Stylosanthes guianensis* que, embora perene, pode facilmente ser controlado por simples corte junto ao solo. Algumas plantas também podem ser controladas através de aportes de ureia (no caso do trevo, por exemplo), submersão (nos arrozais) ou naturalmente pela geada (clima temperado ou subtropical de altitude).

Esse controle pode ser total, no caso de coberturas mortas, ou temporário/localizado nas coberturas vivas, que só são controladas durante o tempo da cultura e/ou nas linhas da cultura, e que recolonizam a parcela após a colheita.

O tipo de plantas a serem incorporadas nas sucessões/associações de culturas depende, portanto, dos tipos de erva daninha, das culturas a implementar (algumas plantas podem ter efeitos alelopáticos sobre algumas culturas) e dos meios disponíveis para controlar as plantas de cobertura.



Controle de ervas daninhas pela cobertura vegetal  
Arroz depois de *stylosanthes*

## Os herbicidas em PDCV

Nos sistemas PDCV instalados, com elevada produção de biomassa, o uso de herbicidas é limitado à limpeza da parcela (se necessário) antes do plantio e/ou ao controle das coberturas vegetais para aquelas que não podem ser controladas mecanicamente. Neste caso, o controle é feito através do uso de herbicidas totais, aplicados antes das culturas, geralmente em doses baixas, sobre um solo coberto por uma elevada biomassa, o que reduz o seu impacto sobre as culturas e os riscos de poluição. O uso de herbicidas «seletivos» das culturas é limitado tanto quanto possível, especialmente porque a eficácia de herbicidas de pré-emergência é baixa sobre uma palhada, com um solo rico em matéria orgânica. Um herbicida de pós-emergência pode eventualmente ser utilizado (se disponível) em caso de «acidente», quando uma cobertura insuficiente controlou mal as ervas daninhas. Durante o primeiro ou primeiros anos de preparação dos sistemas PDCV, antes de se obter uma biomassa suficiente para controlar as ervas daninhas, o uso de herbicidas é muitas vezes necessário. No entanto, tentamos limitar tanto quanto possível o seu uso, cultivando primeiro plantas relativamente fáceis de limpar (como o milho), que associamos às plantas de cobertura, as quais controlam rapidamente as ervas daninhas.

Na próxima safra, a cobertura vegetal (morta ou viva, obtida a partir de resíduos de colheita e/ou de plantas de cobertura) desempenha um papel de sombreamento e pode ter um efeito alelopático. Suficientemente espessa, ela impede a emergência da maioria das ervas daninhas.

Além disso, a não perturbação do solo evita trazer à superfície sementes de ervas daninhas presentes na terra em condições favoráveis de germinação, (por isso a importância de controlar o plantio de forma a evitar «poluir» a parcela, ao subir sementes de ervas daninhas para a superfície do solo). Em tais condições, apenas as sementes resultantes da frutificação na parcela, das plantas que não foram controladas a tempo, e aquelas que foram transportadas pelo vento e animais (principais fontes de infestação em PDCV), são capazes de germinar.

O controle de ervas daninhas em PDCV passa, portanto e antes de mais nada, pela cobertura vegetal. O ano «zero» da preparação dos PDCV deve permitir o controle total das ervas daninhas perenes e de formar a cobertura vegetal espessa que assegurará o controle de plantas invasoras anuais no futuro. Durante o ano de preparação dos PDCV, o controle de ervas daninhas é garantido «classicamente» pela aração e uso de herbicidas seletivos das culturas, aos quais se junta a implementação de plantas associadas, que vão ajudar a reduzir a pressão das ervas daninhas e a produzir a cobertura vegetal para a estação seguinte.



O controle de ervas daninhas, nos anos seguintes, depende principalmente da quantidade e da qualidade da biomassa produzida e mantida no solo e do estoque de sementes de ervas daninhas. O controle de ervas daninhas eventualmente emergidas através da cobertura (insuficiente) exige ou o uso de herbicidas seletivos (por vezes difíceis de encontrar, especialmente em sistemas que associam diversas plantas com características diferentes), ou o uso de um herbicida total, de forma localizada (com uma proteção ou uma vassoura de aplicação do herbicida por contato), ou o arrancamento de ervas daninhas manualmente (tarefa longa a realizar). O uso da enxada é desaconselhado, pois mesmo que superficial, modifica a dinâmica da matéria orgânica, acelera a decomposição da cobertura e coloca as sementes de ervas daninhas numa posição favorável à sua germinação.

### 3.8. Temperatura do solo

#### Temperatura do solo em agricultura convencional

Na agricultura convencional, o solo nu é exposto às radiações do sol (incluindo os raios UV muito prejudiciais aos micro-organismos). Esta exposição permite um aquecimento rápido do solo (interessante na primavera em meios temperados), mas conduz a uma elevada amplitude térmica e a temperaturas extremas (especialmente em meios tropicais), pouco favoráveis ao desenvolvimento de organismos vivos.

#### Temperatura do solo em PDCV

Nos sistemas PDCV, a cobertura vegetal desempenha o papel de cobertura térmica. Ela protege o solo da radiação solar e limita as perdas de calor por radiação durante a noite. A temperatura do solo sob uma cobertura vegetal é como tal tamponada, e a amplitude térmica é limitada.

Em meio tropical, as temperaturas extremas são assim evitadas, criando condições favoráveis para a atividade biológica concentrada nos primeiros centímetros do solo. No entanto, em meios temperados, esta cobertura pode desacelerar o aquecimento do solo na primavera e provocar um atraso na brotação, e uma fraca atividade biológica. Mesmo assim, é possível «jogar» no albedo da cobertura: ao contrário de uma cobertura clara, que reenvia uma parte importante da radiação, uma cobertura escura permite conservar a energia e acelera o aquecimento do solo. Também se pode descobrir somente a linha de plantio (rodas em estrela em semeadoras de plantio direto, localizadas à frente dos discos abridores) para que o solo aqueça mais rapidamente. Além disso, em solos alagados, uma melhor drenagem interna, obtida pelas práticas de PDCV, faz com que a quantidade de água do solo a ser aquecida seja menor do que na prática convencional. O aquecimento do solo necessita de uma energia mais fraca e ocorre mais rapidamente.

### 3.9. Transformação de xenobióticos

#### Poluição pelos sistemas convencionais

Nos sistemas convencionais, os herbicidas e pesticidas são aplicados (por vezes em grande quantidade) em solo nu. Estes podem ser rapidamente fixados pelos colóides do solo e/ou distribuídos pelo escoamento superficial de água, lixiviação e/ou erosão, poluindo o solo, águas subterrâneas e/ou cursos de água vizinhos.

#### Desintoxicação pelos sistemas PDCV

Contrariamente, nos sistemas PDCV, herbicidas e pesticidas são interceptados pela cobertura vegetal que limita também as transferências por escoamento superficial de água e lixiviação. O funcionamento da serrapilheira e do solo sob PDCV permite igualmente a biorremediação de xenobióticos poluentes, degradados como num bio-reator sob o efeito de fungos (tipo basidiomicetos, ostra, *Aspergillus sp.*, etc.) e de bactérias, ou incorporados nos compostos orgânicos menos tóxicos e pouco móveis. As coberturas à base de sorgo são muito eficazes no cumprimento desta função de desintoxicação, em especial pelo seu alto teor em lignina, que fornece um substrato para esses fungos decompositores de lignina. Além disso, as micorrizas desempenham um papel importante na proteção das plantas contra os metais pesados.



Controle total de ervas daninhas pela cobertura vegetal viva - Miho sobre *Arachis repens*

### 3.10. Balanço

#### *O funcionamento do solo em agricultura convencional*

A agricultura convencional baseia-se no trabalho do solo, que tem por objetivo preparar o solo para o estabelecimento das culturas (cama da semente) e reduzir a pressão de ervas daninhas.

A introdução do trabalho do solo num ecossistema para que nele seja plantado uma cultura, tem no entanto como consequência mudanças profundas na dinâmica da matéria orgânica, fundamentais para o funcionamento do ecossistema «solo». Ao acelerar a mineralização, o trabalho do solo aumenta as necessidades em biomassa para manter o nível de matéria orgânica, enquanto que em paralelo, a produção de fitomassa está limitada pela falta de diversidade de culturas e a sua baixa intensidade (monocultura, poucas associações

#### **Impactos negativos das práticas convencionais sobre a atividade biológica**

As práticas convencionais têm muitos impactos negativos sobre os organismos do solo:

- a aração destrói uma parte da macrofauna e cria condições difíceis para os micro-organismos: exposição aos raios UV do sol e elevadas temperaturas à superfície, mau arejamento em profundidade, baixa umidade devido à baixa porosidade, etc.; loss in organic matter related to ploughing and the export of straw (common in conventional system), amounts to a decrease in micro organism nutrients;
- a perda de matéria orgânica devido à aração e à exportação das palhas (frequente em sistemas convencionais), equivale a uma diminuição dos recursos nutritivos para os micro-organismos;
- certos fertilizantes químicos são nocivos para os micro-organismos (cloretos, sulfatos, etc.);
- herbicidas e sobretudo inseticidas e fungicidas têm efeitos muito negativos nos organismos vivos do solo.

ou sucessões). Consequentemente, o trabalho do solo em agricultura convencional conduz a uma perda de matéria orgânica do solo, especialmente porque o solo nu está exposto à erosão.

Esta perda de matéria orgânica é acompanhada por uma diminuição da atividade biológica (por diminuição do substrato orgânico, mas também pela perturbação e colocação do solo a nu), o que conduz consequentemente a:

- lessivagem das argilas, à lixiviação das bases e dos nutrientes e a uma diminuição global da fertilidade;
- desestruturação dos solos, o que amplifica a diminuição da atividade biológica (perda de habitat) e conduz a um enraizamento superficial e a uma má utilização da água e nutrientes pelas plantas;
- degradação da saúde das plantas, devido a:
  - uma má nutrição, irregular e desequilibrada;
  - destruição da microflora (bactérias, micorrizas, trico-dermas, etc.), que já não cumpre o seu papel de «digestão» de nutrientes e não fornece mais às plantas elicitores e antibióticos que ela produz naturalmente; e
  - desequilíbrios ecológicos, permitindo a proliferação de pragas.

Para superar estes novos constrangimentos induzidos pelo trabalho do solo, a agricultura convencional intensiva voltou-se para:

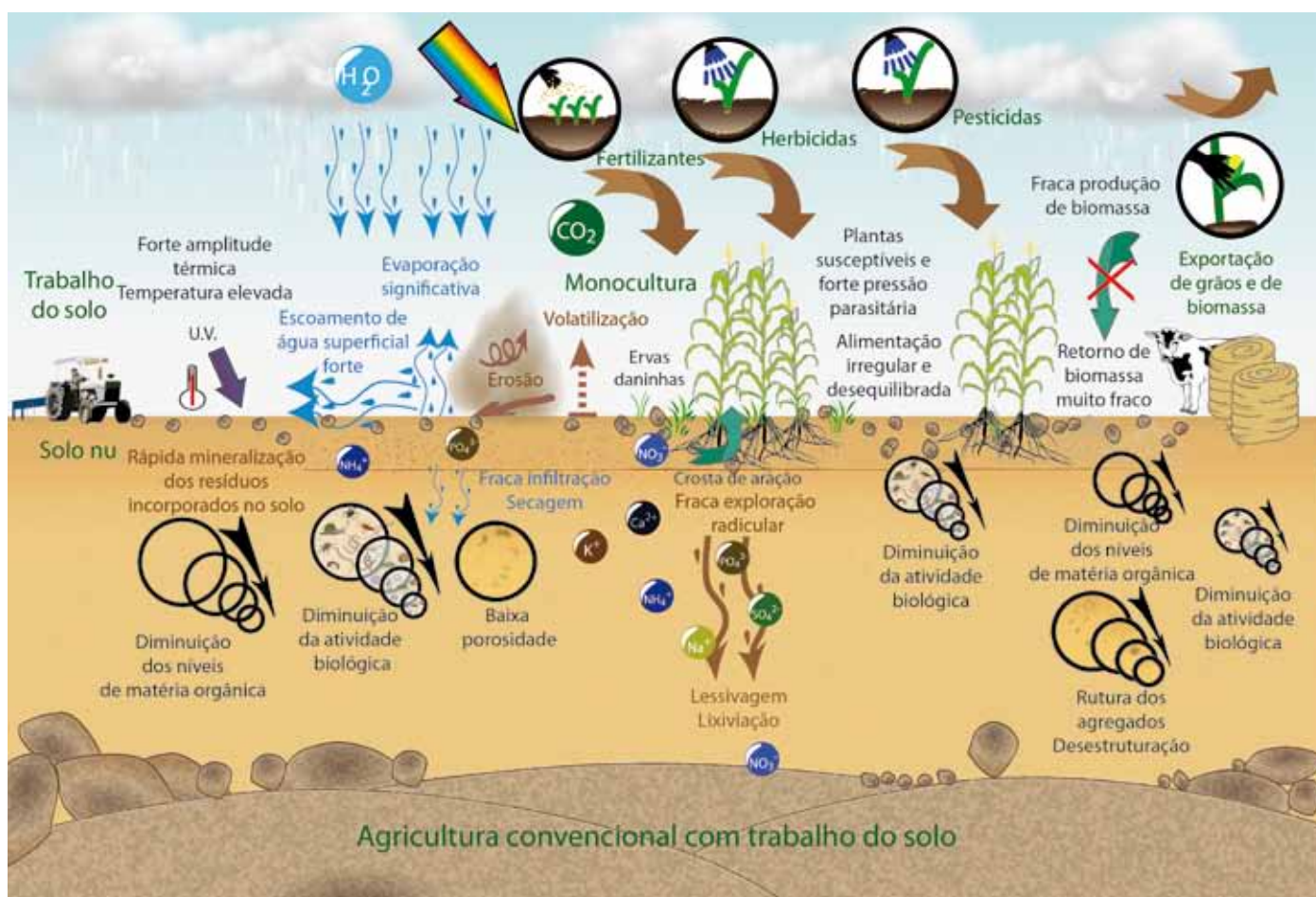
- uma intensificação do trabalho do solo, para compensar (a curto prazo) a desestruturação dos solos, e
- uma abordagem química, para compensar a diminuição da fertilidade química do solo (aportes de nutrientes sob a forma de fertilizantes), controlar as ervas daninhas (uso de herbicidas cada vez mais potentes) e proteger as culturas cujas defesas naturais foram enfraquecidas pela sua má nutrição e a baixa atividade biológica do solo.

Essa abordagem, desenvolvida em climas temperados, tem permitido obter resultados interessantes a curto prazo devido, principalmente, às características desses meios: a mineralização lenta que faz que as perdas de matéria orgânica sejam baixas, a boa fertilidade inicial dos solos que permite uma produção de biomassa relativamente grande, a intensidade moderada das chuvas e, consequentemente, a erosão, o acesso a insumos em condições favoráveis, etc. A médio prazo, a degradação progressiva dos solos e a evolução dos mercados (baixa dos preços de venda, aumento dos preços dos insumos, enquanto que as suas necessidades aumentam) fazem que: i) a implementação de práticas saindo da lógica «química» (luta integrada, fertilização racional) seja difícil, ii) a tentação de aplicar doses crescentes, seja forte; e a agricultura convencional intensiva só pode existir caso seja sustentada por subsídios (condenados a desaparecer).

Os problemas ambientais causados pelo uso excessivo de produtos químicos a colocam também sob questionamento (poluição das águas subterrâneas e rios, perturbação da fauna, resíduos nos produtos, saúde dos utilizadores, etc.).

Transferidas para o meio tropical, sob um clima muito agressivo (mineralização muito rápida, chuva intensa), estas práticas convencionais são catastróficas (com exceção, muito particular, dos arrozais). Estas geram uma erosão intensa e uma perda rápida da matéria orgânica do solo (ainda mais rápida quando os resíduos das culturas são queimados ou exportados do terreno), conduzindo a uma degradação geral dos solos. A subsequente perda de produção faz que os retornos de biomassa ao sistema para manter a fertilidade sejam insuficientes. O ecossistema assim cultivado, com trabalho do solo, entra num ciclo vicioso de degradação, do qual é muito difícil de sair. Muitas vezes, os aportes de matéria orgânica ao solo (restituição de todos os resíduos e aportes de adubação orgânica), são suficientes apenas para abrandar a degradação do solo causada pelo seu trabalho, especialmente quando a erosão é significativa. A opção «química» de compensação dos «danos», muito cara e dificilmente acessível, não está, de todo, adaptada ao meio tropical, mesmo para uma agricultura comercial intensiva. Ela não permite manter a fertilidade do solo, é muito poluente e pouco rentável a médio prazo.

Para a grande maioria dos pequenos agricultores nos trópicos, esta opção «química» nem sequer está acessível (conhecimento, disponibilidade, e sobretudo, o custo dos insumos). As práticas convencionais com trabalho do solo conduzem então a uma degradação mais ou menos rápida, dependendo das condições (clima, fertilidade inicial do solo, declive, uso de fogo, etc.), do que é, muitas vezes, o seu único capital: o solo. Esta degradação do solo é acompanhada por uma quebra tendencial dos rendimentos, até à impossibilidade de produzir culturas mais exigentes (levando a introdução de culturas menos exigentes, mas pouco populares, como a mandioca), e podem mesmo conduzir à obrigação de abandonar a terra. Essas práticas com trabalho do solo apenas aumentam a precariedade dos pequenos agricultores, que já se encontram numa situação delicada, numa economia mundializada.





Um dos «erros» principais da agricultura convencional, que explica em parte a sua «desenfreada corrida» rumo a uma agricultura química (muito rentável para a agro-indústria), é de ter negligenciado a importância da atividade biológica do solo no funcionamento de um ecossistema cultivado. Dessa forma, esta considerou o solo como apenas um suporte físico para as plantas e um reservatório de nutrientes. Ao pensar que a manutenção de boas características físicas e químicas do solo seria suficiente para assegurar a produção vegetal, a agricultura convencional ficou privada de múltiplas funções e serviços ecossistêmicos fornecidos pela macrofauna e microflora do solo, incluindo aqueles indispensáveis à preservação dessas características físicas e químicas (humificação, agregação, bioturbação, etc.). Um solo morto, sem atividade biológica, só pode degradar-se (física e quimicamente). A nutrição da planta, privada da função «digestão» (solubilização de nutrientes), normalmente preenchida pelos micro-organismos do solo, só pode ser feita na forma de «perfusão» pelo aporte de fertilizantes minerais solúveis (para os elementos que a química sabe tornar solúveis), pontuais e muito difíceis de equilibrar.



*Aração manual (mais de 100 dias/ha)  
Terras altas malgaxes*

O desconhecimento da importância da atividade biológica do solo, fez com que as «soluções» técnicas propostas pela agricultura convencional, que supostamente respondiam aos novos constrangimentos, só se dirigia aos sintomas (má nutrição das plantas, doenças e insetos), sem «atacar» as causas dos problemas (degradação biológica dos solos, desequilíbrios ecológicos, etc.). Pior ainda, as «soluções» aportadas pelo «tratamento» a curto prazo desses sintomas (de doenças, carências, etc.), conduzindo muitas vezes ao agravamento das causas, enfraquecendo a microflora do solo (efeitos nefastos do trabalho do solo, dos fertilizantes, dos herbicidas, dos inseticidas e principalmente dos fungicidas), perturbando o funcionamento das plantas (alimentação, síntese proteica, etc.) e destruindo os equilíbrios ecológicos (efeitos dos inseticidas e do trabalho do solo).

Além disso, devido aos constrangimentos econômicos (adaptação aos mercados), mas sobretudo por vontade, consciente ou não, de simplificação do trabalho do agricultor, do agente de extensão rural ou do agrônomo,

uma componente fundamental dos sistemas de cultivo (a natureza das culturas e a sua ordem de sucessão/ associação) perdeu progressivamente o seu papel na gestão agrônoma das parcelas e das propriedades rurais. As «soluções» propostas limitam-se, muitas vezes, a adaptações do itinerário técnico (variedades, pesticidas, fertilizantes, etc.) e negligenciam as possibilidades de «pilotar» os ecossistemas com associações e sucessões de culturas, que influenciam fortemente a matéria orgânica e a atividade biológica do solo.

### *O funcionamento do solo nos sistemas de derruba-e-queima*

Nos sistemas tradicionais de derruba-e-queima, o período de repouso, quando, se é suficientemente longo, permite de recuperar uma parte da fertilidade (física, química e sobretudo biológica) dos solos perdida rapidamente durante os períodos de cultivo com trabalho do solo (e queima), muitas vezes em encostas bastante inclinadas. No entanto, a partir de uma densidade populacional superior a 15 ou 20 habitantes/km<sup>2</sup>, a pressão sobre a terra torna difícil um repouso suficientemente longo para regenerar convenientemente os solos. Acima de 40 hab/km<sup>2</sup>, a pressão sobre a terra é de tal ordem que a regeneração dos solos é muito limitada e não permite mais compensar as perdas. Os solos degradam-se, os rendimentos diminuem e os ciclos de derruba-e-queima são acelerados, agravando num ciclo vicioso, a degradação do solo e a diminuição do rendimento.

### *O funcionamento de um ecossistema cultivado em PDCV: intensificação ecológica*

Ao contrário da agricultura convencional, que provoca uma grande perturbação no ecossistema (o trabalho do solo), o plantio direto sobre cobertura vegetal permanente inspira-se no funcionamento de um ecossistema natural, intensificando-o, sem o perturbar. Assim, a dinâmica da matéria orgânica em PDCV é semelhante à de um ecossistema natural, onde os organismos vivos do solo desempenham um papel fundamental. Em geral, o uso excessivo de energia cultural industrial da agricultura convencional é substituída por um emprego eficaz e ecológico da energia cultural biológica.

A gestão destes sistemas em PDCV baseia-se num modelo de funcionamento integrado desse ecossistema cultivado. Esta procura em primeiro lugar, através de uma elevada produção de biomassa, aumentar os níveis de matéria orgânica do solo (e depois mantê-la a um nível satisfatório) e aumentar a atividade biológica (intensidade e biodiversidade), que são essenciais ao seu bom funcionamento. A pilotagem destes siste-

mas é feita através de plantas que, pela capacidade de produzir uma elevada quantidade de biomassa de qualidade variada e de estimular de forma seletiva a atividade biológica, permitam executar diversas funções agronômicas. O ecossistema «solo», moldado pelas práticas culturais, não se limita a um papel secundário de suporte para as plantas e de reservatório de minerais. Ele desempenha um papel fundamental e preenche várias funções suplementares:

- no armazenamento, mobilização e regulação dos fluxos de nutrientes e água;
- de efeito tampão dos riscos climáticos;
- na regulação de pragas, etc.

Assim, as principais funções agronômicas são asseguradas principalmente pela biodiversidade funcional nos sistemas (que é perdida nos sistemas convencionais). Assegurando ao mesmo tempo a produção de culturas (respondendo às necessidades dos agricultores e às exigências dos mercados), estes sistemas incluem plantas escolhidas para manter as funções ecossistêmicas fundamentais (descompactação do solo, reciclagem e mobilização de nutrientes, controle de ervas daninhas e de insetos, etc.).

As ações técnicas só contribuem para tornar estes sistemas eficientes, permitindo-lhes exprimir o seu potencial. Além disso, o modo de funcionamento dos sistemas PDCV faz que os efeitos no ambiente de eventuais «erros de conduta» (fertilização excessiva ou aplicação de pesticidas em elevadas quantidades) sejam limitados pela cobertura vegetal e pela atividade biológica, contrariamente aos sistemas convencionais, onde tais excessos geram uma elevada poluição.

Os sistemas de cultivo em PDCV são concebidos e adaptados prioritariamente para suspender os principais estrangimentos agronômicos identificados e hierarquizados. Eles dirigem-se ativamente às causas dos problemas, mais do que aos seus sintomas, protegendo (prevenção) e restaurando (correção) os solos e os equilíbrios ecológicos. Eles prestam também uma série de serviços ecossistêmicos, em particular com um impacto muito positivo na área da sequestração de carbono e na redução das emissões de gases de efeito de estufa (enquanto que os sistemas convencionais «perdem» carbono).

Pelo seu próprio conceito, os sistemas PDCV devem evoluir permanentemente para se adaptarem à evolução dos principais estrangimentos (que são progressivamente resolvidos). Como para um ecossistema natural, esta capacidade de evoluir é uma das condições para a sua durabilidade. Para reintroduzir a diversidade necessária ao bom funcionamento agronômico dos solos, somos levados a gerir no tempo e no espaço as populações de plantas que executam vários serviços, em associações ou em sucessões (intra ou inter-anuais).

Uma consequência fundamental é que existe uma grande variedade de sistemas PDCV. Estes sistemas são concebidos para assegurar prioritariamente as funções ecossistêmicas que permitem eliminar os principais obstáculos (compactação, fertilidade, ervas daninhas, pragas, etc.) encontrados numa determinada situação (uma determinada unidade agronômica, numa determinada propriedade rural, ela própria fazendo parte de um terroir). Para uma determinada função ecossistêmica, o impacto dos sistemas PDCV na produção e no ambiente, está, por natureza, relacionado ao sistema de cultura escolhido (com o seu potencial a fazer este tipo de serviço) e das condições da sua realização (que permite ou não a expressão desse potencial).

### Três princípios inseparáveis

Os três grandes princípios fundamentais dos PDCV (sem perturbação do solo, cobertura permanente e diversidade das culturas) são indissociáveis e trabalham em interação, com numerosas sinergias. O sistema na sua globalidade é superior à soma dos seus componentes.

Por exemplo, a preservação de uma cobertura vegetal permanente não é possível se o solo é perturbado e se essa cobertura não é alimentada por uma fitomassa significativa. Além disso, a aplicação de apenas um ou dois desses três princípios não permite manter, e ainda menos, aumentar o estoque de matéria orgânica do solo.

A aplicação «isolada» desses princípios só pode ter um efeito significativo em certas condições muito particulares. Nos meios muito secos, por exemplo, a preservação dos resíduos de colheita, mesmo em pequenas quantidades (1 a 2 t/ha), tem um impacto significativo na infiltração de água e permite melhorar consideravelmente a produção, ao suprimir a principal restrição (hidratação das plantas).

### Funções ainda desconhecidas

Cada planta é capaz de assegurar várias funções e executar diversas funções ecossistêmicas. As funções preenchidas por uma espécie são, no entanto, muito variáveis e permanecem pouco conhecidas. As plantas agem muitas vezes em interação com a microflora estimulada de maneira seletiva pelos exsudatos radiculares. A compreensão destes fenômenos e a descoberta das capacidades das diversas plantas, na prestação de serviços específicos, é uma área de investigação fundamental para melhorar as performances dos sistemas em plantio direto sobre cobertura vegetal permanente.

Os sistemas PDCV mais robustos são os que são capazes de assegurar funções ecossistêmicas esperadas em diversas condições de realização. Pretendemos também tornar estes sistemas tão resilientes quanto possível, isto é, capazes de encontrar um funcionamento e um desenvolvimento normais depois de sofrerem uma perturbação importante. Finalmente, os sistemas PDCV implementados, devem integrar-se da melhor forma nas propriedades rurais, com as limitações e os meios dos agricultores, e responder às suas exigências e necessidades, num dado contexto socioeconômico (exigências e oportunidades dos mercados, limitação de riscos, etc.).

#### 4. Condições de funcionamento dos sistemas PDCV

Os sistemas PDCV baseiam-se fundamentalmente na qualidade e na quantidade de biomassa produzida e restituída à serrapilheira e ao solo (biomassa aérea e radicular). A qualidade da biomassa actua sobre o tipo de funções ecossistêmicas asseguradas, enquanto que, a quantidade influencia diretamente a intensidade dessas funções. Há um limite de aporte de biomassa ao solo, acima do qual, os sistemas funcionam corretamente em PDCV, e abaixo do qual, funcionam mal. Este limiar corresponde à quantidade de matéria orgânica mineralizada. Este varia principalmente em função do clima, da qualidade da biomassa, do solo, e da sua forma de manejo (trabalho do solo ou não). Se os aportes são superiores a este limiar, os solos (e as culturas) beneficiam destes, de maneira mais intensa e mais rápida, quanto maior for o diferencial «biomassa restituída - biomassa perdida por mineralização».

Contrariamente, os sistemas com restituição de matéria orgânica inferior às perdas (como nos sistemas com baixa produção de biomassa e/ou forte exportação desta do sistema, para alimentação animal, em particular) não permitem manter, de uma forma durável, a quantidade de matéria orgânica dos solos. Eles apenas retardam a sua degradação e só asseguram corretamente um número limitado de funções agrônômicas, o que limita o seu desempenho e o seu interesse. Muitas vezes, estes sistemas, que são abrangidos pelo termo genérico de agricultura de conservação, não permitem manter uma cobertura vegetal permanente. Eles não correspondem, portanto, com todo o rigor, à definição de plantio direto sobre cobertura vegetal permanente, que é um tipo particular de agricultura de conservação (e que oferece uma grande variedade de sistemas, baseados num certo número de princípios a respeitar).

#### Uma grande diversidade de sistemas PDCV

Cada sistema PDCV tem um potencial mais ou menos elevado para fornecer diversos serviços ecossistêmicos. Além disso, as condições de realização destes sistemas permitem-lhes ou não exprimir esse potencial.

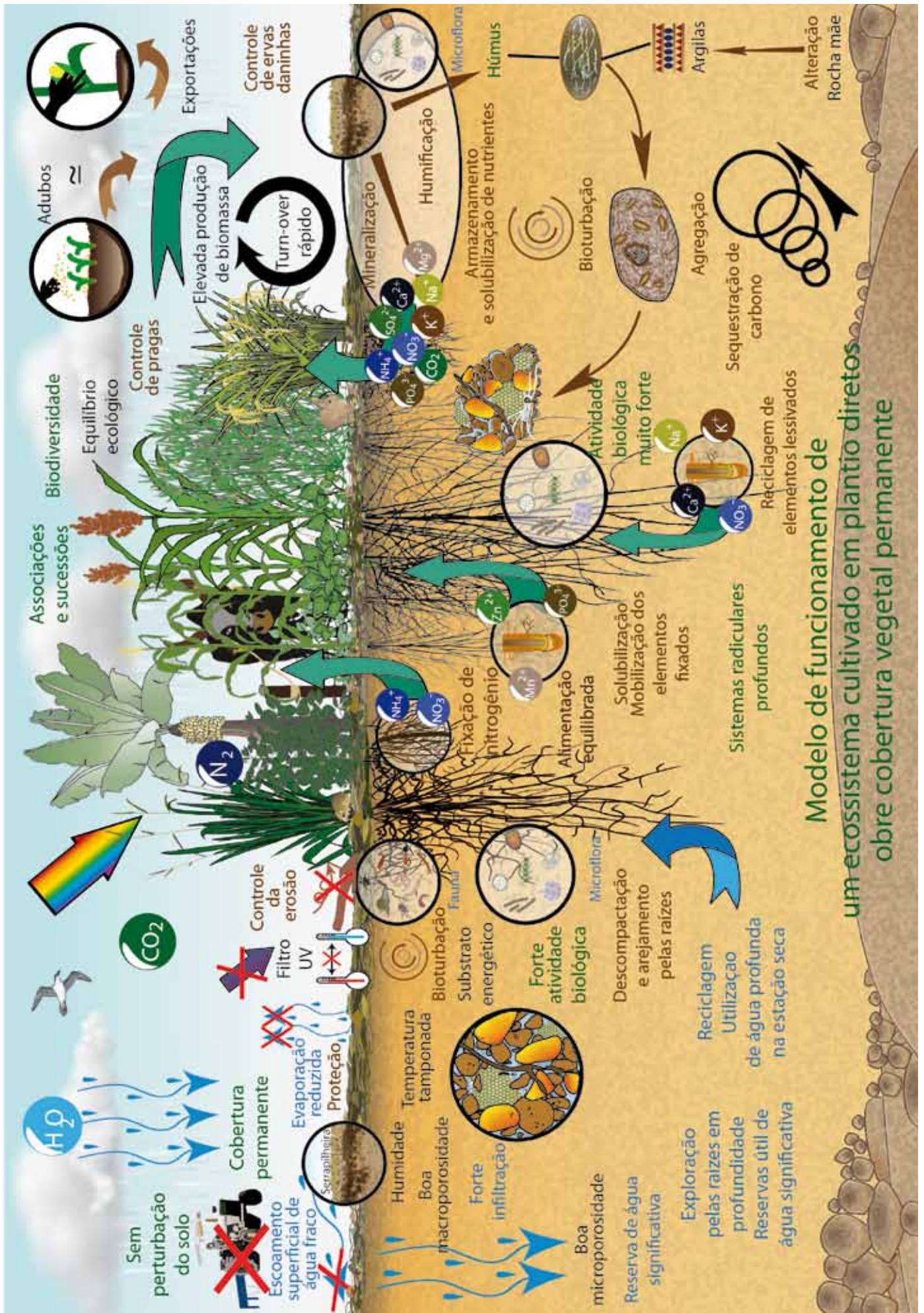
Consequentemente, a capacidade de fornecer um serviço ecossistêmico é específica de cada sistema, e das suas condições de realização (produção efetiva de biomassa, em particular).

Os sistemas mais eficientes são aqueles que permitem completar rapidamente numerosas funções. Um sistema não pode executar todas as funções com o mesmo nível de eficiência. No entanto, a grande diversidade de sistemas PDCV permite escolher os sistemas mais adaptados num determinado momento, para exercer as funções agrônômicas prioritárias e suprimir os principais obstáculos numa determinada situação.

À medida que as situações evoluem, os sistemas devem adaptar-se para assegurar as funções que se tornam prioritárias.



*Cobertura vegetal permanente do solo  
Elevada produção de biomassa*



**Modelo de funcionamento de um ecossistema cultivado em plantio direto sobre cobertura vegetal permanente**



Milho + Caupi - Elevado teor de matéria orgânica no horizonte superficial

Para beneficiar rapidamente dos efeitos das práticas PDCV, é necessário obter um elevado diferencial de «biomassa restituída ao solo - biomassa perdida» desde os primeiros anos de entrada nos sistemas PDCV. Este elevado diferencial permite a estes sistemas executar as suas funções ecossistêmicas, e conduzir a uma melhoria rápida dos solos e à restauração dos equilíbrios ecológicos. Estas melhorias, num círculo benéfico, facilitam a obtenção de uma elevada produção de biomassa e permitem alimentar facilmente a «bomba» dos PDCV nos anos seguintes. Em solos degradados, a obtenção de uma elevada produção de biomassa nos primeiros anos passa pela restauração da fertilidade através de aportes de fertilizantes (orgânicos ou minerais), queimadas agrícolas e/ou uso de plantas de cobertura capazes de produzir elevadas quantidades de biomassa em solos pouco férteis. Quanto mais os solos estiverem degradados, mais a «iniciação» dos sistemas PDCV é difícil, longa e/ou onerosa. Abaixo de um certo nível de degradação, não é lucrativo durante os primeiros anos e requer um investimento. No entanto, em muitas situações agronômicas, a grande variedade de sistemas e de ações técnicas possíveis em PDCV permite adaptar as práticas à grande diversidade de situações sócio-econômicas. Esta permite propor sistemas economicamente rentáveis, duráveis e motivantes, compatíveis com os meios e os níveis de risco aceitáveis para os diferentes tipos de propriedades rurais. A diversidade de sistemas possíveis e os seus interesses, assim como a sua facilidade de implementação depende, no entanto, em grande medida das condições biofísicas (clima, solo, etc.) e sócio-econômicas (sistemas agrários, sistemas pecuários, condições do mercado, regras comunitárias, etc.). Alguns meios pouco constrangedores (espaço e meios disponíveis, baixa pressão sobre a biomassa, etc.) oferecem possibilidades de melhoria, através de sistemas fáceis de gerir. Por outro lado, em meios constrangedores (forte pressão sobre a biomassa, fraco potencial de produção, recursos limitados, etc.) exigem uma adaptação rigorosa dos sistemas PDCV e da sua gestão.

### Para mais informações...

Chaboussou, F. 1985.

Santé des cultures : une révolution agronomique. La maison rustique, Flammarion, Paris. ISBN: 2-7066-01-50-7. 271 p.

De Moraes Sá, J.C.; Cerri, C.C.; Piccolo, M.C. Feigl, B.E.; Buckner, J.; Fornari, A.; Sá, M.F.; Ségué, L.; Bouzinac, S.; Venzke-Filho, S.P.; Paulletti, V. e Neto, M.S. 2004. Le semis direct comme base de système de production visant la séquestration du carbone. Revista plantio direto, 14 (84) : 45-61.

Gobat, J.M.; Aragno, M. e Matthey, W. 1998. Le sol vivant. Bases de pédologie-Biologie des sols, ISBN: 2-88074-367-2, Presses polytechniques et universitaires romandes, Collection Gérer l'environnement. 550 p.

Magdoff, F. and Weil, R.R. editors. 2004. Soil organic matter in sustainable agriculture. CRC Press LLC, ISBN 0-8493-1294-9, 398 p.

Ségué, L.; Bouzinac, S. e Maronezzi, A.C. 2001. Systèmes de culture et dynamique de la matière organique.

Un dossier du semis direct. CIRAD-CA, Agronorte Pesquisas-Groupe MAEDA, TAFA/FOFIFA/ANAE. 320 p.

<http://agroecologie.cirad.fr/content/download/7131/34698/file/1172915043.pdf>

Ségué, L.; Bouzinac, S. et al. 2008. La symphonie inachevée du semis direct dans le Brésil central. Le système dominant dit de «semi-direct». Limites et dégâts, éco-solutions et perspectives : la nature au service de l'agriculture durable. CIRAD, Embrapa, AgroNorte, UEPG, Codetec, USP, Facual. 214 p.

<http://agroecologie.cirad.fr/content/download/7200/35181/file/1212319668.pdf>

Uphoff, N. T. (ed.); Ball, A.S. (ed.); Fernandes, E.C.M. (ed.); Herren, H. R. (ed.); Husson, O. (ed.); Laing, M. V. (ed.); Palm, C. (ed.); Pretty, J. (ed.); Sanchez, P. (ed.); Sanginga, N. (ed.) e Thies, J. (ed.). 2006. Biological approaches to sustainable soil systems. CRC Press, Boca Raton. ISBN -10: 1-57444-583-9. 764 p.

Edição: GSDM/CIRAD - Fotos e disposição: Olivier HUSSON - Grafismo: Olivier HUSSON, Eloise GRAND e IAN Símbolos  
Impressão: NIAG





## Capítulo 2

# Gestão de ecossistemas cultivados em plantio direto sobre cobertura vegetal permanente

---

Lucien SEGUY, Olivier HUSSON, Hubert CHARPENTIER, Serge BOUZINAC,  
Roger MICHELLON, André CHABANNE, Stéphane BOULAKIA, Florent TIVET,  
Krishna NAUDIN, Frank ENJALRIC, Ignace RAMAROSON, RAKOTONDRAMANANA

---





A gestão de ecossistemas cultivados em plantio direto sobre cobertura vegetal permanente (PDCV) visa permitir-lhes reproduzir o funcionamento de um ecossistema florestal natural que se baseia em três «pilares» (ver Volume I. Capítulo 1):

- a cobertura vegetal permanente do solo/serrapilheira (alimentada por uma elevada produção de biomassa, não perturbada, sem trabalho do solo);
- a biodiversidade funcional: as diferentes espécies permitem assegurar uma diversidade de funções ecossistêmicas fundamentais (estruturação do solo, mobilização e/ou reutilização de nutrientes, controle de plantas daninhas, controle de pragas, destoxificação, etc.). Estas asseguram também uma elevada produção de biomassa (matéria orgânica fresca abundante, graças especialmente ao uso eficiente da água), que restituída ao solo, permite alimentar a serrapilheira e o estoque de carbono do solo, num turnover importante e rápido da matéria orgânica;
- a atividade biológica intensa, favorecida pela cobertura permanente do solo e a elevada produção de biomassa por diversas plantas. Essa elevada atividade biológica contribui para o preenchimento de diversas funções, e desempenha um papel chave no ciclo da matéria orgânica, na estruturação do solo, na alimentação e na saúde das plantas.

A gestão dos sistemas PDCV corresponde, portanto, ao manejo de populações de plantas (e indiretamente de organismos vivos do solo), de forma a produzir culturas com interesse em maximizar a produção total de uma biomassa para assegurar diversas funções ecossistêmicas. A escolha das espécies (e variedades) é feita com base na sua capacidade de preencher determinadas funções, de forma a eliminar, o mais rápido possível, as principais restrições agrônomicas (compactação, fertilidade, pragas, etc.), num ambiente bio-físico (solo, clima, flora de plantas daninhas, pragas, etc.) e sócio-econômico (exploração, terroir, mercados, etc.) dado, de forma a satisfazer os objetivos de produção.

Na prática, podemos distinguir dois modos principais de gestão dos sistemas PDCV:

- os sistemas sobre cobertura morta, nos quais os resíduos da colheita e/ou as plantas de cobertura são completamente secos por herbicidas totais, controlados mecanicamente (rolo de ângulo, corte, decapagem) ou morrem naturalmente (fim do ciclo das anuais, gelo, etc.);
- os sistemas sobre cobertura vegetal viva, para os quais nos contentamos em controlar uma planta de cobertura perene durante a cultura principal, mas sem a matar, de modo a que ela se instale novamente, por um crescimento natural, após o período de cultivo.



Solo sob cobertura vegetal de *Stylosanthes guianensis*

### Princípios básicos para otimizar a produção de biomassa

- Maximizar a produção utilizando todo o espaço disponível (associações de culturas nas parcelas cultivadas e plantas de cobertura nas zonas não cultivadas), pelo maior tempo quanto possível (sucessão de culturas, uso de plantas anuais capazes de se desenvolver em estação seca e/ou fria, uso de plantas perenes, plantio precoce, substituição sistemática das plantas em falta, etc.).
- Corrigir a fertilidade do solo o mais rápido possível (fertilizantes minerais ou orgânicos, queimadas agrícolas e/ou «bombas biológicas» vegetais) e otimizar a utilização de nutrientes (limitando as perdas, reutilização, mobilização de elementos pouco disponíveis, etc.).
- Otimizar a utilização de água, produzindo o máximo de biomassa durante a estação das chuvas e utilizando durante a estação seca a água infiltrada em profundidade (plantas recicladoras, com sistema radicular profundo, capazes de prolongar o seu crescimento muito tarde na estação seca).
- Associar tanto quanto possível plantas com características diversas (permitindo otimizar a produção sob diversas condições climáticas restritivas), com elevada biomassa aérea e radicular.
- Não imobilizar a terra unicamente para a produção de biomassa (exceto quando o espaço disponível o permite facilmente). Rentabilizar tanto quanto possível as plantas de cobertura, associando-as a uma cultura.

Em todos os casos, os resultados desses sistemas dependem sobretudo da biomassa produzida e restituída à parcela, a qual permite ao solo recuperar-se e manter as propriedades físicas, químicas e biológicas favoráveis.

## 1. Produção e manejo da biomassa em PDCV

As necessidades de biomassa para cobrir as perdas por mineralização e assegurar um bom funcionamento dos sistemas PDCV variam principalmente em função do clima (e tipo de resíduos). Num ecossistema cultivado, utilizar unicamente os resíduos da colheita é geralmente insuficiente para prover corretamente o solo com matéria orgânica fresca, sobretudo em meios tropicais, onde a mineralização é rápida.

As plantas cultivadas devem ser «reforçadas» por plantas que permitam utilizar plenamente os recursos e assim aumentar a produção total de biomassa. A transição entre o sistema convencional (aração) e o PDCV faz-se tanto mais rápida e facilmente quando os sistemas escolhidos produzem uma quantidade elevada de biomassa no (ou nos) primeiro(s) ano(s).

### 1.1. Produção de biomassa (matéria orgânica fresca)

#### Períodos de produção possível

O período de produção possível é determinado, antes de tudo, pelo clima e pelo regime hídrico das parcelas, e pelas plantas cultivadas. A fim de maximizar a produção de biomassa, o princípio de base é de ocupar tanto quanto possível, os espaços não valorizados pelas culturas, quer seja na área disponível de terra (associações de plantas) ou no tempo (sucessões).

Muitas plantas de cobertura foram selecionadas pela sua capacidade de se desenvolverem eficazmente em condições marginais, e assim, estender tanto quanto possível o período de produção de biomassa: i) durante o período frio, em climas temperados, ii) tão longe quanto possível, durante a estação seca, quando esta for marcada, iii) antes ou depois da cultura principal, quando a estação das chuvas é mais longa do que o ciclo dessa cultura (muito rapidamente no início ou no fim da estação das chuvas), ou iv) durante um «pequeno» período de chuvas em clima bimodal, com duas estações de chuvas.

No entanto, as condições climáticas favoráveis a uma elevada produção de biomassa (calor, sol e chuvas) são também muito favoráveis à decomposição da matéria orgânica e à mineralização. Para assegurar um bom funcionamento dos PDCV, é necessário assegurar uma produção de biomassa muito elevada nesses períodos para compensar a rápida decomposição, e produzir tanto quanto possível durante os períodos marginais, que permitem aumentar consideravelmente a produção total de biomassa (e durante os quais as perdas são mais rápidas).

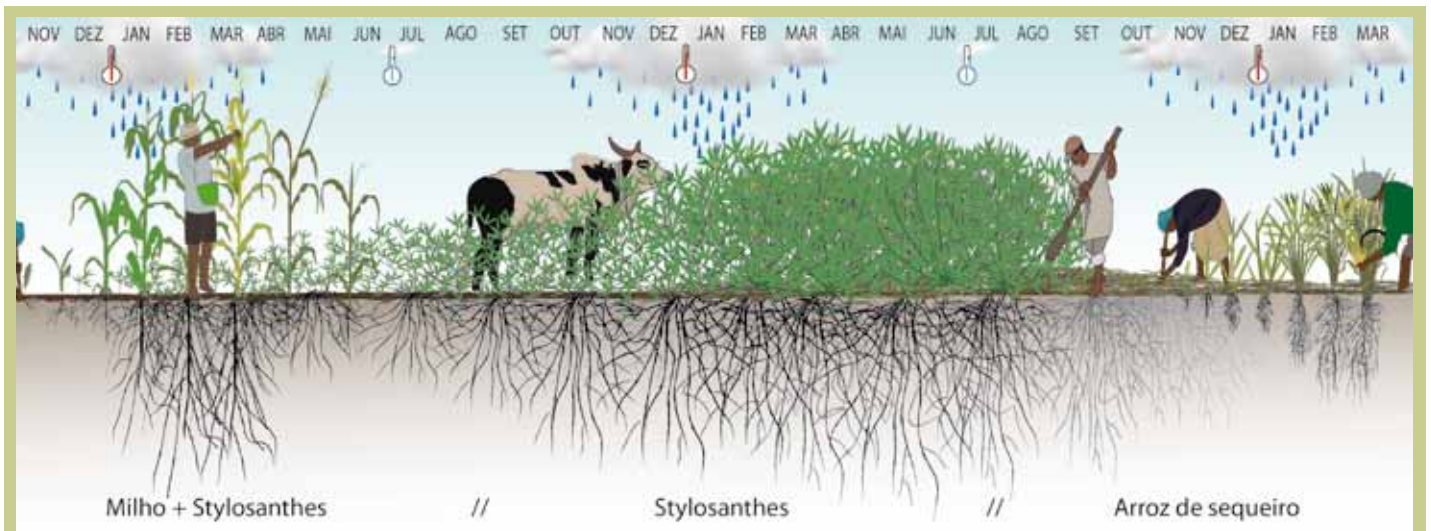
#### Associações e sucessões de culturas

As associações de plantas são utilizadas tanto quanto possível, porque estas asseguram uma produção de biomassa geralmente maior e mais estável. Trata-se de um princípio básico da ecologia: a diversidade dá mais possibilidades de ter plantas adaptadas às condições reais de produção (solo, riscos climáticos, etc.), e a complementaridade das plantas permite uma melhor valorização dos recursos. A diversidade de espécies permite igualmente obter uma biodiversidade funcional que assegura funções e presta vários serviços ecossistêmicos (sequestro de carbono, reutilização de nutrientes, controle de plantas daninhas e pragas, etc.)

**Quando o espaço disponível é suficiente**, a solução mais fácil de ser implementada, é a de alternar culturas e plantas de cobertura com produção de biomassa muito elevada. A melhor solução consiste em instalar na cultura, uma (ou várias) planta(s) de cobertura perene(s), escalonar o plantio, e deixando-a(as) desenvolver-se no ano seguinte (repouso melhorado).



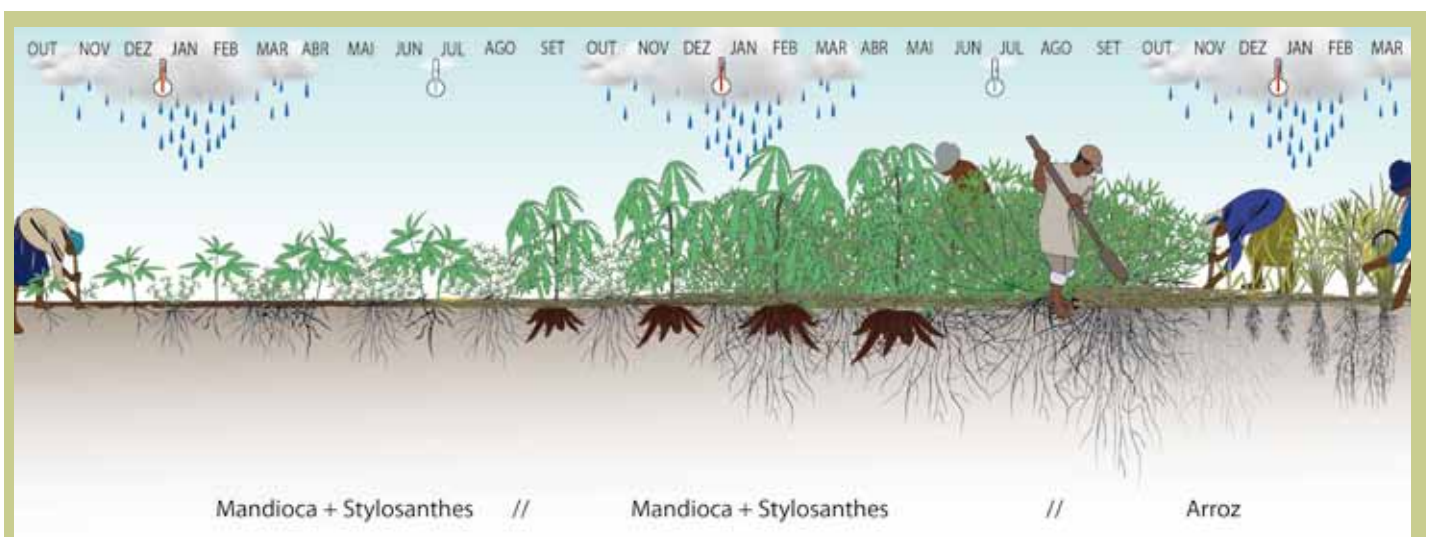
*Associação de milho + dolichos nas terras altas de Madagascar*



Exemplo de um sistema quando o espaço disponível é suficiente para alternar culturas e plantas de cobertura

O espaço disponível é, no entanto, raramente suficiente para permitir a não utilização da terra, sem produção de alimentos, durante mais de um ano.

Uma prática intermédia, muito interessante em solos pobres, é a de cultivar uma cultura de ciclo muito longo, como a mandioca (12 a 24 meses, dependendo da região) em associação com uma planta de cobertura, que terá assim um período suficiente para se desenvolver fortemente, sem que se deixe de utilizar a terra.



Exemplo de sistema intermédio que permite uma produção elevada de biomassa sem deixar de utilizar a terra

A produção de uma cultura alimentar e/ou comercial todos os anos é todavia muitas vezes necessária. A produção suplementar de biomassa deve então ser feita por sucessões intra-anuais, se o clima o permitir, e/ou associações de culturas.



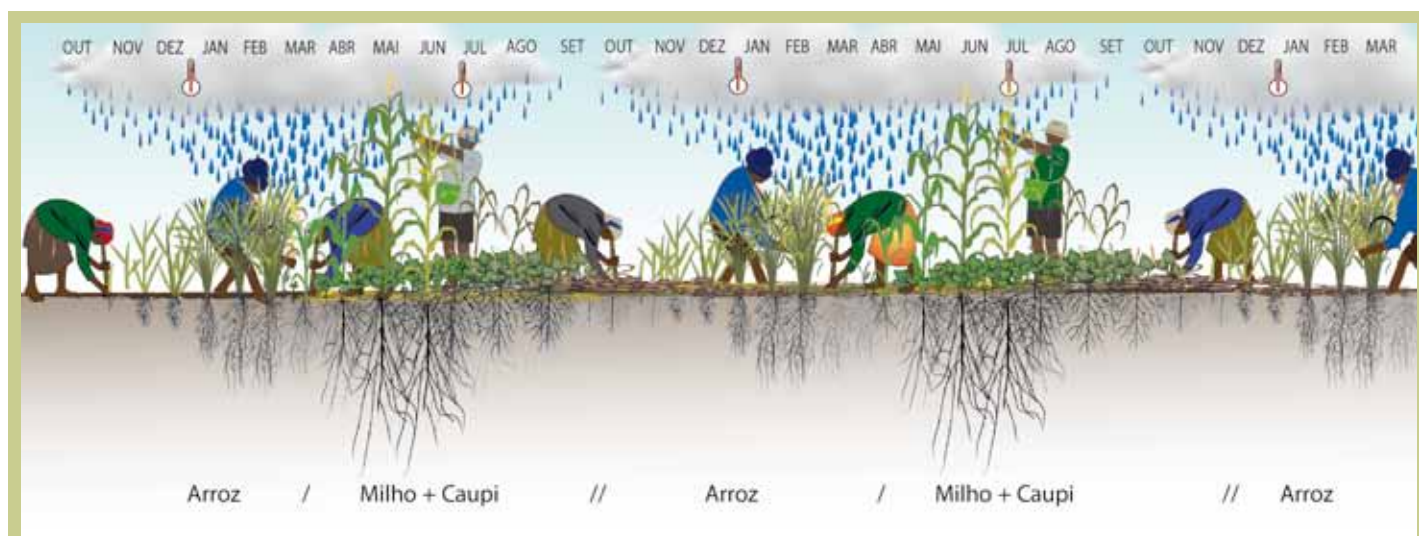
A produção de uma cultura alimentar e/ou comercial todos os anos é todavia muitas vezes necessária. A produção suplementar de biomassa deve então ser feita por sucessões intra-anuais, se o clima o permitir, e/ou associações de culturas.

Associação Mandioca + Stylosanthes  
Lago Alaotra

Quanto **mais longa for a estação quente e úmida**, e quanto mais abundantes sejam as chuvas (ou quanto mais as plantas possam ser alimentadas em água pelo solo na estação seca), mais fácil é manejar sucessões e/ou associações e produzir biomassa muito elevada. No entanto, nestes casos se deve produzir uma biomassa muito elevada durante períodos tão contínuos quanto possível (e em particular na estação seca com coberturas utilizando a água profunda) para compensar a elevada mineralização.

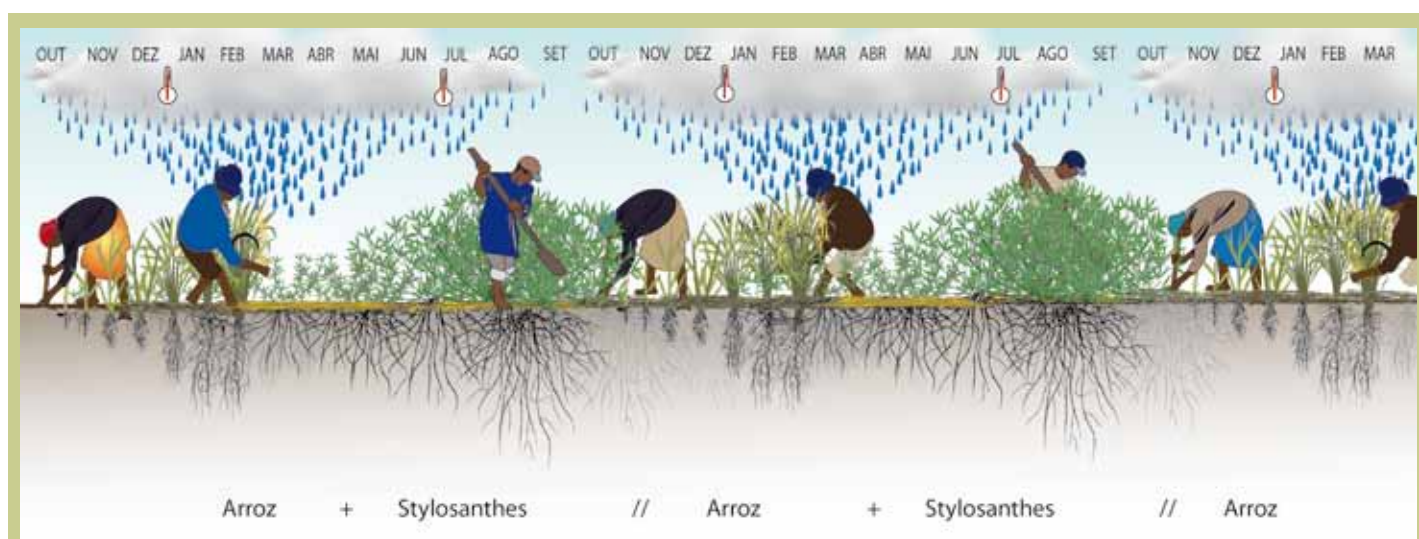
### Para isso podemos:

- fazer no mesmo ano uma sucessão de várias plantas anuais, escolhendo ciclos que permitam cobrir da melhor forma os solos ao longo de todo o ano e reutilizar tanto quanto possível os nutrientes («bombas biológicas» na sucessão de culturas). Podemos também cultivar até três ciclos de culturas/plantas de cobertura, por ano;



*Exemplo de sucessão intra-anual e associação de culturas em clima tropical úmido*

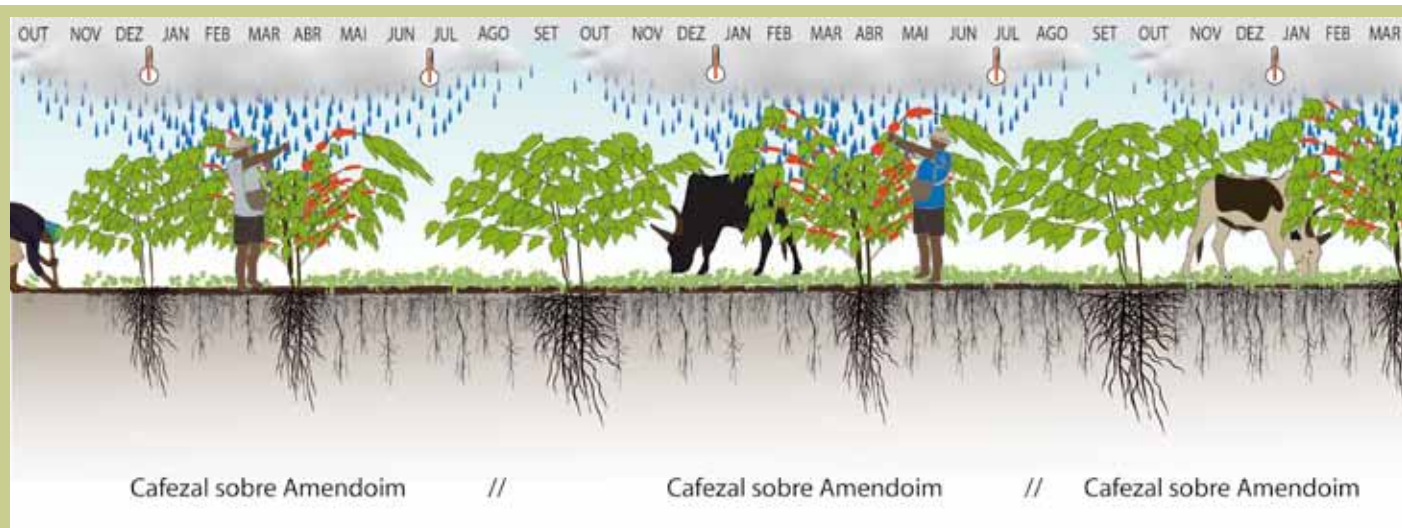
- associar uma cultura anual com plantas de cobertura perenes, que produzirão todo o ano (a qual se pode manter viva ou controlar para a implementação da cultura seguinte);



*Exemplo de associação entre cultura e planta de cobertura perene em clima tropical úmido*

ou

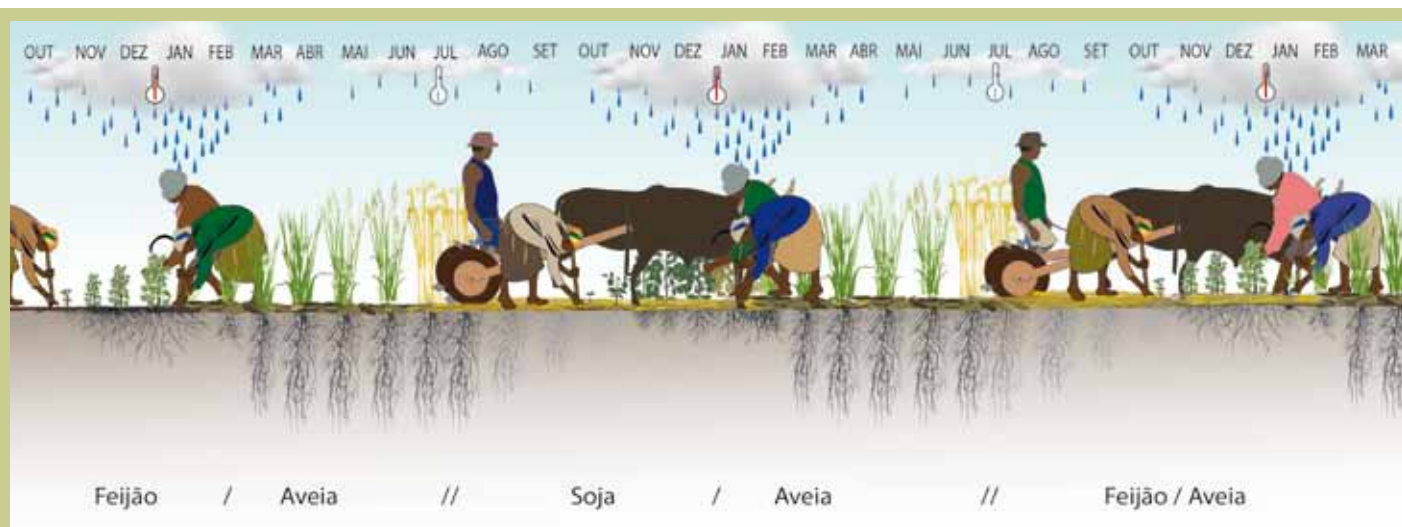
- cultivar plantas perenes associadas a coberturas perenes, como o cafezal sobre uma cobertura de Arachis pintoi.



Exemplo de produção de planta perene sobre cobertura vegetal viva, em clima tropical úmido

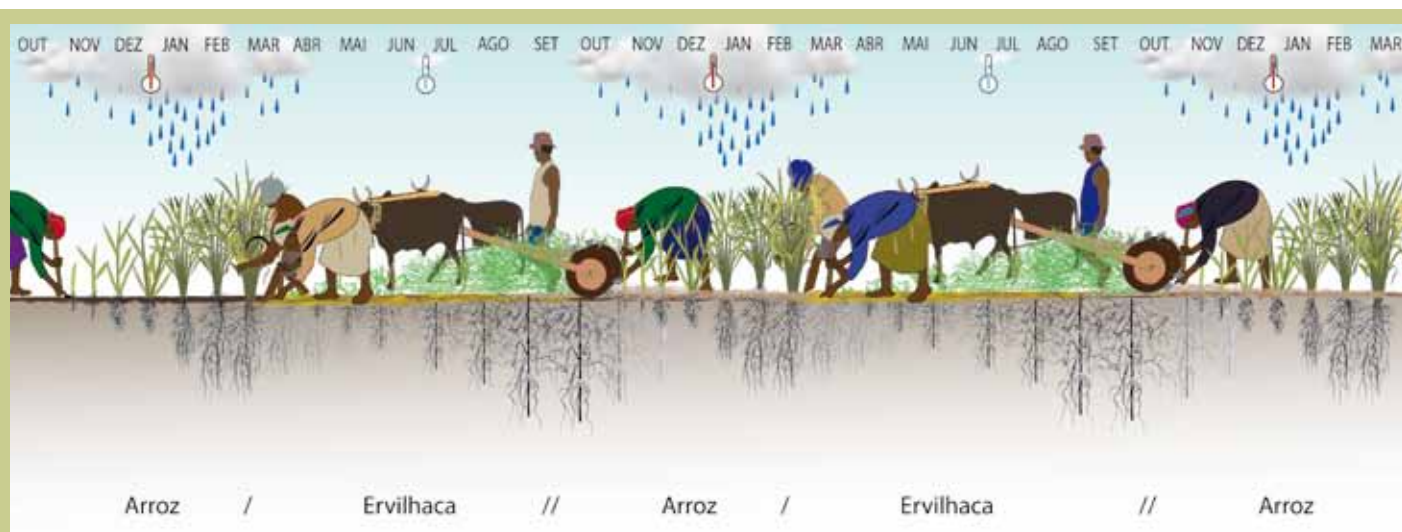
Com uma **estação de chuvas mais curta e/ou estação fria**, a mineralização é mais lenta, mas o período possível para produção de biomassa é mais curto. As sucessões só se podem fazer com:

- uma cultura de ciclo curto, como o feijão (seguido de aveia por exemplo);



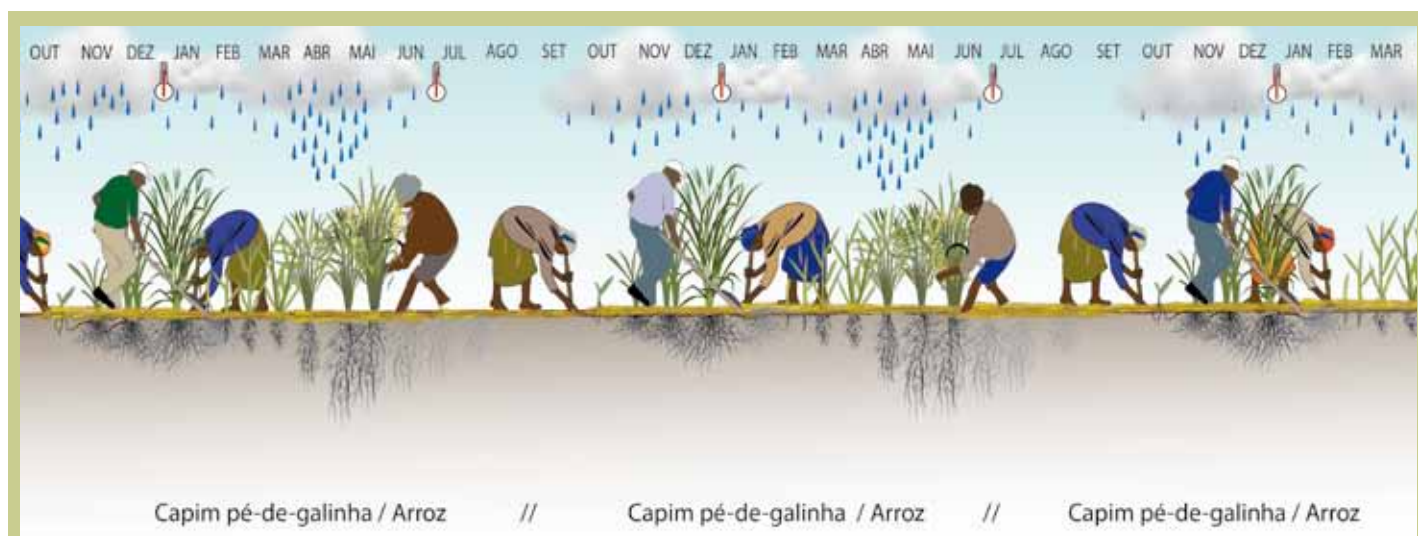
Exemplo de sucessões intra-anuais de culturas de ciclo curto

- uma planta de cobertura de ciclo longo, introduzida após uma cultura e capaz de suportar a estação seca e/ou fria para se desenvolver rapidamente desde as primeiras chuvas/calores, como a ervilhaca nas terras altas ou no lago Alaotra;



Exemplo de sucessão intra-anual cultura/planta de cobertura de ciclo longo (produção em período marginal)

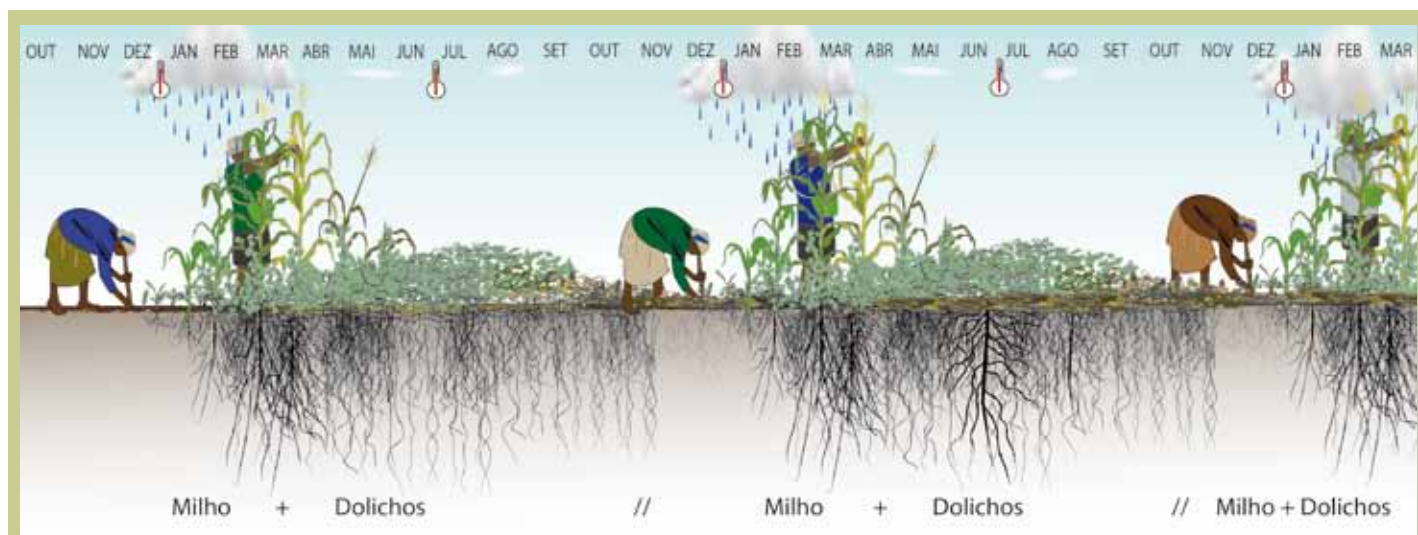
- uma planta de cobertura capaz de produzir muito rapidamente uma elevada biomassa, como o capim pé-de-galinha, o sorgo ou as brachiarias (ou uma mistura dessas espécies), instalados no início da estação das chuvas ou durante a pequena estação das chuvas, num clima tipo bimodal (sendo a pequena estação de chuvas demasiado curta para permitir o ciclo completo de uma cultura).



*Exemplo de sucessão intra-anual planta de cobertura de crescimento rápido/cultura*

Quando a **estação das chuvas é muito curta** para fazer sucessões, mesmo com ciclos muito curtos (exceto em condições particulares do meio, com um regime hídrico mais favorável: partes baixas das topo-sequências, irrigação), é então necessário, para maximizar a produção de biomassa, usar plantas capazes de produzir em períodos marginais:

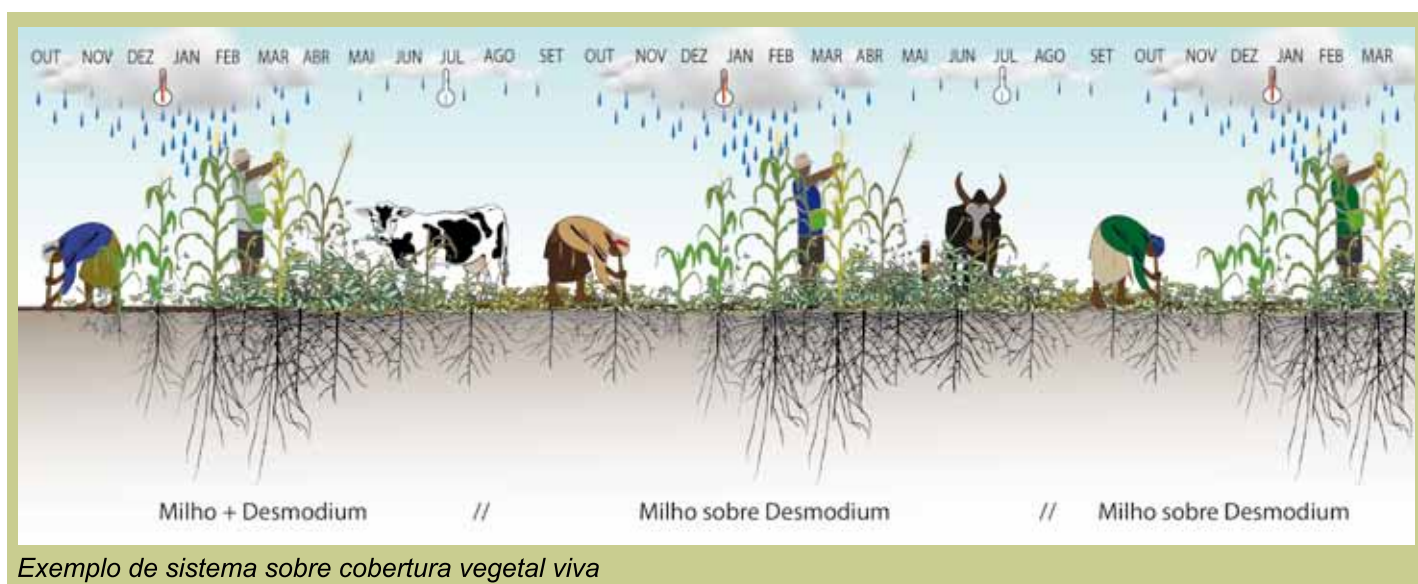
- as plantas introduzidas na estação das chuvas, em associação com a cultura, que tem seu crescimento prolongado ao máximo durante a estação seca, ao puxarem as águas profundas do solo. Para se introduzir corretamente antes da chegada da estação seca e ser capaz de se desenvolver, a planta associada deve ser semeada suficientemente cedo. Existe o risco, porém, de que ela entre em competição com a cultura (especialmente porque a água é um fator muito limitante) e deve de ser manejada com uma densidade adaptada, uma boa disposição no espaço, aporte localizado de fertilizantes e/ou a utilização de plantas de cobertura de sistemas radiculares diferentes das culturas. Quanto mais curta é a estação das chuvas e menor é a quantidade de precipitação, mais difícil é o manejo dessas associações, exigindo o cumprimento das recomendações técnicas de forma precisa;



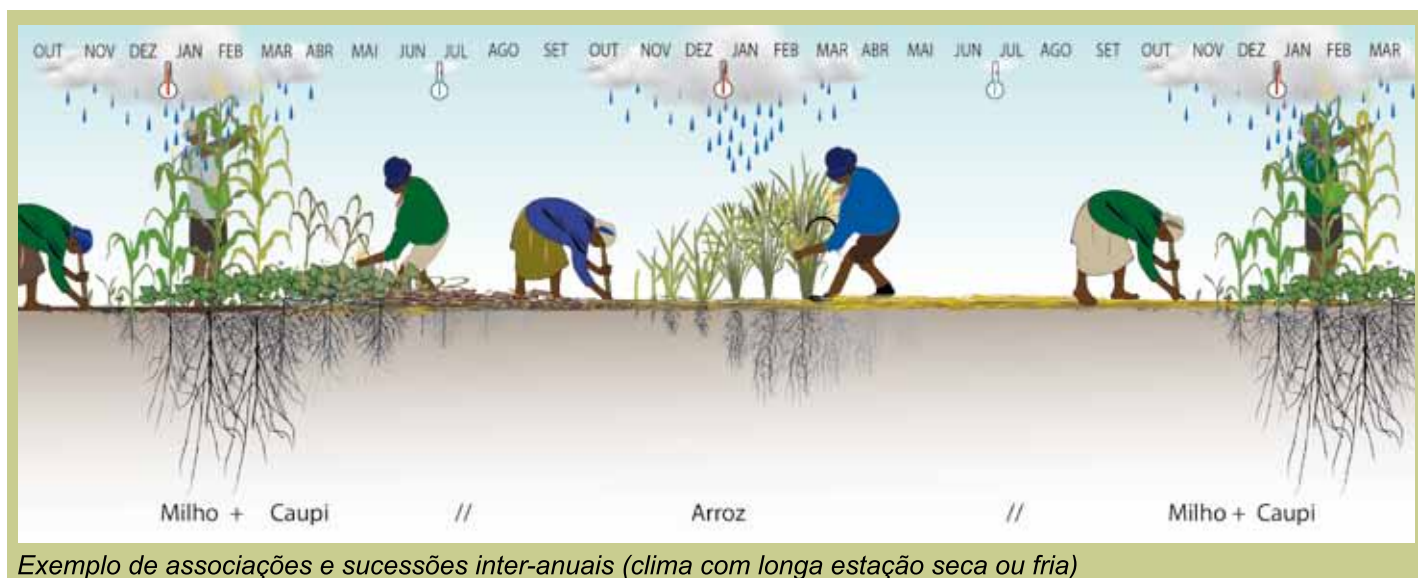
*Exemplo de associação cultura + planta de cobertura de ciclo longo (produção em período marginal)*

ou

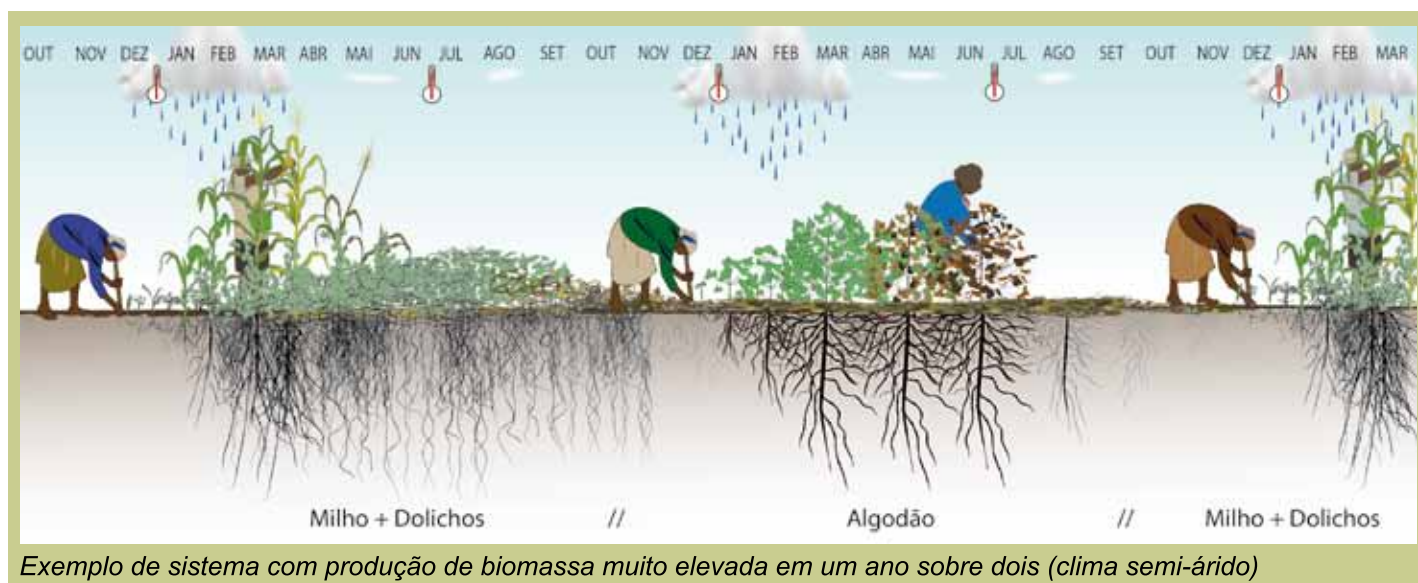
- plantas de cobertura perenes utilizadas em cobertura viva (desmodium, kikuyu, etc.).



Quando é difícil utilizar sucessões intra-anuais ou associações de culturas com uma cultura de ciclo longo e/ou deixando penetrar pouca luz, as sucessões inter-anuais de culturas tomam uma importância capital. Estas permitem assegurar no tempo a diversidade de plantas cultivadas numa parcela, de produzir uma biomassa suficiente e evitar a exaustão dos solos, cultivando apenas espécies com necessidades semelhantes. Se deve tentar maximizar a produção de biomassa no primeiro ano para «iniciar a bomba» do plantio direto, como no sistema milho + caupi (ou dolichos ou *Vigna umbellata*) // arroz, muito interessante no lago Alaotra (média altitude e estação seca marcada).



Em **climas semi-áridos**, onde a produção total de biomassa e a mineralização são limitadas pela escassez de água, se deve assegurar a produção de uma elevada biomassa em um ano, que cubra as necessidades de dois anos (como a associação milho + dolichos, precedendo o algodão).



*Exemplo de sistema com produção de biomassa muito elevada em um ano sobre dois (clima semi-árido)*

Em todos os casos, as associações e as sucessões de culturas devem ser escolhidas para minimizar o período sem produção de biomassa e assegurar uma boa cobertura do solo de forma permanente (e, em particular, até pouco antes do plantio da cultura principal). Os sistemas devem ser organizados de forma racional, durante vários anos, se deve introduzir uma planta de cobertura, meses antes da cultura, o que exige uma boa planificação.

### Manejo das associações e sucessões de culturas

O manejo das associações e sucessões de culturas deve ser feito assegurando-se a produção da cultura principal, ajustando paralelamente as plantas associadas (escolha das associações e sucessões, ver Volume II. Capítulo 1) e os parâmetros da sua implantação (recomendações técnicas, ver Volume II. Capítulo 2) para maximizar a sua produção, sem prejudicar-la.

Existem ainda outras possibilidades, como trabalhar com as diferentes variedades das espécies (as características de uma espécie podem variar muito de uma variedade à outra, especialmente em termos de ciclo), as recomendações técnicas permite controlar a eventual competição das plantas de cobertura com as culturas. Podemos assim adaptar as datas de plantio, a densidade e a disposição das plantas no espaço, e/ou a forma e a profundidade de plantio, aportar uma fertilização localizada ou ainda controlar as plantas de cobertura por corte, aplicação de herbicidas seletivos ou até mesmo a aplicação de ureia ou irrigação.

A escolha dos sistemas e o ajuste das recomendações técnicas que permitem manejar as associações de culturas/plantas de cobertura, são, antes de tudo, uma questão tanto de conhecimento e de controle do material vegetal adaptado, como de bom senso.

### Combinação de espécies de plantas de cobertura

A combinação de espécies para realizar a cobertura vegetal é muito interessante. A biodiversidade acrescentada nos sistemas permite o benefício simultâneo de numerosas funções e de diversos serviços ecossistêmicos concedidos por essas plantas. Em função das principais dificuldades que devem ser eliminadas prioritariamente, podemos usar de forma associada:



*Associação arroz + caupi  
O arroz plantado em fileiras duplas sobre queimada agrícola controlada  
Caupi plantado um mês depois do arroz*



### PDCV e plantas «subterrâneas»

A condução dos sistemas em PDCV não exclui a cultura de plantas «subterrâneas», como os tubérculos (batata, batata doce, etc.), raízes tuberculizadas (mandioca, etc.) ou leguminosas com sementes enterradas (amendoim, ervilha bambara, etc.), que desempenham muitas vezes um papel importante em pequenas propriedades rurais familiares.

Por um lado, a boa estrutura do solo em PDCV faz que o recurso à sulcagem do solo ou amontoamento das raízes e tubérculos não seja necessária. Antes pelo contrário, deve de ser evitado para deixar o solo plano e permitir o plantio direto posteriormente. Por outro lado, a palhada não é, de forma alguma, um incômodo à penetração dos ginóforos das leguminosas.

Além disso, as raízes tuberculizadas, os tubérculos ou as sementes dessas plantas cultivadas sob cobertura vegetal, desenvolvem-se majoritariamente na superfície, diretamente abaixo palhada, o que faz que a sua colheita perturbe relativamente pouco o solo (e é muito mais rápida do que no sistema convencional).

No entanto, estas culturas produzindo pouca biomassa, devem preferencialmente ser associadas (mandioca + stylosanthes ou batata + aveia, por exemplo) ou cultivadas sobre cobertura viva (como o amendoim ou ervilha bambara sob grama seda viva), o que permite à cobertura vegetal de recobrir rapidamente as zonas perturbadas pela colheita. Se essas culturas não estão associadas, é necessário reconstituir a cobertura vegetal rapidamente, instalando um sistema com elevada produção de biomassa.

- plantas com sistema radicular pivotante (guandú, crotalaria, etc.) com plantas com sistemas radiculares fasciculados e fortes (brachiaria, capim pé-de-galinha) para reconstruir rapidamente a macroporosidade e microporosidade do solo;
- leguminosas para fixação de nitrogênio;
- plantas do tipo C4 para a produção elevada de biomassa;
- plantas com elevada capacidade de reutilização de nutrientes lixiviados em profundidade (desenvolvimento rápido, e em profundidade, do sistema radicular) como o capim pé-de-galinha, o milho, o sorgo, as brachiarias;
- plantas capazes de solubilizar (em interação com a microflora) os nutrientes pouco disponíveis (trevoço, stylosanthes, amaranto, etc.);
- plantas com forte efeito alelopático (aveia, sorgo, etc.) para o controle de plantas daninhas;
- plantas repulsivas ou com efeito inseticida (rabanete forrageiro, ervilhaca, desmodium, diversas plantas aromáticas, etc.) para o controle de pragas de insetos;
- plantas atrativas de entomopatogênicos (fungos, nematoides, etc.) ou de predadores de pragas (ervilhaca, etc.); e/ou
- todas as plantas capazes de preencher uma função ou de prestar um serviço ecossistêmico particular, na maior parte do tempo favorecendo o desenvolvimento de microorganismos específicos: a detoxificação do solo contra os poluentes com o sorgo, complexação do alumínio tóxico com as brachiarias, supressão de doenças fúngicas com a mistura de capim pé-de-galinha + crotalaria sobre a piriculariose do arroz, bem como muitas outras funções ainda por descobrir.

Essas misturas permitem igualmente a obtenção de uma biomassa de qualidade muito variada, com velocidade de decomposição diferenciada. A mineralização dessa fitomassa conduz a uma PDCV e plantas «subterrâneas» liberação regular e contínua de nutrientes para as culturas seguintes.

A composição dessas combinações visa utilizar a complementaridade ecossistêmica dessas plantas, para assegurar as diferentes funções agrônomicas fundamentais e suprimir em prioridade os principais fatores de bloqueio.

Essa composição deve igualmente permitir um manejo fácil da cobertura e uma rentabilidade econômica máxima. Para isso, a mistura de plantas de cobertura deve poder ser associada à cultura principal, sem danificá-la. Para a introdução de uma cobertura em sucessão de uma cultura principal, é muito interessante utilizar uma cultura de interesse comercial (milho, sorgo, etc.) que cubra os custos do plantio da cobertura vegetal e o seu controle antes do plantio da cultura principal.

O uso desta combinação de plantas deve poder fazer-se facilmente. As plantas com sementes pequenas (capim pé-de-galinha, milho, stylosanthes, amaranto, etc.) são muito interessantes nesse sentido.

Elas podem ser semeadas a lanço e necessitam apenas de alguns quilos de sementes por hectare. Elas podem ser produzidas sobre uma pequena superfície (o uso de combinações não permite a colheita das sementes na cobertura, e necessitam da produção de sementes separadamente). Os ciclos de diferentes espécies combinadas devem de ser compatíveis, em particular para as combinações de espécies anuais controladas por corte ou rolagem com rolo-faca após floração. Elas devem todas poder ser manejadas da mesma maneira (quer seja química ou mecanicamente) e controladas ao mesmo tempo, para facilitar a sua utilização e reduzir os custos.



*Combinação aveia + tremoço  
+ ervilhaca + rabanete forrageiro*

### Combinação de variedades

A combinação de variedades de uma espécie cultivada permite reduzir os riscos e obter uma produção mais estável e mais elevada (as variedades mais adaptadas às condições climáticas do ano de cultura, assegurando a produção). Permite também reduzir a incidência de doenças ao integrar variedades resistentes, assegurando a produção em caso de forte pressão de pragas, e limitando a transmissão de doenças às variedades menos resistentes (barreira física ao transporte de organismos patogênicos).

A escolha das variedades faz-se de maneira a introduzir:

- variedades resistentes às principais doenças (cada variedade deve ser resistente a várias doenças, não necessariamente as mesmas de uma variedade à outra) que podem ter um grande incidência na zona de cultura; e
- variedades com elevado potencial nas condições de cultura (grau de fertilidade, regime hídrico, etc.).

Quando a colheita é mecanizada, as diferentes variedades utilizadas devem imperativamente ter um ciclo de produção bastante semelhante para que a colheita possa fazer-se a um grau uniforme de maturidade. Nas pequenas parcelas com colheita manual, a utilização de variedades com ciclos diferentes (como o escalonamento do plantio) permite reduzir o risco climático. Isto evita que um problema (ciclone, vento violento, seca, granizo, etc.) ocorra numa fase sensível (como a floração) para todas as variedades. No entanto, essa prática aumenta consideravelmente o tempo de colheita, que deve ser feito em várias passagens.

### **Substituir as plantas que faltam**

É importante substituir sistematicamente as plantas em falta (devido, por exemplo, a uma má germinação, um problema climático, ataques de insetos, etc.) a fim de:

- maximizar a produção de biomassa e cobrir o solo,
- não deixar espaço livre para plantas daninhas que poderiam multiplicar-se e infestar as parcelas.

Esta substituição é particularmente necessária quando se formam importantes espaços de terra descoberta, devido à falta de um grande número de plantas. Isso pode ser feito com a mesma espécie, caso ainda seja possível, ou com outra espécie (melhor adaptada ao novo período de produção).

### **Utilizar boas variedades**

As características e os resultados (em particular a produção de biomassa) de uma mesma espécie pode variar fortemente:

- de uma variedade a outra;
- em função do sistema de cultura.

É por isso indispensável escolher com cuidado não somente as espécies, mas também as variedades a utilizar quando decidimos instalar os sistemas em PDCV. O trabalho de criação de sistemas PDCV deve levar em conta a seleção das variedades mais eficiente nestes sistemas.

Posteriormente, a difusão dos sistemas PDCV exige colocar à disposição variedades mais eficientes ao nível dos terroirs e das propriedades rurais.

### Fertilidade e produção de biomassa

A fertilidade influencia diretamente a produção de biomassa, que condiciona os efeitos benéficos dos PDCV. Infelizmente, em muitas situações, a fertilidade inicial é muito baixa.

Uma das principais dificuldades na troca de sistemas convencionais por sistemas PDCV é a obtenção de uma elevada produção de biomassa nos primeiros anos, partindo de uma baixa fertilidade. Uma vez obtida, a elevada fitomassa restituída ao solo permite aumentar o nível de fertilidade, e serve para alimentar as plantas dos ciclos seguintes.

Muitas plantas de cobertura utilizadas em PDCV foram selecionadas pela sua capacidade de produzir em condições de baixa fertilidade. No entanto, quanto mais baixa é a fertilidade inicial (e quanto mais o clima cause restrições na produção), maior é o tempo necessário para estas plantas produzirem biomassa suficiente. Um aporte de fertilização (fertilizante mineral ou orgânico, queimadas agrícolas) reduz consideravelmente o tempo de obtenção de uma quantidade importante de biomassa, permitindo uma instalação rápida dos sistemas PDCV.



*Milho + Caupi em solo pobre  
Efeito marcado da fertilização (à direita) sobre a produção.  
Lago Alaotra*

### Ganho de produção de biomassa em comparação com sistemas convencionais



*«Revestimento» de sistemas agrícolas de pequena  
produção rural - Cultivo de aveia juntamente com milho  
Terras altas malgaxes*

O clima e a fertilidade dos solos determinam em grande parte o potencial de produção de biomassa dos sistemas.

O ganho potencial de produção de biomassa dos sistemas PDCV em comparação com os sistemas tradicionais, depende dos fatores anteriormente descritos, mas também e em grande parte, da pressão sobre a terra (e, portanto, da intensidade das culturas). Nos meios com baixa utilização dos solos (baixa densidade populacional), os sistemas baseados em sucessões de culturas ou mesmo as rotações alternando culturas e plantas de cobertura melhoradoras dos solos são possíveis, tornando o ganho de biomassa muito elevado em comparação com o sistema tradicional. Em contrapartida, para os meios com alta utilização dos solos (com duas ou três culturas por ano), apenas as associações de plantas de cobertura nas culturas (em sucessões intra-anuais) devem ser suficientes para aumentar a produção de biomassa (pois todo o período de produção possível está já sendo utilizado). No entanto, estas exigem o cumprimento das recomendações técnicas de forma precisa (especialmente as datas de plantio) e se consegue apenas uma produção suplementar limitada, que deve ser bem gerida para evitar a sobre-exploração (divagação de animais).

O manejo dessas biomassas pode, no entanto, ser bastante melhorado em PDCV, em comparação aos sistemas convencionais que, em geral, restituem-na em pequena quantidade ao solo, quer:

- porque esta é utilizada para outro fim (alimentação animal, lenha, materiais de construção) - utilização que os sistemas PDCV, a propor como substituição, devem tomar em conta; quer
- porque é uma dificuldade para as suas práticas (dificuldades a lavrar, decomposição muito lenta das palhas quando estas estão enterradas em profundidade, medo de transmissão de doenças, etc.).

A palha é então frequentemente queimada. Nestas situações, ao modificar-se simplesmente o manejo da biomassa segundo os sistemas PDVC, se ofereceria a possibilidade de aumentar facilmente a quantidade de biomassa restituída ao solo.

## 1.2. Manejo da biomassa em PDCV

O clima e o solo determinam em grande parte as necessidades de biomassa para suprir convenientemente os sistemas em plantio direto, influenciando o coeficiente de mineralização da matéria orgânica (também influenciado pelo modo de manejo do solo) e o coeficiente de humificação das coberturas vegetais (que depende igualmente dos tipos de resíduos).

Assim, abaixo de um certo limiar de restituição de biomassa ao solo, os sistemas não conseguem manter a taxa de matéria orgânica do solo e a sua fertilidade (ou de as melhorar, quando se inicia o processo em graus muito baixos). A baixa produção e/ou restituição de biomassa (aérea e/ou radicular) provoca também restrições que podem levar a uma baixa rentabilidade, ou mesmo, a uma perda de rendimento (mau controle de plantas daninhas por uma palhada insuficiente, etc.).

Contrariamente, quando as restituições são superiores a esse limiar, o solo enriquece progressivamente, e tanto mais rapidamente quanto maior for a quantidade de biomassa restituída.

Na prática, isso tem quatro incidências principais no manejo da biomassa em PDCV:

- em climas temperados ou muito secos, o potencial de produção de biomassa é limitado (pelas temperaturas ou pela escassez de água), mas as necessidades de biomassa para manter a matéria orgânica no solo são menores do que num clima quente e úmido com elevada mineralização (e potencial de produção muito elevado). Da mesma forma, é mais difícil produzir biomassa a partir de um solo degradado, pobre em matéria orgânica, mas a quantidade de biomassa que deve ser introduzida para melhorar as suas características é menor do que sobre um solo rico em matéria orgânica, porque as perdas por mineralização são menores;
- em função do clima, do solo, da intensidade de utilização das terras (e, portanto, do potencial de produção de biomassa suplementar) e da pressão sobre essa biomassa (necessidade de forragens, etc.), a implementação de sistemas PDCV é mais ou menos difícil. Quanto maior a pressão e/ou quanto mais baixo é o potencial de produção, mais difícil é fazer funcionar os sistemas PDCV em boas condições, e menos atrativos são quando não há utilização de fertilizantes adicionais minerais ou orgânicos, que permitem «intensificar» a produção de biomassa.

Estes fertilizantes poderiam ser subsidiados, podendo ser considerados como um investimento no «capital solo», da mesma forma que uma melhoria agrícola. Contrariamente, quando a pressão sobre a biomassa é baixa ou o potencial de produção é elevado, estes sistemas são simples de implementar e particularmente eficazes;

### O modelo Hénin-Dupuis (1945)

O modelo de Hénin-Dupuis é um modelo simples da dinâmica da matéria orgânica, com dois componentes (húmus estável e matéria orgânica fresca), que permite prever a sua evolução ao longo do tempo ( $dC/dt$ ), e que está em função:

- da quantidade de matéria orgânica fresca aportada (A);
- da sua taxa de transformação em húmus estável ( $K_1$ , coeficiente de humificação, que depende essencialmente do clima, da qualidade da matéria orgânica fresca e do solo);
- do estoque inicial de carbono no solo (C); e
- da sua taxa de mineralização ( $K_2$ , coeficiente de mineralização que depende principalmente do clima, do solo e do seu modo de manejo).

Assim, a variação da taxa de carbono (matéria orgânica) no solo  $dC/dt = K_1A$  (os aportes) -  $K_2C$  (as perdas por mineralização).

Para manter a taxa de matéria orgânica do solo (sem variação, portanto,  $dC/dt = 0$ ) os aportes devem permitir cobrir as perdas ( $K_1A = K_2C$ ). Assim, quanto maior o estoque de carbono inicial do solo, e quanto mais rápida é a mineralização ( $K_1$  elevado dos climas quentes e úmidos e/ou sistemas com trabalho do solo), mais elevada é a quantidade de matéria orgânica fresca a aportar.

Se  $K_1A < K_2C$ , os aportes não permitem compensar as perdas e o sistema «solo» perde a matéria orgânica e degrada-se. Contrariamente, se  $K_1A > K_2C$ , o sistema acumula matéria orgânica, com todos os benefícios a ele associados.

### Princípio de manejo da biomassa

O princípio de manejo da biomassa em PDCV é simples: acumular o máximo de biomassa (aérea e radicular), nos primeiros anos, para aumentar rapidamente a fertilidade dos solos e assegurar diversas funções.

Uma vez que a fertilidade (acumulada na biomassa e no solo) atingiu um grau que julgamos adequado, podemos ficar satisfeitos de restituir ao solo apenas uma biomassa suficiente para compensar as perdas por mineralização, e assegurar o controle de plantas daninhas. A biomassa produzida (em quantidade, sobre os solos tornados férteis) pode então ser parcialmente exportada para alimentação animal, ou para «recarga» em biomassa de novas parcelas PDCV.



Elevada biomassa radicular das gramíneas

### Adaptação dos sistemas ao meio e à pressão sobre a terra e a biomassa

Tipo de meio			Intensidade da utilização dos solos e necessidades em forragens		
			Fracas	Médias	Fortes
Duração da época de cultura (Precipitações + regime hídrico) x Temperatura	Longa (> 9 meses)	Sem estação fria Costa Este	Successões intra- anuais e inter- anuais (e associações) <b>Fácil de manejar</b>	Successões intra- anuais e inter- anuais (e associações) <b>Relativamente fácil de manejar</b>	Associações Successões intra- anuais e inter- anuais <b>Um pouco difícil de manejar*</b>
		Com estação fria Terras altas	Successões inter- anuais, associações (e successões inter- anuais) <b>Relativamente fácil de manejar</b>	Associações, successões inter- anuais (e intra- anuais) <b>Um pouco difícil de manejar*</b>	Associações, successões inter- anuais (e intra- anuais) <b>Manejo difícil*</b>
	Média (5 a 9 meses)	Centro- Oeste e Lago Alaotra	Successões inter- anuais e associações <b>Fácil de manejar</b>	Associações, successões inter- anuais <b>Relativamente fácil de manejar</b>	Associações, successões inter- anuais <b>Um pouco difícil de manejar*</b>
	Curta (< 5 meses)	Sudoeste e Grande Sul	Successões inter- anuais (e associações) <b>Relativamente fácil de manejar</b>	Associações, successões inter- anuais <b>Um pouco difícil de manejar*</b>	Associações, successões inter- anuais <b>Manejo difícil*</b>

\* «Manejo um pouco difícil ou difícil»: A sua implementação requer um bom domínio técnico. As melhorias pelos PDCV são lentas (ainda mais quando os solos estão degradados). A difusão dos PDCV nestas condições requer um acompanhamento dos agricultores ao longo de vários anos (tempo de aprendizagem por parte dos agricultores e de «pôr em marcha» os PDCV), medidas de proteção da biomassa (suspensão do direito coletivo de pastagem, cercas, etc.) e a eventual subvenção de fertilizantes para reduzir o tempo de entrada nos sistemas PDCV.

- em todos os casos, e quanto mais forte for a pressão sobre a biomassa, para «iniciar a bomba» dos sistemas PDCV, é necessário, nos primeiros anos, produzir uma biomassa muito elevada e de restituir tanto quanto possível ao solo. As parcelas melhoram assim de ano para ano.

### A biomassa radicular

O aporte de biomassa pelas raízes é difícil de medir, especialmente quando as contribuições de raízes muito pequenas (que se renovam rapidamente) e dos produtos de rizodeposição são importantes.

Em todos os casos, a produção de biomassa pelas raízes é considerável. Ela representa, muitas vezes, mais de 50% da produção total e pode ultrapassar 5 a 10 t/ha/ano de matéria seca, nas gramíneas.

Essa biomassa radicular dentro do solo, onde está protegida do gado (e é assim completamente restituída ao solo) mineraliza-se lentamente.

Uma vez restaurada a fertilidade, o ganho de produção de biomassa permite restituir ao solo apenas a quantidade necessária à manutenção (ou à lenta melhoria) da fertilidade do solo, e de exportar o suplemento para os animais (o que pode representar uma quantidade exportada superior à que teria sido produzida no total, antes da melhoria do solo);

- no caso de produção insuficiente de biomassa nos primeiros anos (ou de grandes quantidades exportadas para os animais, por um fogo incontrolado, etc.), não permitindo cobrir as perdas por mineralização e aumentar a taxa de matéria orgânica do solo, é necessário «recarregar» a parcela em biomassa para atingir um limiar que permita a melhoria do solo. Se nenhuma biomassa vegetal estiver disponível à volta da parcela, é preferível concentrar a biomassa disponível sobre apenas uma parte da parcela, de forma a permitir a sua melhoria, e de reiniciar um ano de preparação dos PDCV (com trabalho do solo) sobre a parte da qual a biomassa for removida.

### As necessidades em biomassa para compensar as perdas

Para um manejo eficaz da fertilidade dos solos, é útil fazer uma estimativa das necessidades de biomassa a serem restituídas para compensar as perdas por mineralização. Essas necessidades dependem principalmente:

- do clima, que determina em grande parte o coeficiente de mineralização K2;
- o tipo de biomassa, através do coeficiente de humificação K1;
- o estoque inicial de matéria orgânica do solo (C). Se os aportes de biomassa (aérea + radicular) se fazem com uma mistura de gramíneas e leguminosas, com um relação C/N média (e, portanto, com um coeficiente de humificação médio), e que partimos de uma parcela com uma taxa de matéria orgânica «média» na zona considerada, podemos estimar que:
  - nas terras altas de Madagascar, onde as baixas temperaturas limitam a mineralização, as necessidades em biomassa para compensar as perdas de carbono nos solos (3 a 4% de matéria orgânica) são de 7 a 9 t/ha/ano de matéria seca, em plantio direto sem trabalho do solo (enquanto que com o trabalho do solo são necessárias mais de 12 t/ha, por gerar maiores perdas por mineralização e erosão). Uma restituição ao solo de mais de 9 t/ha permite a acumulação de carbono e melhorar os solos. Por outro lado, uma restituição inferior a 7 a 9 t/ha/ano (em plantio direto) ou 12 t/ha/ano (com trabalho do solo) conduz a uma perda de matéria orgânica do solo, e tal é tanto mais rápida quanto menor for a quantidade restituída;
  - o limiar médio é bastante próximo em climas semi-áridos do Sul e do Sudoeste, onde a mineralização é limitada pela longa estação seca e onde a taxa de matéria orgânica do solo é bastante baixa (2 a 2,5%);
  - é, porém, superior à de regiões de altitude média, como no lago Alaotra (10 a 12 t/ha/ano, sem perturbação do solo, com 2 a 2,5% de matéria orgânica no início) e, sobretudo, no clima muito quente e úmido do Sudeste de Madagascar, onde 13 a 17 t/ha/ano de biomassa são necessárias para manter o estoque de carbono do solo, elevado no início (4 a 5% de matéria orgânica).

Se partimos de solos muito degradados (menos de 1% de matéria orgânica), os aportes necessários para manter o grau de matéria orgânica são muito mais baixos (menos de 2 t/ha de matéria seca podem ser suficientes para manter um nível muito baixo de matéria orgânica, na qual a fração estável domina). No entanto, é pouco satisfatório de se contentar em manter tais níveis de matéria orgânica, que não permitem a produção agrícola. Os níveis de aportes acima mencionados são interessantes para aumentar a fertilidade desses solos.

O manejo da biomassa deve ser feito igualmente à escala do terroir, utilizando tanto quanto possível as zonas não cultivadas (terras consideradas não cultivadas, fronteiras das parcelas, taludes, etc.) para aumentar a produção total de biomassa. A melhoria das pastagens naturais permite igualmente aumentar a produção total de biomassa ao nível de um terroir.

Essa biomassa pode ser utilizada para «reforçar» as coberturas das parcelas que precisam para um bom manejo em PDCV, para alimentar os animais (reduzindo assim a pressão sobre a biomassa das parcelas cultivadas) ou ainda para servir de material inicial para uma eventual queimada agrícola.

Quando, ao contrário, a produção de biomassa é muito elevada, esta pode prejudicar a implementação das culturas (como nas biomassas de brachiaria, de mais de 15 a 20 t/ha), especialmente em sistemas mecanizados. Deve-se então de maneja-la de forma a tornar o plantio mais fácil. Podemos, em particular, cortá-la e usá-la para os animais, ou mesmo queimá-la, em situações extremas (o fogo só destrói completamente os órgãos mais sensíveis com uma relação C/N baixa, como as folhas, porém poupa em grande parte os caules mais ou menos lenhificados, com uma relação C/N alta, ou seja, a matéria seca dominante que irá participar na formação do húmus).

### As necessidades de biomassa para aumentar a matéria orgânica do solo

Uma diferença entre «aportes de biomassa - perdas por mineralização» de 1 t/ha de matéria seca (ou seja, 450 kg de C) permite ganhar menos de 100 kg/ha de carbono no solo (para um coeficiente de humificação bastante elevado de 0,22).

Para aumentar a taxa de matéria orgânica do solo de 1% nos primeiros 20 centímetros do solo (que representam aproximadamente 2 000 toneladas de terra por hectare), deve-se aportar 20 t/ha de matéria orgânica ao solo, ou seja, 11,6 t/ha de carbono (1 kg de carbono equivale a cerca de 1,72 kg de matéria orgânica) o que corresponde a um aporte de mais de 50 a 100 t/ha de carbono na biomassa (para, respectivamente, um coeficiente de humificação elevado, 0,22, a baixo, 0,11) ou mais de 100 a 200 t/ha de matéria seca (para além do que é necessário para compensar as perdas por mineralização).

Os sistemas PDCV com resultados relativamente bons, que sequestram mais de uma tonelada de carbono/ha/ano realizam esse trabalho durante uma dezena de anos (4 a 5 anos para os sistemas com melhores resultados, com produção muito elevada de biomassa).

## 2. Manejo da fertilidade em PDCV

### 2.1. Restaurar a fertilidade

No modo de funcionamento do solo em plantio direto sobre cobertura vegetal permanente, os nutrientes estão concentrados na biomassa/serrapilheira/horizonte superficial, armazenados sob a forma orgânica e liberados regularmente pela mineralização, num solo vivo. O manejo da fertilidade e o manejo da biomassa realizam-se paralelamente.

Durante os primeiros anos de transição das técnicas tradicionais para o plantio direto, é necessário restaurar o mais rápido possível a fertilidade do solo e produzir a biomassa que constituirá a serrapilheira e enriquecerá o solo em matéria orgânica.

A restauração da fertilidade pode-se fazer por:

- mobilização dos elementos férteis presentes no solo (ou ar), mas pouco acessíveis naturalmente às culturas;

- aportes de elementos fertilizantes à parcela.

A mobilização dos elementos férteis do solo (em relação com a atividade biológica) pode fazer-se:

- rapidamente, por uma oxidação forte durante uma queimada agrícola, que consiste numa combustão lenta, a baixa temperatura, de uma parte da matéria orgânica do solo (matéria orgânica muito ácida e pouco ativa, que imobiliza os elementos minerais);
- progressivamente, através da utilização de «bombas biológicas», ou seja, plantas capazes de:
  - enraizar-se profundamente e reutilizar os nutrientes lixiviados, fora do alcance das raízes das culturas;
  - mobilizar os nutrientes fixados no solo sob uma forma pouco solúvel (em interação com a microflora);
  - fixar o nitrogênio atmosférico em simbiose com as bactérias associadas nos nódulos (leguminosas), ou livres (como para capim pé-de-galinha). O uso de leguminosas em sistemas de cultura é funda-

mental nos primeiros anos, quando o grau de matéria orgânica ainda é baixo, e a atividade biológica fraca. Nestes casos, a alimentação das culturas depende principalmente da fixação de nitrogênio por estas plantas, que têm também o interesse de favorecer a atividade biológica (as micorrizas em particular, que aumentam a capacidade de absorção pelas plantas).

A utilização de «bombas biológicas» realiza-se a um custo/trabalho muito baixo, mas necessita de tempo. Contrariamente, a queimada agrícola tem um efeito importante imediato, mas exige um trabalho mais intenso e uma disponibilidade de biomassa considerável para a combustão. Deve ser tomado em conta em culturas com alto valor agregado (como a batata).

Os aportes de elementos fertilizantes à parcela podem-se fazer:

- sob forma orgânica: transporte de biomassa trazida de um outro terreno para a parcela, ou aporte de estrume/estrume líquido, geralmente a baixo custo, mas com possíveis problemas de disponibilidade;
- sob a forma de adubos minerais (e de oligoelementos, se necessário), com um efeito imediato, muito evidentes, mas a um custo considerável e, portanto, com um risco a tomar em consideração.

### Utilização das «bombas biológicas»

A utilização das «bombas biológicas» é uma forma eficaz e pouco cara de restabelecer a fertilidade de um solo. Pela sua capacidade de extrair os nutrientes do solo pouco disponíveis e/ou reutilizar os lixiviados em profundidade, estas plantas são capazes de produzir uma elevada biomassa, mesmo em solos inadequados para numerosas culturas. Uma vez extraídos do solo e concentrados na biomassa, estes elementos são mineralizados e tornam-se utilizáveis pelas culturas.

Um bom manejo da fertilidade assim recuperada é, no entanto, fundamental. Se a biomassa produzida não é restituída ao solo, ou se as exportações pelas culturas (e as forragens) não são compensadas pelos aportes de adubos (orgânicos ou minerais), a fertilidade do sistema não pode ser mantida. Uma tal utilização «mineira» das «bombas biológicas» tem consequências catastróficas. Esta conduz a um esgotamento total dos solos, nos quais o nível de fertilidade cai tão abaixo, que até mesmo as «bombas biológicas» não poderão ser mais utilizadas.

Esse risco é particularmente importante em zonas de produção leiteira, onde essas plantas, que são também excelentes forragens, são muitas vezes vistas, principalmente, como uma oportunidade para aumentar a produção forrageira a menor custo. Os efeitos a médio prazo de uma tal prática de sobre-exploração, devem ser absolutamente bem assimilados, para permitir um bom manejo da fertilidade nestas situações.

Estes diferentes métodos para restaurar a fertilidade podem/devem ser combinados em função dos meios disponíveis (capacidade de investimento em capital e trabalho, possibilidade de não utilização da terra por um período sem produção de alimentos, etc.), dos riscos toleráveis, das culturas a serem implementadas e da fertilidade inicial do solo.

Uma baixa pressão fundiária oferece às «bombas biológicas» o tempo necessário para uma elevada produção de biomassa e simplifica muito a difusão dos PDCV. Contrariamente, uma forte pressão fundiária não permite imobilizar as parcelas para a sua regeneração. Neste caso:

- as «bombas biológicas» devem ser associadas a culturas pouco exigentes para permitir uma regeneração progressiva da fertilidade, o que exige um manejo cuidadoso dos sistemas; ou
- a fertilidade deve ser rapidamente aumentada, por aportes de adubo e/ou através de uma queimada agrícola, com os riscos que comporta um tal investimento.



**Restauração da fertilidade em função do estado de degradação dos solos e dos meios disponíveis**

Meios disponíveis		Estado de degradação do solo		
		Pouco degradado, bastante fértil	Degradado	Muito degradado
Espaço/ tempo disponível (fraca pressão fundiária)	Investimentos com riscos possíveis	Aportes de adubo «Bombas biológicas» (Queimada agrícola) Todas as culturas <b>Muito fácil de manejar</b>	«Bombas biológicas» Aportes de adubo Queimada agrícola Todas as culturas <b>Fácil de manejar</b>	«Bombas biológicas» (Aportes de adubo) Cultivo após vários anos <b>Um pouco difícil de manejar*</b>
	Investimentos sem riscos possíveis	Aportes de adubo «Bombas biológicas» (Queimada agrícola) Todas as culturas <b>Muito fácil de manejar</b>	«Bombas biológicas» Queimada agrícola (Aportes de adubo) Todas as culturas <b>Fácil de manejar</b>	«Bombas biológicas» Cultivo após muitos anos <b>Difícil de manejar*</b>
	Investimento em trabalho possível	«Bombas biológicas» Queimada agrícola Todas as culturas <b>Fácil de manejar</b>	Queimada agrícola «Bombas biológicas» Todas as culturas <b>Relativamente fácil de manejar</b>	
	Investimentos impossíveis	«Bombas biológicas» Todas as culturas <b>Fácil de manejar</b>	«Bombas biológicas» Culturas pouco exigentes <b>Relativamente fácil de manejar</b>	
Espaço/ tempo não disponível (forte pressão fundiária)	Investimentos com riscos possíveis	Aportes de adubo Queimada agrícola «Bombas biológicas» Todas as culturas <b>Muito fácil de manejar</b>	Aportes de adubo Queimada agrícola «Bombas biológicas» Todas as culturas <b>Relativamente fácil de manejar</b>	
	Investimentos sem riscos possíveis	Aportes de adubo Queimada agrícola «Bombas biológicas» Todas as culturas <b>Fácil de manejar</b>	Queimada agrícola «Bombas biológicas» (Aportes de adubo) Todas as culturas <b>Um pouco difícil de manejar*</b>	Não rentável a curto prazo
	Investimento em trabalho possível	Queimada agrícola «Bombas biológicas» Todas as culturas <b>Relativamente fácil de manejar</b>	Queimada agrícola «Bombas biológicas» Todas as culturas <b>Um pouco difícil de manejar*</b>	Investimento a longo prazo
	Investimentos impossíveis	«Bombas biológicas» Todas as culturas <b>Relativamente fácil de manejar</b>	«Bombas biológicas» Culturas pouco exigentes <b>Difícil de manejar*</b>	Planejamento de proteção das zonas em jusante <b>Impossível sem subsídio</b>

\* «Um pouco difícil, difícil ou muito difícil de manejar», sem aporte de fertilizante de correção consequente no início. Adoção dos PDCV difícil caso não haja adubos subsidiados no primeiro ano.

Em todos os casos, o investimento consentido na restauração da fertilidade do solo, deve garantir uma elevada produção de biomassa para preparar o plantio direto nos anos seguintes. Para isso, é necessário que as culturas e plantas de cobertura associadas sejam adaptadas ao grau de fertilidade do solo (grau de fertilidade inicial compensado pelos aportes). Num solo fortemente degradado, a fertilização das «bombas biológicas» pode ser necessária. Num solo moderadamente degradado, o cultivo de uma planta exigente (como o arroz ou o milho), só deve ser feito após a restauração do solo por outras plantas, ou com aportes significativos de fertilizantes (e, portanto, caros e arriscados). Um aporte de fertilização mineral (incluindo os

oligoelementos) insuficiente, permitindo apenas uma recuperação parcial da fertilidade para o cultivo de uma planta exigente pode ter consequências desastrosas para um agricultor. Os custos importantes, arriscam-se a não serem rentabilizados a curto prazo pela cultura, e a produção de biomassa arrisca-se a ser insuficiente para um manejo fácil em PDCV, no ano seguinte (não permitindo uma rentabilização do investimento a médio prazo). Em solos moderadamente ou pouco férteis, o cultivo de plantas exigentes impõe, portanto, um nível de fertilização importante no primeiro ano. No entanto, no momento que o plantio direto funcionar corretamente sobre uma elevada biomassa, os aportes de fertilização podem ser reduzidos.

De um ponto de vista agrícola (e econômico a médio prazo), a melhor solução consiste em concentrar os aportes de fertilizantes no primeiro ano, produzir uma elevada biomassa, e depois reduzir a fertilização nos anos seguintes. Esta prática é muito mais eficiente do que o aporte de uma fertilização média, durante vários anos consecutivos, que não permite a obtenção da biomassa «crítica» para uma entrada rápida nos sistemas PDCV, e seu funcionamento conveniente. Por isso é preferível usar, por exemplo, 300 kg/ha de NPK no primeiro ano, e 100 kg/ha nos três anos seguintes, em vez de 150 kg/ha, durante quatro anos consecutivos. Se os meios disponíveis não permitem esse investimento inicial necessário nos solos degradados, é preferível cultivar plantas menos exigentes (feijão, eventualmente com uma fertilização fraca, ervilha bambara ou mandioca), associadas às «bombas biológicas» que produzirão uma elevada biomassa. Preparamos assim as parcelas para um plantio direto em boas condições, tornando possível o cultivo de plantas exigentes, com meios limitados, no ano seguinte.

## Rentabilidade do investimento

A rentabilidade a curto prazo das práticas PDCV, depende muito do grau de degradação do solo. Os solos pouco, ou nada, degradados, permitem uma elevada produção de biomassa com poucos insumos, e trazem um retorno rápido de um eventual investimento na fertilização, com culturas exigentes, mas de alto valor.

A transição do plantio tradicional para o plantio direto é rápida e fácil. Por outro lado, os solos degradados necessitam de um investimento maior na fertilidade, com uma rentabilidade mais aleatória (e, portanto, um risco muito maior). Para além de um certo limiar de degradação do solo, a restauração da fertilidade necessita de tempo e de investimentos muito elevados, que não podem ser rentabilizados a curto prazo.

O investimento na fertilidade desses solos deve ser considerado (e manejado) como um investimento a longo prazo, num planeamento que permite, posteriormente, manter uma produção sustentável. A adoção das práticas PDCV, nestas condições, é claramente mais complicada e dependente do controle de fatores de produção a uma escala superior à parcela. É muito mais simples realizar a transição para os PDCV antes que esse limiar de degradação seja atingido.

## 2.2. Manter a fertilidade dos sistemas PDCV instalados

Uma vez acumulada a fertilidade na biomassa, na serrapilheira, e no horizonte superficial do solo, o manejo da fertilidade em sistemas PDCV limita-se a manter essa fertilidade, e a assegurar um turn-over rápido da matéria orgânica (para uma produção regular de biomassa, de qualidade variada).

A manutenção dessa fertilidade faz-se por:

- utilização nos sistemas de cultivo de plantas fixadoras de nitrogênio e/ou favorecendo o desenvolvimento de micorrizas;
- recurso às «bombas biológicas» para limitar as perdas por lixiviação (em particular durante os períodos sensíveis) e solubilizar os elementos que poderiam ser imobilizados no solo; e
- compensação das perdas (essencialmente pela exportação do terreno de sementes, tubérculos ou fibras e, eventualmente, as palhas) através de aporte de adubos minerais e/ou orgânicos.

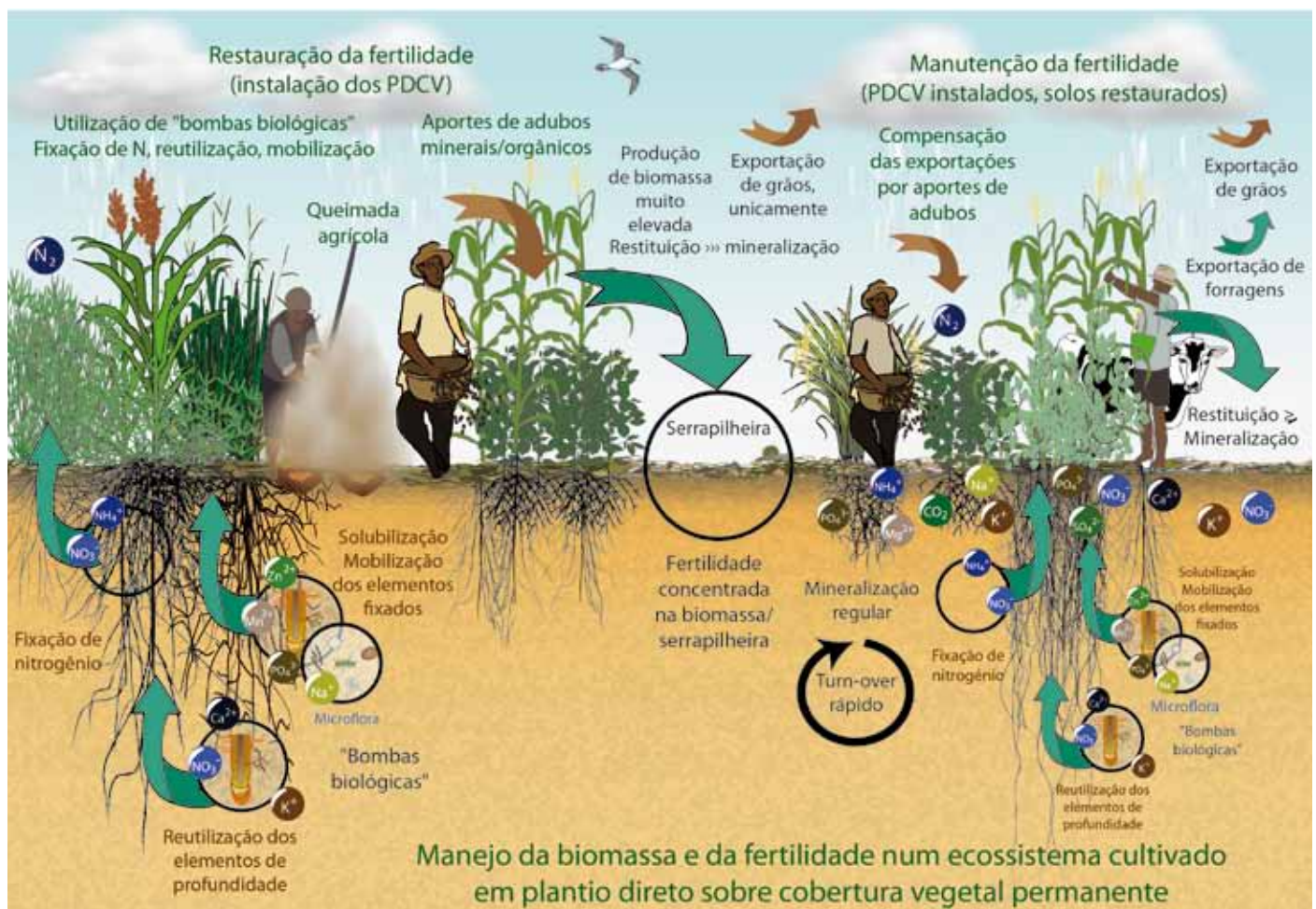
Um cálculo simples, baseado tanto no volume de colheita e nas forragens exportadas da parcela, quanto nos teores médios de elementos das diversas plantas, permite avaliar as quantidades exportadas, e de compensar-las com um aporte equivalente em adubo na estação seguinte (ver Volume II, Capítulo 2).

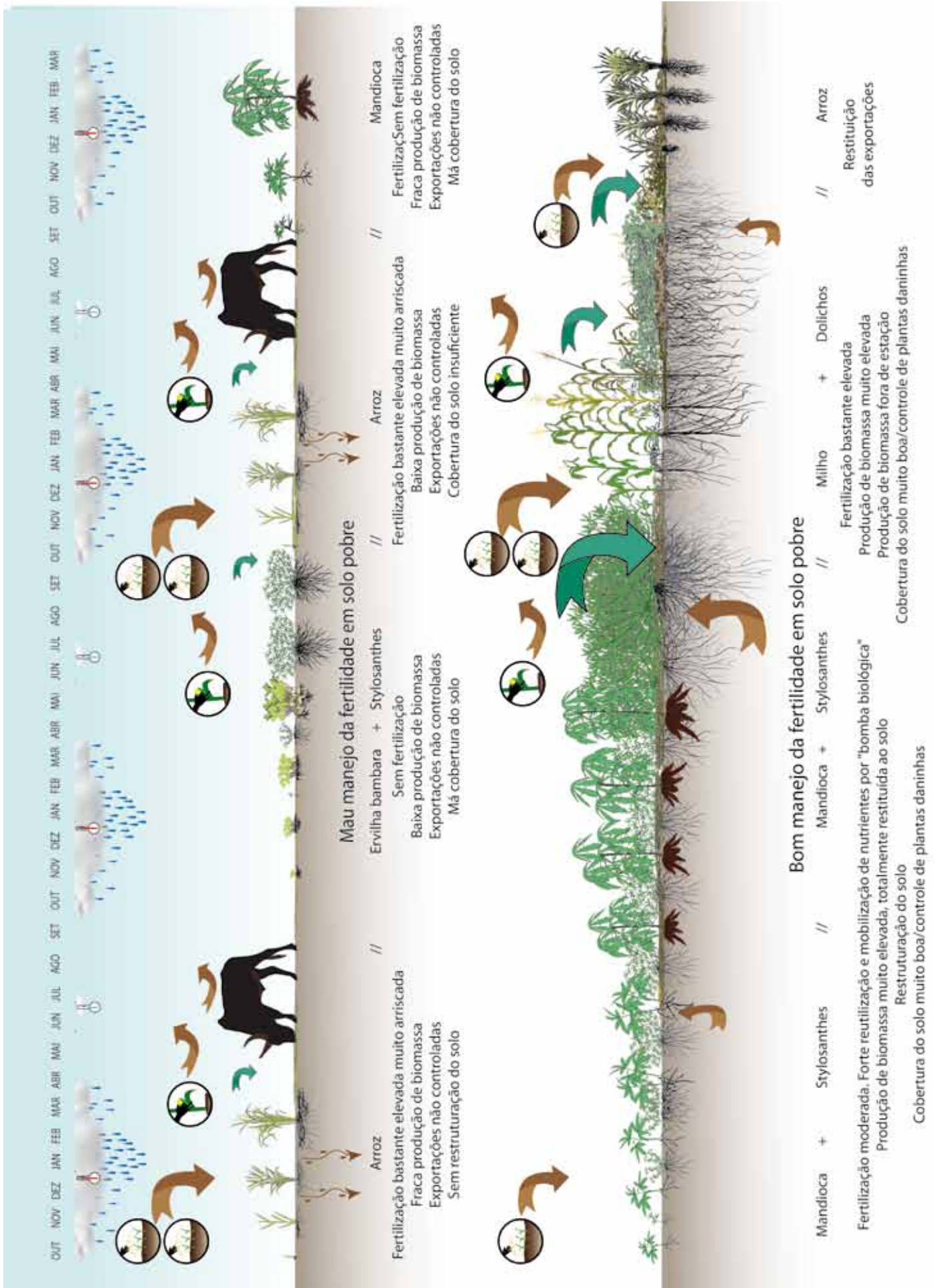
A principal dificuldade está na necessidade de antecipar uma quebra da produção de biomassa, para evitar que ela aconteça. Uma produção insuficiente de biomassa, que não permite cobrir as perdas, pode ter um efeito «neutralizador» dos sistemas PDCV e de tornar difícil o manejo desses sistemas para relançar a produção. Na ausência de meios de análise (muito caro), o manejo no campo, para evitar «esgotar» a fertilidade restaurada pode-se fazer por:

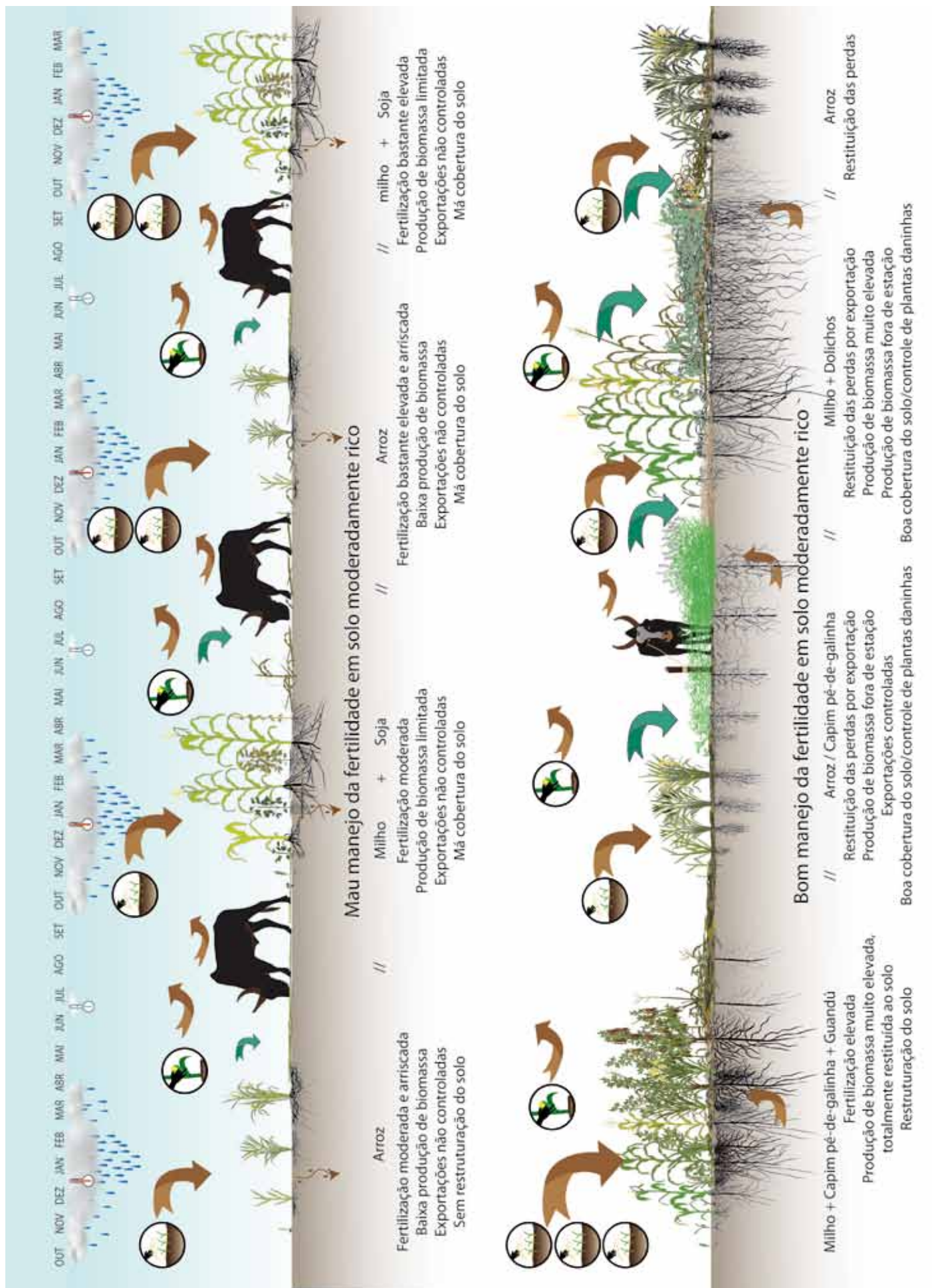
- seguimento exato da evolução dos rendimentos e a observação dos sinais de escassez nas culturas mais exigentes (diminuição inexplicável do rendimento, sintomas de carência, etc.), indicando que o sistema está a «apagando-se» e que a fertilização aportada não é suficiente;
- implantação nas culturas, de «áreas testemunhas», onde a densidade de plantas é muito maior (o dobro). Com uma tal densidade, o uso de nutrientes pelas plantas é maior do que na parcela «normal», e os sinais de carência aparecem antes que a cultura semeada com a densidade normal sofra. Ao aparecerem esses sintomas de carência na «testemunha» é possível completar a fertilização da parcela antes que a cultura sofra qualquer perda de rendimento (técnica simples de prevenção).



Aporte localizado de estrume e adubo mineral nos sulcos de plantagem







## 2.3. Como aportar a fertilização mineral e/ou orgânica



*Elevada produção de brachiaria fertilizada em solo degradado*

### Fertilizar a cultura ou fertilizar as «bombas biológicas» ?

Quando culturas e plantas de cobertura estão associadas, o uso dos adubos junto do pé da cultura dominante, permite o melhor manejo dos riscos de competição entre plantas, favorecendo a cultura comercial.

Porém, de maneira geral, o aporte de fertilizantes a uma cultura, quer seja de forma localizada ou distribuída por todo o campo, beneficia também as plantas de cobertura.

Essas «bombas biológicas» valorizam particularmente os adubos, que lhes permite produzir uma biomassa muito elevada, e estas contribuem em retorno para o bom funcionamento dos sistemas PDCV e à alimentação das culturas seguintes, após mineralização dessa biomassa.

Quando as culturas e as plantas de cobertura são cultivadas em sucessão, as «bombas biológicas» beneficiam-se do efeito da fertilização anterior aportada sobre a cultura principal.

Os primeiros anos de transição dos sistemas tradicionais para os sistemas PDCV, o aporte de fertilização principalmente à cultura (no mínimo 2/3 da fertilização normal sobre a cultura, e 1/3 sobre a planta de cobertura) é indispensável (especialmente nos solos pobres). No entanto, uma vez os sistemas PDCV instalados e funcionando sobre uma elevada biomassa/serrapilheira, é possível obter uma melhor valorização dos adubos minerais, aportando-os maioritariamente (2/3) às «bombas biológicas». Essas «bombas biológicas» vão transformar este adubo mineral em adubo orgânico, que será assim armazenado e liberado gradualmente para a cultura principal, que será alimentada de forma mais regular. No entanto, as condições de acesso ao crédito para uma pequena propriedade rural familiar (taxas de juro, duração dos empréstimos, garantias solicitadas) são frequentemente muito restritivas. A aplicação deste princípio de manejo para a otimização agronômica dos aportes de adubos minerais é difícil nessas condições. Além disso, o ajuste do uso de fertilizantes às condições climáticas do campo, ou aos imprevistos, só pode ser feito sobre a parte de adubos que ainda não foi aplicada.

### Evitar os bloqueios de nitrogênio

Sobre uma palhada pobre em nitrogênio (sem leguminosa), os processos de mineralização (que a com o tempo vão liberar nitrogênio solúvel) podem conduzir, num primeiro tempo, a uma importante imobilização do nitrogênio (utilizado pelas bactérias). Um cereal (ou o algodoeiro), instalado em tal cobertura, corre o risco de sofrer uma intensa deficiência de nitrogênio no início do ciclo, muito prejudicial ao seu desenvolvimento. Para evitar este fenômeno, podemos:

- preparar as coberturas à base de leguminosas, se desejamos implementar uma cultura de cereais ou de algodoeiro;
- controlar a cobertura várias semanas antes da implementação da cultura, o que permite obter uma liberação de nitrogênio no momento do plantio, ocorrendo assim numa altura em que os processos de mineralização estão avançados.

No entanto, nem sempre é possível tratar uma tal cobertura a tempo, e devemos então:

- efetuar um aporte de nitrogênio (30 a 50 kg N/ha) no plantio, indispensável para todas as culturas de cereais ou de algodoeiro sobre uma palhada de gramíneas que inicia a sua decomposição.

### 3. Manejo da estrutura do solo em PDCV

Nos solos compactados, a instalação de sistemas PDCV com bons resultados passa por uma descompactação rápida do solo. No ano zero da preparação dos PDCV, o recurso à descompactação mecânica em profundidade (subsolagem) necessita de um material específico e é muito caro. O que só pode ser considerado apenas para culturas com alto valor agregado.

É preferível utilizar plantas de cobertura capazes de desempenhar esta função rapidamente (como o capim pé-de-galinha, as brachiárias, a grama seda ou o sorgo), instaladas no ano «zero» da preparação dos PDCV (muitas vezes depois da aração).

Estas plantas, graças ao poder dos seus sistemas radiculares e à sua capacidade em favorecer o desenvolvimento de uma atividade biológica intensa, permitem ao solo encontrar rapidamente uma estrutura favorável. A sua elevada produção de biomassa permite, igualmente, alimentar os processos de armazenamento de matéria orgânica e de agregação, necessários para à constituição sustentável de uma boa estrutura.



*Restruturação do solo pelos sistemas radiculares poderosos e pela atividade biológica - Milho sobre desmodium*

Durante o tempo em que o solo é descompactado pelas plantas reestruturantes, é preferível apenas instalá-las em associação com culturas tolerantes à compactação, quer pelo facto de possuírem um sistema radicular forte, ou porque elas se contentam com uma enraização superficial. Quanto mais restritivo for o clima, mais arriscado é implementar no ano «zero» plantas exigentes tal como o arroz, que necessita de uma boa macroporosidade e de importantes quantidades de água.

Posteriormente (em sistemas PDCV instalados), todas as culturas são possíveis. A intensa atividade biológica, a recarga do solo em carbono e a cobertura vegetal (papel de proteção) contribuem para manter uma boa estrutura do solo. Algumas associações/sucessões de culturas nem sempre são suficientes para manter sustentavelmente uma estrutura favorável. Em tal situação, a tentação de recorrer à aração é muitas vezes forte, mas apresenta muitas desvantagens: este faz perder rapidamente os muitos benefícios obtidos durante vários anos, sem perturbação do solo. É muito mais eficaz inserir regularmente (todos os 2 a 5 anos) plantas com elevado poder reestruturante nos sistemas de cultura.

### 4. Manejo de plantas daninhas no PDCV

O manejo de plantas daninhas é um ponto crucial nos primeiros anos, durante a transição entre as práticas convencionais e os sistemas em PDCV. Quando a produção de biomassa é insuficiente (em particular nos primeiros anos, em solos pouco férteis) para assegurar uma boa cobertura do solo, a tentação de arar novamente o solo é muitas vezes forte (quando temos falta de experiência no manejo destes sistemas). É absolutamente necessário evitar o retorno à aração, e para tal implementar práticas (sem trabalho do solo) que permitam um bom controle de plantas daninhas (perenes ou anuais) durante os anos de transição. A escolha das culturas e plantas associadas no início, deve de ter em conta a flora presente, e visar produzir uma elevada biomassa para controlar essa flora, utilizando eventualmente as propriedades alelopáticas das coberturas. Em todos os casos, a primeira etapa consiste em controlar as plantas perenes.

#### 4.1. Controle de plantas perenes no ano «zero»

Uma planta perene já instalada faz uma forte concorrência a uma planta anual (cultura), mesmo se ela for cortada ou arada (em particular, as plantas com rizomas e/ou estolhos):

- o seu brotamento é geralmente mais rápido do que o da planta anual por semente, o que faz que a planta perene domine rapidamente a cultura;
- o seu sistema radicular é muitas vezes mais potente e profundo do que o da planta anual, criando uma forte competição pela água e nutrientes.



Instalação de caupi sobre *Cynodon dactylon*, controlado com herbicida

Além disso, o corte destas plantas perenes durante a cultura é difícil, e o seu controle químico requer o uso de herbicidas seletivos específicos (muito caros e/ou indisponíveis em Madagascar). Portanto, é indispensável controlar as plantas perenes antes da instalação da cultura.

Para a utilização em cobertura viva (feijão ou caupi sobre grama seda, por exemplo), o controle normalmente é feito pelo uso de herbicida total em dose reduzida (ver Volume II, Capítulo 2). O objetivo é de travar o crescimento da planta perene durante um tempo (cerca de 45 dias), suficiente para permitir que a cultura se desenvolva e domine a cobertura viva, mas sem matar esta última, para que esta volte a se desenvolver naturalmente após a colheita da cultura principal.

Para a instalação de sistemas PDCV sobre cobertura morta (ou de sistemas sobre cobertura viva, mas com outra planta perene), as plantas perenes devem ser totalmente controladas.

Este controle (ver Volume II, Capítulo 2) é feito através de:

- aplicação do herbicida total, em fortes doses (de preferência no final da estação das chuvas anterior, sobre as plantas em vegetação ativa, antes da floração, e que deverão atravessar a estação seca);
- aração no início da estação seca, associada ou não, à aplicação de herbicidas totais em dose fraca, seguido de nova(s) aração(s) e arranque das plantas que conseguiram sobreviver.

Para as plantas perenes particularmente resistentes (*Cynodon dactylon*, *Cyperus rotundus*, *Imperata cylindrica*, etc.), o controle pode ser completado com a implementação de plantas particularmente eficazes em limpar as parcelas, como a ervilhaca, a mucuna enana ou o stylosanthes. Uma vez eliminadas as ervas daninhas perenes da parcela, a reinfestação é evitada por controle manual ou por aplicação localizada de herbicida total sobre eventuais brotos (antes que elas sejam capazes de produzir sementes). Portanto, o manejo de plantas daninhas em PDCV instalados limita-se essencialmente às plantas daninhas anuais.

#### 4.2. Controle de plantas daninhas anuais

No ano «zero» de preparação dos PDCV, o controle de ervas daninhas anuais, caso necessário, faz-se, essencialmente através de aração e da utilização de herbicidas (ver Volume II, Capítulo 2). As associações de culturas implementadas devem reduzir a pressão das plantas daninhas. No entanto, elas dificultam a utilização de herbicidas seletivos. Se o controle pelas coberturas é insuficiente no ano «zero» e as associações não permitem o uso de um herbicida seletivo, o controle dessas plantas daninhas faz-se por corte, ou de preferência, por arranque manual, o que exige um trabalho considerável. Quando a pressão das plantas daninhas é forte, é então preferível instalar em primeiro lugar uma cultura fácil de retirar as ervas daninhas (como o milho ou sorgo), associada a plantas que cobrem rapidamente o solo (leguminosa volúvel, por exemplo) e/ou que têm efeitos alelopáticos marcados (como a aveia). As recomendações técnicas podem também ser adaptadas para controlar da melhor forma as plantas daninhas anuais: alta densidade para cobrir rapidamente o solo, plantio muito precoce, variedades de ciclo curto, etc.



Controle das ervas daninhas pela palhada  
Foto: K. Naudin



Algumas ervas daninhas com características particulares, e que podem ser verdadeiras pragas vegetais (como a striga), podem ser controladas por sistemas particulares (ver Volume I, Capítulo 3. § 3). Nos anos seguintes, sobre PDCV instalado, o controle de ervas daninhas anuais é feito principalmente pela cobertura vegetal, que se for suficiente, impede o aparecimento da maioria das plantas daninhas, quer seja por efeito de sombreamento ou por efeitos alelopáticos de plantas utilizadas na cobertura.

Quanto mais a cobertura do solo for alimentada regularmente, e quanto mais as coberturas comportarem plantas «de limpeza» (capazes de dominar as outras), melhor será o controle.

Em caso de eventuais brotos (em particular se um período sem cultura permitiu esses brotos), a aplicação de um herbicida total em dose fraca antes da implementação de culturas, é suficiente para preparar a parcela (ver Volume II, Capítulo 2). A ausência de trabalho do solo faz que o estoque de sementes não aumente em condições favoráveis à germinação. Apenas as sementes de plantas daninhas produzidas na parcela no ciclo anterior e as transportadas pelo vento, ou pelos animais, são capazes de germinar.



*Aveia: planta de «limpeza» com efeitos alelopáticos marcados*

Se a cobertura vegetal é regularmente alimentada, em quantidade suficiente, a pressão pelas ervas daninhas diminui progressivamente. No entanto, se a cobertura vegetal deixa de cobrir suficientemente o solo (sistema PDCV mal controlado, imprevistos na cultura, interesse econômico muito forte em exportar a biomassa do terreno, etc.), o controle de plantas daninhas necessita da utilização de herbicidas seletivos (quando eles estão disponíveis) ou o arranque manual das ervas daninhas (antes de produção de sementes). O recurso ao corte deve ser evitado sempre que possível, pois causa a perturbação do solo, acelera a mineralização e, conseqüentemente, reduz ainda a cobertura vegetal e corre o risco de aumentar a pressão de plantas daninhas (além de fazer perder as aquisições agrônômicas dos anos precedentes em PDCV). A manutenção da cobertura vegetal do solo, que deve de ser tão permanente quanto possível, é, portanto, um ponto-chave no manejo de plantas daninhas.

## 4.3. Controle das plantas de cobertura

Para evitar que uma planta de cobertura se transforme em planta daninha, o seu manejo deve ser adaptado ao sistema de cultura. De maneira geral, não se deve deixar que as culturas de cobertura criem semente, quando queremos cultivar novamente as parcelas, exceto:

- no caso em que queremos propositadamente que a cobertura, que será morta para implementar a cultura, possa se reinstalar naturalmente, sem necessidade de replantar-la. Este caso se limita às plantas com arranque lento (como o *stylosanthes* ou a ervilhaca), que não correm o risco de entrar em competição com a cultura seguinte;
- se dispusermos de um herbicida seletivo para a cultura a implementar, que controla bem a planta de cobertura.

Em todos os outros casos, quanto mais «agressiva» é a cobertura vegetal e quanto mais a sua espécie for próxima da cultura a ser implementada (o que faz com que ela seja muito difícil de controlar com o uso de um herbicida seletivo), mais difícil será de controlar-la na cultura seguinte e mais importante é de não a deixar criar sementes.

## 5. Manejo de pragas em PDCV

### 5.1. Manejo da fauna prejudicial

O manejo de insetos e de outros animais prejudiciais (lesmas, nematoides, etc.) em PDCV se faz principalmente através de uma nutrição equilibrada (o que reduz a acumulação nas plantas de açúcares redutores e de aminoácidos livres, muito apreciados pelos insetos) e com base nos princípios da luta integrada, por:

- instalação de um equilíbrio ecológico, que permite o desenvolvimento das populações de auxiliares, predadores de pragas das culturas;
- utilização de plantas inseticidas, nematicidas e/ou repulsivas nos sistemas de cultura. Quanto mais forte é a pressão pelas pragas, mais deve-se incluir nos sistemas plantas que permitam o seu controle;
- criação, através das práticas PDCV, de um ambiente propício ao bom desenvolvimento de organismos entomo-patogênicos (*Beauveria sp.*, *Bacillus thuringensis*, etc.) e, eventualmente, pela sua inoculação.

A instalação de um equilíbrio ecológico e de uma alimentação equilibrada necessita, porém, de tempo (de alguns meses a vários anos, dependendo do estado de degradação do ecossistema). Nos primeiros anos, durante o tempo necessário para atingir o equilíbrio, o controle de pragas faz-se:

- tanto quanto possível, pela utilização de culturas pouco sensíveis às principais pragas (podemos, por exemplo, começar pelas culturas de leguminosas em meios infestados com *Heteronychus sp.*).
- pelo uso racional de pesticidas.

A utilização de pesticidas (especialmente os de amplo espectro), desfavoráveis ao estabelecimento de um equilíbrio ecológico, deve ser reduzida ao mínimo, unicamente em caso de pressão muito forte, apenas sobre as culturas sensíveis, e com tratamentos o menos prejudiciais possível (tratamento de sementes de preferência, com as substâncias ativas o mais seletivas possível, em dose baixa). Os tratamentos do solo, particularmente prejudiciais para a sua fauna e flora, devem ser evitados tanto quanto possível.

### 5.2. Manejo de vírus, bactérias e fungos patogênicos

Da mesma forma, as principais doenças são controladas em PDCV pela melhoria do estado nutricional das plantas e da atividade da microflora (secreção de elicitores, de antibióticos, etc.). Durante o tempo necessário para restaurar a atividade biológica do solo, o controle de doenças (especialmente as doenças fúngicas) é feito principalmente por:

- uso combinado de espécies e variedades resistentes;
- aportes de fertilização fracionados, tanto quanto possível sob a forma orgânica, de forma a evitar os picos de nitrogênio mineral no solo (e, conseqüentemente, nas plantas).

O uso de fungicidas é, como para os outros pesticidas, limitado ao mínimo, o seu impacto sobre a atividade da microflora é extremamente negativo. Se a pressão fúngica é tal que um tratamento é indispensável, ele deve ser feito sobre a forma de menor impacto indesejável possível (tratamento de sementes, em dose fraca, com a substância ativa o mais seletiva possível). O uso de pesticidas em elevadas doses, mesmo que este possa ter um efeito positivo a curto prazo, tem um efeito muito negativo na saúde das plantas a médio prazo, devido ao seu impacto sobre a atividade biológica do solo e na fisiologia das plantas.



Arroz muito saudável após *stylosanthes*  
Foto: Rakotondramanana

## 6. Manejo do calendário de trabalho e do material em PDCV

De um modo geral, as práticas PDCV e a sua diversidade oferecem uma grande flexibilidade de manejo do calendário de trabalho. Em PDCV, as três principais cargas de trabalho são o tratamento das coberturas antes do plantio, o plantio e a colheita.

Na agricultura manual, o tratamento das coberturas pode ser feito mais ou menos cedo, em função das limitações do trabalho. Este pode ser feito principalmente durante o período seco, quando a carga de trabalho nas propriedades rurais é geralmente baixa. Além disso, a possibilidade de semear culturas na estação seca ou logo no início da estação das chuvas, permite repartir a carga de trabalho para a preparação das parcelas e o plantio. Ela torna possível a implementação muito precoce das culturas.

O equipamento necessário na pequena agricultura familiar limita-se a um pulverizador tipo mochila (que pode ser partilhado por várias propriedades rurais), útil para os eventuais tratamentos fitosanitários ou herbicidas.

Na agricultura mecanizada, apenas o material de plantio é específico dos sistemas PDCV, porque este deve permitir o plantio direto na palha. Há uma variedade de semeadores (e pulverizadores): manuais, de tração animal, pequenos e grandes mecanizados. A ausência de aração permite limitar a força motora necessária (e, portanto, o investimento), e reduz significativamente o desgaste dos materiais e os gastos de combustível. O custo da mecanização é, portanto, muito menor em plantio direto em relação à agricultura mecanizada convencional.

Além disso, a melhor capacidade de carga e a secagem rápida dos terrenos permitem a entrada nas parcelas com material pesado em quase todos os momentos, tendo apenas que aguardar poucas horas após fortes chuvas. Isto permite, claramente, otimizar os tratamentos orientando-os para o melhor momento. Finalmente, é possível colher uma cultura e semear uma outra planta a lanço (adaptação de um semeador sobre a ceifeira), o que permite realizar sucessões de plantas num tempo mínimo, mesmo durante o período muito ocupado da colheita.

O manejo do trabalho (e dos equipamentos) em sistemas PDCV é reduzido assim, ao repartir os períodos de elevada carga de trabalho (controle das coberturas, plantio e colheita), «jogando» com os ciclos de espécies e variedades a serem utilizadas na propriedade rural, para evitar que os trabalhos importantes se sobreponham ou entrem em competição com outras atividades.

## 7. Integração agricultura/pecuária em PDCV

Os sistemas de plantio direto sobre cobertura vegetal permanente funcionam com base na otimização da produção e manejo da biomassa, e privilegia os aportes de matéria orgânica. Consequentemente, devem ser integrados com os sistemas de pecuária, particularmente com animais de grande porte (bovinos, ovinos, caprinos, suínos, etc.) que são simultaneamente consumidores de biomassa, produtores de adubos orgânicos e podem fornecer uma força de trabalho utilizada pelos sistemas de cultura.

Em função das situações, e em particular em função das possibilidades de produção de biomassa e da importância dos sistemas de pecuária nos sistemas agrícolas, a integração agricultura-pecuária pode-se fazer mais ou menos facilmente, e pode representar uma «porta de entrada», ou ao contrário, uma trava à difusão das técnicas de PDCV. Em qualquer dos casos, os sistemas PDCV devem ser ponderados em função do lugar da pecuária na propriedade rural, e ao nível do povoado. Esta adaptação se faz particularmente com base no tipo de produção animal e na forma de manejo comunitário (ou não) dos recursos forrageiros.

## 7.1. Adaptação dos sistemas PDCV à pressão sobre a biomassa (necessidade em forragem)



*Enfraquecimento da Brachiaria ruziziensis devido ao pastoreio excessivo*

Nos meios onde a pressão sobre a biomassa é relativamente fraca (poucos animais a serem alimentados em relação às superfícies disponíveis e ao potencial de produção), a integração da agricultura PDCV/pecuária não apresenta nenhum problema. A alimentação dos animais não se faz em detrimento da restituição de biomassa ao solo, e a pecuária pode servir facilmente de apoio às culturas, fornecendo força de trabalho e sobretudo adubos orgânicos, de qualidade. A melhoria da integração entre agricultura e pecuária é feita principalmente pelo manejo dos animais: a facilitação da sua alimentação (eventualmente através da produção de forragens nos sistemas PDCV) e recolha de estrume nas estrumeiras, melhoria da saúde animal (alimentação e cuidados veterinários), etc.

Quando a pressão dos animais aumenta, e com ela as necessidades em forragem para a sua alimentação, a integração entre agricultura e pecuária deve ser feita de forma a otimizar a utilização da biomassa. Esta depende principalmente das possibilidades de aumentar a produção de biomassa total graças às práticas de PDCV, do interesse econômico da pecuária comparativamente às culturas, e do modo de manejo dos recursos ao nível do terroir. Existem muitas possibilidades, mais ou menos fáceis de manejar, em função das situações. Elas devem ser adaptadas localmente, caso a caso.

Quando a carga animal se aproxima da carga máxima que pode suportar um ambiente (sem super-exploração), independentemente do seu manejo, a integração agricultura/pecuária torna-se particularmente delicada e depende muito do interesse comparativo das culturas em relação à pecuária e ao modo de manejo de recursos ao nível dos terroirs. Somente um manejo ótimo das plantas forrageiras é capaz de restituir uma quantidade de carbono suficiente ao solo graças ao seu sistema radicular, e cujas exportações do solo são compensadas pelos aportes de adubo que permitem manter a fertilidade. Tal manejo só é possível se os recursos forem manejados individualmente e se a pecuária for uma fonte principal de rendimentos para as propriedades rurais (como na criação de gado leiteiro), permitindo-lhes uma certa intensificação (restituições dos nutrientes exportados).

Além desta carga máxima que pode suportar um ambiente, a pecuária é do tipo «esgotadora», retirando da fertilidade dos solos e causando a sua degradação rápida. Os sistemas não podem ser sustentáveis, qualquer que seja o seu manejo.

## 7.2. Adaptação dos sistemas PDCV à forma de manejo dos recursos forrageiros

Quanto mais aumenta a carga animal ao nível de um terroir, mais meticuloso deve ser o manejo dos recursos. A otimização da produção de biomassa, que é feita principalmente por associações/sucessões de culturas e por um manejo da fertilização, só pode ser feita se os benefícios provenientes dessas práticas reverterem para aqueles que os executaram (individualmente ou coletivamente). Assim, a prática muito frequente de direito coletivo de pastagem, que permite a todos os animais de «divagar» nas parcelas após a colheita, é um grande obstáculo que limita as possibilidades do bom manejo da biomassa.

Esse obstáculo pode ser resolvido por:

- modificação das regras locais, a fim de permitir a proteção da biomassa nas parcelas daqueles que dão

prioridade às suas culturas e querem utilizar a biomassa disponível para a regeneração do solo pelas práticas PDCV. Tal modificação das regras locais passa por uma boa compreensão do interesse em manter uma elevada taxa de matéria orgânica no solo, e uma tomada de consciência coletiva do impacto nos solos e nas culturas relacionado com a exportação excessiva de biomassa. Ela pode, no entanto, enfrentar as relutâncias dos «grandes» agricultores, que têm um grande número de animais a serem alimentados, e que não podem assegurar a alimentação dos seus animais unicamente nas suas propriedades rurais. Estes agricultores têm muitas vezes uma forte influência nas decisões coletivas por causa da importância que lhes confere a posse de tal número de animais. Esta opção é também muito difícil de ser implementada no caso de uma atividade pecuária itinerante.

- a introdução de plantas de cobertura de uma cultura vigente em todas as estações (como a mandioca, por exemplo), o que impediria o acesso dos animais às parcelas (segundo as regras locais). A «cultura» assim implantada pode ser conduzida de forma muito extensiva, com densidade muito baixa, e sem qualquer investimento. O seu interesse principal não é a obtenção de produção (muito aleatório fora dos períodos de cultura habituais), mas sim o desempenho do seu papel de protecção da biomassa;
- podemos ainda, como um último recurso, utilizar plantas de cobertura não apetecíveis para os animais, como a crotalaria. Esta opção tem a vantagem de poder ser usada em todas as situações, mas limita fortemente as possibilidades dos sistemas e não permite ao próprio agricultor um uso parcial da biomassa para a alimentação dos seus animais.

### 7.3. Adaptação dos sistemas PDCV ao tipo de atividade pecuária

Dependendo da vocação da atividade pecuária, as possibilidades de integração com o sistema PDCV são mais ou menos variadas, e mais ou menos fáceis de implementar.

#### Produção animal comercial (leiteira ou de carne) intensiva

Este tipo de produção animal tem a desvantagem de uma exportação elevada de biomassa do terreno, e a vantagem de ser conduzida individualmente, e muitas vezes com confinamento dos animais, o que permite um bom manejo da fertilidade: produção de estrume de qualidade e obtenção de rendimentos (gerados a partir da venda de produtos), que permitem reinvestir em adubos para manter a fertilidade das parcelas (destinadas em primeiro lugar à produção de forragens). Para essas propriedades rurais predominantemente forrageiras, a regeneração das pastagens, através da implementação de uma cultura associada em PDCV é uma opção interessante.

#### Produção animal comercial (leiteira ou de carne) extensiva e culturas

Para as propriedades rurais com produção mista de policultura-pecuária, os sistemas mistos PDCV oferecem muitas possibilidades. Os sistemas que associam plantas e culturas de cobertura permitem (de uma forma variável) aumentar a forragem disponível. O manejo da fertilidade é facilitada pelos rendimentos fornecidos pela pecuária e pelo modo de produção (alimentação no estábulo, que permite produzir um estrume de qualidade). A parte das culturas forrageiras pode ser adaptada em função das evoluções dos preços relativos dos produtos da pecuária e das culturas.

A principal dificuldade está no equilíbrio entre a restituição e utilização de biomassa em forragem, principalmente nos primeiros anos, quando a maioria da produção deve ser restituída ao solo para a sua melhoria. Devemos também resistir à tentação de aumentar a carga animal em detrimento das restituições ao solo, e isso especialmente quando os preços dos produtos animais são comparativamente mais interessantes do que os da agricultura.



*Direito coletivo de pastagem após a colheita  
Lago Alaotra*

### Produção animal para força de tração

O número de animais de tração é geralmente baixo, mas estes são objecto de muita atenção de forma a assegurar-lhes uma boa alimentação e um bom estado sanitário. A integração nos sistemas PDCV pode ser feita pela produção de forragens, principalmente nos períodos chave (antes da grande carga de trabalho), e pela redução das necessidades de força de tração. A produção de estrume contribui para restituir os nutrientes exportados da terra.

### Produção animal de «capitalização»

O status social conferido pela posse de animais é muito importante em muitos países do sul. Além disso, o papel de «poupança» que desempenham os animais é muitas vezes preponderante. Consequentemente, a posse de animais tem muito frequentemente um papel essencial de capitalização. Muitas vezes, estes animais utilizam os recursos comunitários, o que é muito difícil de gerir. A prática do direito coletivo de pastagem permite aos animais de se alimentarem, durante uma parte do ano, de recursos que não são individualizados. Quando a carga animal ao nível de um terroir não é muito elevada, a fertilidade pode ser mantida a essa escala. No entanto, quando a carga aumenta, a pressão torna-se muito forte e este tipo de produção animal «esgota» os recursos naturais. Infelizmente, no quadro de uma utilização comunitária dos recursos (direito coletivo de pastagem), quando o meio é muito constrangedor (clima semi-árido, por exemplo), ou se degrada, e que as produções vegetais são pouco rentáveis, uma «adaptação» muito comum dos agricultores é de partir individualmente para este tipo de produção animal «desgastadora» para tirarem vantagem dos recursos comuns. Encontramos assim, rebanhos muito grandes em meios semi-áridos, enquanto que o baixo potencial de produção de biomassa deveria, pelo contrário, limitar o número de animais. Estes animais são muitas vezes obrigados a percorrer longas distâncias para se alimentarem (produção animal itinerante), o que reduz ainda mais as atuações dos sistemas pecuários. Em tal situação de forte penúria de recursos e a falta de possibilidades para manejar esses recursos, a integração agricultura/pecuária é particularmente difícil. A única possibilidade para manter uma biomassa suficiente no solo é a de recorrer a plantas de cobertura não apetecíveis para os animais.



Parque de alimentação de bois de tração

## 8. PDCV e árvores

Os princípios do PDCV, que copiam o funcionamento de um ecossistema florestal, permitem integrar de diversas formas as árvores nos sistemas, que se tornam sistemas agroflorestais (com cobertura vegetal permanente do solo).

### 8.1. Restruturação do solo antes do plantio



Plantação de acácias após restruturação do solo por brachiaria.

Em solos degradados e fortemente compactados, a restruturação dos solos pelas gramíneas com sistema radicular muito poderoso (como a *Brachiaria brizantha* cv. *Marandua*) é um pré-requisito para todas as plantações arbustivas (reflorestamento, plantação de pomar) em boas condições. Quando as árvores utilizadas são leguminosas (acácia, etc.), a fixação de nitrogênio beneficia as gramíneas que se desenvolvem mais rapidamente e cumprem melhor a sua função de descompactação.

## 8.2. Proteção dos solos nos pomares e plantações

A cobertura do solo pelas plantas perenes permite proteger e enriquecer os solos e controlar as plantas daninhas nos pomares e plantações. As coberturas vivas são introduzidas de preferência antes do plantio das árvores. Estas devem poder manter-se sob forte sombreamento (como o *Arachis repens*) para assegurar as suas funções, em particular nas plantações densas de árvores, que permitem entrar pouca luz.

As plantas trepadeiras (como *Arachis pintoii*, *Stenotaphrum secundatum*, *Axonopus compressus*), uma vez introduzidas, exigem pouca manutenção (eventualmente, um controle à volta das árvores, em caso de déficit hídrico). As plantas eretas (como *Stylosanthes guianensis* ou as brachiárias) podem ser cortadas à volta das árvores jovens, de forma a evitar a competição pela luz, e eventualmente controladas (química ou mecanicamente) à volta das árvores em caso de competição pela água. As plantas volúveis (como a puerária) não devem ser implantadas próximo das árvores, porque o seu controle exige um trabalho considerável e frequente.

As coberturas à base de leguminosas, pela sua fixação de nitrogênio atmosférico, do qual as árvores tiram proveito, são particularmente interessantes. Em meios secos, a implantação de plantas capazes de permanecer verdes durante muito tempo, inclusive na estação seca (como *stylosanthes*), permite limitar os riscos de propagação de incêndios.

Uma parte da biomassa produzida pode ser utilizada para a alimentação dos animais após o corte (em particular quando as árvores são ainda jovens) ou pastagem (quando as árvores não correm mais o risco de serem danificadas).



Pomar de pêsesgos sobre cobertura de trevo

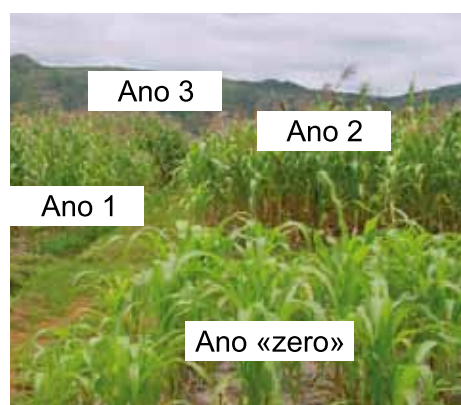
## 8.3. Plantações de árvores de alto valor

A cultura em PDCV de plantas anuais intercaladas com fileiras de árvores, antes destas fecharem a sua copa, permite obter uma produção nos primeiros anos após o plantio, quando as árvores ainda não estão produzindo, mas deixam entrar a luz. Esta permite igualmente a implantação a um custo menor de uma cobertura vegetal perene sob as árvores. Da mesma forma, o plantio de árvores produtivas a médio prazo (frutíferas, seringueiras, coqueiros, etc.) intercaladas com espécies de crescimento muito lento, mas de alto valor (teca, *dipterocarpus mimosa*, etc.), permite obter rendimentos regulares durante o longo período de crescimento dessas espécies de grande valor econômico. Além dos benefícios consideráveis obtidos a prazo, estas associações permitem proteger a biodiversidade ao produzirem estas espécies raras, em vez de explorá-las no seu meio natural.

## 9. Manejo de riscos e PDCV

O manejo dos riscos é um ponto crucial na agricultura, e particularmente no contexto de uma pequena propriedade rural familiar. Em geral, a prática dos sistemas PDCV em sistemas bem instalados reduz bastante os riscos e assegura uma produção estável e resiliente:

- o risco climático é reduzido, graças a uma grande reserva de água útil, a temperaturas tamponadas, ao ajuste dos ciclos de culturas nos períodos ideais, à mistura de espécies e/ou variedades, etc. É até mesmo possível conduzir as culturas com um risco limitado nas zonas e/ou períodos nos quais estas não são possíveis na agricultura convencional (ou com um risco muito elevado);
- a pressão das ervas daninhas e pragas é geralmente reduzida;
- os custos de produção (e portanto, os investimentos) são baixos uma vez que os sistemas bem instalados podem funcionar corretamente com um mínimo de insumos;
- a diversidade das produções reduz os riscos agrícolas e o risco econômico das flutuações dos mercados, etc.



*Rendimentos crescentes, com o passar dos anos, em plantio direto*

O principal risco que se deve controlar é, portanto, aquele que está relacionado à transição dos sistemas convencionais para os PDCV, durante os primeiros anos, tempo necessário para que todas as funções ecossistêmicas asseguradas por esses sistemas estejam ativas. Este período é de tal forma mais crítico que necessita de um aumento da fertilidade do solo (e, portanto, um investimento em tempo e/ou insumos) e o tempo de trabalho para conduzir os sistemas, só é sensivelmente reduzido uma vez que os sistemas estão funcionando bem, depois da acumulação de uma elevada quantidade de biomassa. No entanto, uma vez passados os primeiros anos (sempre com a tentação de voltar a trabalhar o solo, quando surge um problema), quando os agricultores dominam estas técnicas de plantio direto e tomam consciência de suas vantagens, raramente abandonam o plantio direto.

Esta fase de transição é particularmente sensível em pequenas propriedades rurais familiares, cujos meios de investimento e capacidade de correr riscos são muito limitados.

Para reduzir esses riscos, os investimentos mais arriscados, ou seja, os que envolvem mais dinheiro (em primeiro lugar estão os aportes de adubo), só devem ser feitos quando o risco de fracasso é limitado e, portanto, quando todas as condições para o sucesso sejam reunidas a tempo: sistema de cultura adaptado às condições, plantio precoce no período mais favorável (incluindo, se necessário, forma de evitar os períodos de risco de granizo ou de ciclone), meios de controle disponíveis contra plantas daninhas e pragas, etc.

Além desses fatores agronômicos, dois outros fatores mais difíceis de controlar, devem ser adquiridos:

- a segurança da produção. Um risco elevado de roubo da produção no terreno (infelizmente, frequente em Madagascar) é uma trava considerável ao aumento da produção agrícola (qualquer que seja a forma). Ao aumentar o risco de não ter retorno dos investimentos feitos, o interesse em intensificar as produções diminui;
- a segurança da propriedade da terra. O risco de não ter o benefício a médio prazo das práticas melhoradoras reduz o interesse de fazer um investimento na fertilidade de uma parcela a longo prazo (a menos que esse investimento possa ser rentabilizado a curto prazo, como a queimada agrícola com batata ou associação mandioca + brachiaria, que tem efeitos marcados no rendimento da mandioca nesse mesmo ano).



Quanto maiores os riscos de fracasso e menor a capacidade do agricultor de suportar um fracasso, mais estes se devem focalizar em sistemas com baixo investimento (e, portanto, menor risco): culturas pouco exigentes, restauração progressiva da fertilidade através da utilização de «bombas biológicas», etc.

## 10. Complexidade e aprendizagem do PDCV

A prática do PDCV requer um certo número de conhecimentos, em particular o conhecimento do material vegetal e o domínio do seu maneio, que se adquire ao longo do tempo. É portanto, necessário um período de aprendizagem.

Por outro lado, existe entre a vasta gama de sistemas PDCV possíveis, níveis de complexidade muito variáveis. Alguns sistemas, como aqueles sobre cobertura morta à base de **Stylosanthes guianensis**, são extremamente simples de implementar, oferecem uma grande flexibilidade, são aplicáveis em numerosas situações e/ou são pouco afetados pelas modificações nas recomendações técnicas. Contrariamente, outros sistemas como aqueles sobre cobertura viva (muito eficazes) exigem um domínio técnico muito elevado, insumos específicos, um calendário e recomendações técnicas muito precisos, etc.

Durante o período de aprendizagem (quer seja dos quadros e dos técnicos, quer dos agricultores), é preferível começar com os sistemas o mais simples possível, mesmo se o seu potencial de produção é inferior ao dos sistemas mais complexos. Um sistema simples bem conduzido é mais produtivo do que um sistema complexo mal conduzido!

À medida que aumenta o conhecimento sobre as plantas e o domínio técnico dos sistemas, torna-se possível de aumentar a complexidade dos sistemas: introduzindo um maior número de plantas para diversificar as funções ecossistêmicas desempenhadas por esses sistemas, manejar-los de uma forma mais precisa, com insumos mais específicos, etc.



Parcela de aprendizagem da escola do plantio direto

## 11. Conclusões. Manejo integrado dos sistemas PDCV

Os sistemas PDCV, pela diversidade e multi-funcionalidade das plantas sobre as quais estes se baseiam, permitem:

- assegurar as funções indispensáveis para um bom funcionamento do ecossistema;
- prestar um grande número de serviços ecossistêmicos gratuitos.

Esses sistemas funcionam principalmente como um todo, e devem ser geridos de forma integrada a fim de assegurar as múltiplas funções fundamentais. Assim, o manejo da fertilidade não pode ser separado do manejo de plantas daninhas ou de pragas, e não pode deixar de tomar em conta as necessidades da pecuária ou as condições dos mercados, por exemplo.

Além do manejo do ecossistema cultivado em PDCV no seu conjunto, é necessário considerar os sistemas de cultivo no tempo, durante vários anos a fim de:



*Feijão após aveia*

- assegurar uma produção de biomassa suficiente para um plantio direto cada ano. Deve-se, em particular, guardar permanentemente uma biomassa suficiente para assegurar o controle de ervas daninhas e a manutenção da fertilidade e, portanto, antecipar constantemente, para garantir boas condições para a estação seguinte. No entanto, é possível, por exemplo, produzir plantas de maior interesse para os agricultores, mas que produzem pouca biomassa, na condição de produzir no ano precedente uma elevada quantidade de biomassa, e/ou instalar em sucessão uma planta que permita obter uma biomassa suficiente antes da cultura seguinte;
- manejar a fertilidade ao longo do tempo, alternando plantas com funções e necessidades diversas, começando pelas plantas capazes de eliminar as principais restrições (compactação, baixa fertilidade, acidez, ervas daninhas, etc.);

- controlar as ervas daninhas. O controle de plantas perenes deve, por vezes, ser feito vários meses antes da implementação da cultura no ano «zero», no final da estação das chuvas precedente. Posteriormente, o manejo de plantas daninhas é feito principalmente pelo controle de plantas daninhas anuais graças à cobertura vegetal permanente e, portanto, está muito ligada à cultura precedente.

O manejo integrado no espaço e no tempo baseia-se principalmente na escolha das culturas e das plantas associadas ou em sucessão nos sistemas de cultura, e em parte, na escolha das recomendações técnicas.

É necessário um acompanhamento preciso e observações rigorosas da evolução das condições na parcela. A diversidade das plantas e dos sistemas oferece possibilidades de adaptação a aspectos que trazem grandes dificuldades agrônômicas (clima, solos, etc.) e sócio-econômicas (pressão sobre a biomassa, meios disponíveis, condições dos mercados, etc.). No entanto, cada um destes aspectos reduz o número de sistemas possíveis e/ou o seu funcionamento e interesse. Quanto mais numerosos e fortes são as dificuldades (grau de degradação do meio, pressão sobre a biomassa, mercados, etc.), mais difícil e complicado é de conceber e implementar os sistemas, permitindo eliminar rapidamente todas essas dificuldades. A margem de manobra é reduzida. É por isso necessário tempo, e a difusão destes sistemas é mais difícil e mais lenta do que em meios menos adversos, que oferecem uma ampla gama de possibilidades.



*Associação milho + stylosanthes*



