Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
Departamento de Produção Vegetal



# MILHO

## *Manejo e Produtividade*

A.L.Fancelli
D.Dourado Neto

Piracicaba
2009

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Departamento de Produção Vegetal

# MILHO

## Manejo e Produtividade

DOI: 10.11606/9788586481055

A. L. Fancelli
D. Dourado Neto
(editores)

Piracicaba – SP
2009

ISBN - 978-85-86481-05-5




**Catalogação na Publicação**
**DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Milho: manejo e produtividade [recurso eletrônico] / editores Antonio Luiz Fancelli e Durval Dourado Neto. - - Piracicaba : ESALQ/Departamento de Produção Vegetal, 2009.
181 p. : il.

ISBN: 978-85-86481-05-5
DOI: 10.11606/9788586481055

1. Milho - Manejo 2. Produtividade I. Fancelli, A. L., ed. II. Dourado Neto, D., ed. III. Título

CDD 633.15

Elaborada por Maria Angela de Toledo Leme - CRB-8/3359

## MILHO: MANEJO E PRODUTIVIDADE


| Capítulo | Título e Autor | Páginas |
|---|---|---|
| 1 | Mercado de milho: realidade e perspectivas<br>***Vlamir Brandalizze, Brandalizze Consulting*** | 1-12 |
| 2 | Viabilidade técnica da antecipação do nitrogênio na cultura de milho<br>***Waldo Alejandro Ruben Lara Cabezas, APTA*** | 13-34 |
| 3 | O manejo de plantas invasoras na perspectiva da Agroecologia<br>***Carlos Armênio Kathounian, USP***<br>***Luiz Antonio Odenath Penha, SEAB*** | 35-53 |
| 4 | Problemas emergentes em sistema plantio direto<br>***Antonio Luiz Fancelli, USP*** | 54-59 |
| 5 | Nutrição e adubação de milho<br>***Antonio Luiz Fancelli, USP*** | 60-97 |
| 6 | Manejo de população de genótipos de milho<br>***Durval Dourado Neto, USP***<br>***Antonio Luiz Fancelli, USP***<br>***Pedro Abel Vieira Júnior, Embrapa***<br>***Paulo Augusto Manfron, UFSM*** | 98-131 |
| 7 | Doenças de milho: importância e aspectos práticos de manejo<br>***Marcos Massamitsu Iamamoto, MIC*** | 132-147 |
| 8 | Alternativas de culturas para rotação em plantio direto<br>***Antonio Luiz Fancelli, USP*** | 148-153 |
| 9 | Uso eficiente da água<br>***Paulo Augusto Manfron, UFSM***<br>***Durval Dourado Neto, USP*** | 154-176 |
| 10 | Uso de indutores de resistência: conceito, realidade e perspectivas<br>***Sérgio F. Pascholati, USP***<br>***Patrícia Cia, IAC*** | 177-181 |

# MERCADO DE MILHO: REALIDADE E PERSPECTIVAS

**Vlamir Brandalizze**

Engenheiro Agrônomo, Consultor e Conferencista do Agronegócio
+(41)3779.8719, +(41)9973.3459.
brandalizze@uol.com.br

## INTRODUÇÃO

O milho nesta última década tomou o primeiro posto entre os alimentos mais produzidos no mundo, superando o trigo que vinha em primeiro lugar mantendo ritmo ao redor das 600 milhões de toneladas a levemente acima, mas o milho devido a dois fatores importantes cresceu em ritmo acelerado, passando das 600, 700 e agora em busca de ir à casa das 800 milhões de toneladas, porque o consumo segue em ritmo maior que o avanço da produção. O consumo para produção de energia (etanol) e para ração seguem como destaque para o milho.

O quadro geral de oferta e demanda de grãos tem grande importância para o milho, porque se tivermos sobras de outros produtos, como trigo usado também em ração ou a Soja, que tem mostrado safra menor que a demanda e podem servir para puxar para baixo ou para cima as cotações.

A produção mundial de grãos na safra 2008/2009 foi de aproximadamente 2,2 bilhões de toneladas e consumo pouco acima das 2,1 bilhões e assim depois de vários anos com o consumo maior que a produção, mesmo assim as cotações seguem em ritmo ascendente. Enquanto isso a nova estimativa da safra que estamos entrando 2009/10, teremos uma safra de pouco mais de 2,1 bilhões de toneladas, para um consumo próximo das 2,2 bilhões de toneladas, ou seja, novamente teremos a demanda superando o consumo e dando apoio para que as cotações continuam avançando. A FAO tem apontado que os alimentos continuam tendo avanço nas cotações e desta forma indo de encontro ao avanço na população mundial, que segundo o mesmo órgão, cresce acima de 70 milhões de pessoas por ano e junto a isso temos a ascensão econômica de uma boa fatia da população de países pobres ou emergentes, que saem da pobreza para a linha de consumidores de alimentos, que no caso atual superam a marca das 100 milhões de pessoas por ano. Com exemplo temos a China que coloca cerca de 40 milhões de pessoas da classe baixa para a classe média que entra como consumidora e também temos a Índia que devido ao avanço econômico também coloca cerca de 30 milhões de pessoas para estes mesmos patamares. Além destes dois países, temos crescimento em outros da própria Ásia e também na África e América do Sul e desta forma aumenta-se consideravelmente o consumo mundial de alimentos.

Tabela 1.1. Oferta e demanda mundial de grãos (em milhões de toneladas).

| Safra | 2009/2010* | 2008/2009* | 2007/2008 | 2006/2007 |
|---|---|---|---|---|
| Estoque Inicial | 440 | 360 | 341 | 388 |
| Produção | 2.187 | 2.224 | 2.120 | 2.005 |
| Consumo | 2.179 | 2.144 | 2.101 | 2.052 |
| Estoque Final | 448 | 440 | 360 | 341 |

Fonte: USDA, elaboração Brandalizze Consulting. (*) Dados ainda não definitivos.

## PANORAMA INTERNACIONAL

A produção mundial dos grãos esta distribuídas em poucos produtos, tendo como domínio o Milho, seguido pelo trigo, Arroz e a Soja e pouco de outros produtos que entram apenas como complementares e de consumo localizado e volumes menores, como é o caso do Feijão. O trigo que teve recorde de safra em 2008/2009, superando a casa das 682 milhões de toneladas, mostra nèste ano queda no potencial produtivo, com grandes perdas devido ao clima, com indicativos que venha para menos de 650 milhões de toneladas e desta forma terá menos produto para ser usado para ração e dará ao milho maior fôlego para os próximos meses.

Tabela 1.2. Produção mundial de grãos (em milhões de toneladas).

| Produto | 2009/2010* | 2008/2009* | 2007/2008 | 2006/2007 |
|---|---|---|---|---|
| Milho | 785 | 787 | 791 | 712 |
| trigo | 657 | 682 | 609 | 596 |
| Arroz | 448 | 443 | 433 | 420 |
| Soja | 241 | 212 | 221 | 236 |
| Feijão | 19,5 | 19,0 | 19,5 | 19,5 |

Fontes: USDA, Brandalizze Consulting. (*) Dados ainda não definitivos.

No caso do milho temos visto que nesta safra, problemas climáticos, redução da área, como é o caso dos EUA, devem limitar a safra e mesmo com avanço forte na tecnologia empregada neste cereal que é o produto que no momento mais responde a investimentos, porque sai de produtividades da faixa dos 4 mil kg para mais de 12 toneladas com tecnologias que estão à disposição de todos os produtores e mostra chances de ir acima dos 15 mil kg por hectare com acompanhamento correto das lavouras e desta forma, mesmo com queda na área plantada e limitação de plantio devido ao clima, que vem prejudicando as lavouras em países como a China que esta perdendo áreas agrícolas para o aumento da desertificação e desta forma para conseguir manter a produção ou crescer segue-se avançando em tecnologia. Como o mundo tem pouco espaço novo para plantar a saída para atender a demanda crescente que teremos nos próximos anos será a tecnologia, que para o milho é abundante e desta forma teremos crescimento da oferta do produto, porque além da necessidade crescente, temos cotações atraentes que dão boa margem de lucratividade aos produtores.

## Domínio americano

A produção mundial do milho continua tendo os EUA como principal produtor e maior exportador, com mais de 300 milhões de toneladas sendo produzidas e destas, próximo ou acima das 50 milhões sendo exportadas e desta forma atendendo a maior parte do mercado internacional que normalmente movimenta perto das 80 milhões de toneladas por ano. Enquanto isso temos visto a Argentina perdendo fôlego neste ultimo ano e mostrando baixo potencial para o novo ano e assim deixando espaço para o Brasil crescer na exportação neste ano e no próximo como segundo maior exportador mundial do grão. A China esta passando por graves problemas climáticos, porque o país enfrenta forte estiagem neste ano, mas como as notícias que saem do país são controladas e o governo teme que informar perdas venha trazer nova pressão de alta nos grãos, retém o máximo que pode os dados, e desta forma ficamos na expectativa para confirmar, mas pelo quadro climático que não mostra chuvas há muitas semanas em cima das áreas que tem milho, tudo aponta que o país terá perdas entre 5 a 10 milhões de toneladas na safra e desta forma o numero apontado pelo USDA neste novo ano em 162,5 milhões de toneladas, pode estar otimista e podemos esperar que o numero final tende para casa abaixo das 160 milhões de toneladas e desta maneira deixando os chineses fora do mercado de exportação, porque normalmente vendem na região entre 3 e 5 milhões de toneladas, e para não terem que reduzir os estoques internos podem optar pela saída da exportação e deixar espaço para novos fornecedores, porque em princípio não querem aparecer como importadores de milho neste ano, mas certamente nos próximos, devem aparecer e com muito apetite, porque o consumo interno esta crescendo em ritmo acelerado e a produção esta chegando a limites que dificilmente poderão ser quebrados nos próximos anos. Os Chineses são os maiores consumidores de alimentos do mundo e mostram grande potencial de continuar crescendo nos próximos anos, com indicativos que a cada ano que passa necessitarão de 30 a 40 milhões de toneladas a mais de grãos para suprir a demanda que avança aceleradamente.

Os Argentinos sofreram com a seca neste ano e desta forma de uma safra esperada em 22 milhões de toneladas fecharam com 12,7 milhões de toneladas e desta forma deixando de exportar grandes volumes e para a safra nova o quadro da safra não devera avançar muito, porque a baixa produção esta deixando os produtores descapitalizados, junto à com o governo local sem recursos para alavancar à nova safra, caminham para perda de área e tecnologia. A soja também foi fortemente prejudicada com perdas na produtividade e desta forma não cobrindo os custos. Agora esta andando a safra de trigo do país, que esta com a menor área plantada em mais de 100 anos e assim deixando o setor agrícola portenho em situação complicada e com baixo potencial para investimento neste novo plantio do milho.

A África do Sul que já foi um grande exportador de milho, não tem conseguido evoluir na produção porque o país sofre com problemas climáticos constantes e desta forma tem ficado com safra ao redor das 12 milhões de toneladas, mas como o consumo local avançou forte nos últimos anos, saltando das 7 para mais de 11 milhões de toneladas, deixou o país em situação de exportador de até 5 milhões de toneladas por ano, para embarques que não superem a marca de 1 milhão de toneladas e desta maneira os países vizinhos, que anteriormente abastecidos pelo milho Africano, agora estão tendo que buscar o produto em outras origens, com bom volume de milho dos EUA chegando para suprir as necessidades destes países. Lembramos que boa parte dos países Africanos, são os que mais mostram crescimento da economia nestes últimos anos, com isso a demanda de alimentos cresce de maneira acelerada ao passo que a produção não consegue acompanhar no mesmo ritmo e aumenta-se a necessidade de importações.

Tabela 1.3. Produção mundial de milho (em milhões de toneladas).

| Países | 2009/2010* | 2008/2009* | 2007/2008 |
|---|---|---|---|
| 1- EUA | 307,1 | 307,4 | 331,2 |
| 2- China | 162,5 | 165,5 | 152,3 |
| 3- Brasil | 54,0 | 50,5 | 58,6 |
| 4- Europa(CEE) | 56,9 | 62,4 | 47,5 |
| 5- México | 24,0 | 25,0 | 23,6 |
| 6- Argentina | 15,0 | 12,7 | 22,0 |
| 7- África do Sul | 11,5 | 12,0 | 13,2 |
| Mundo | 785,1 | 787,8 | 791,6 |

Fonte: USDA, Brandalizze Consulting. (*) Estimativas.

**Consumo caminha para superar 800 milhões de toneladas**

O quadro geral de Oferta e Demanda Mundial do milho segue mostrando avanço constante no consumo, enquanto a produção não segue a mesma linha, como visto no quadro dos principais países produtores, que enfrentam problemas econômicos e principalmente climáticos. Desta forma segue-se consumindo os estoques que nos momentos de safra cheia se formam e rapidamente são consumidos. A demanda do milho segue em duas frentes importantes, sendo a principal para o setor de ração e nestes últimos anos, crescendo a segunda frente que vem do setor de energia limpa, ou do Etanol, que tem como principal consumidor os EUA, que avançou forte e caminha para continuar nesta linha nos próximos anos. O setor de ração também tem crescido de maneira acelerada porque com crescimento da economia mundial, abrem-se espaços para o aumento do consumo de carnes de frangos, suínos, bovinos, leite, ovos, peixes, principalmente, todos com grande necessidade de ração e dentro deste o milho como o principal produto em volume.

O quadro geral de oferta e demanda tem avançado mais na linha da demanda do que na linha da produção, com a primeira estimativa da safra 2009/2010 apontando para pouco mais de 780 milhões de toneladas, em condições normais, sem perdas, que já começam aparecer e tendem a diminuir o volume final da colheita, ao passo que a estimativa do consumo para este novo ano veio com certo temor frente à crise econômica internacional que esta passando mais rápido do que estava previsto e caminha para superar a marca das 800 milhões de toneladas, porque os níveis apontados em 796,5 milhões apontados pelo USDA, vêm de maio de 2009, quando a crise ainda estava prejudicando a economia americana e desta forma trazendo pessimismo, fato que não estamos vendo neste mês de junho e tudo aponta que o segundo semestre deste ano será de boa demanda mundial de ração e assim o consumo crescente. Também não podemos esquecer do consumo humano que tem avançado forte nos países mais pobres, porque o arroz que normalmente supria esta demanda, não consegue crescer em produção e desta forma segue mantendo cotações em alta e dificultando a importação por países pobres e desta forma o milho segue como melhor alternativa para a alimentação de países carentes. Como podemos ver no quadro de oferta e demanda, teremos forte queda nos estoques mundiais neste novo ano e isso sinaliza que as cotações em 2010 devem ser melhores do que as praticadas atualmente. Os EUA que são os formadores dos preços do milho no mercado mundial, estão com a relação entre estoque e consumo nos menores níveis desde a década de 60, ou seja, a mais de 40 anos e isso devera servir de apelo positivo para as cotações nos próximos meses no mercado mundial, que caminha para operar na faixa dos US$190,00 a US$220,00 por tonelada nos portos de origem.

Tabela 1.4. Oferta e demanda mundial (em milhões de toneladas).

| | 2009/2010* | 2008/2009 | 2007/2008 |
|---|---|---|---|
| Estoque inicial | 139,6 | 130,4 | 109,1 |
| Produção | 785,1 | 787,8 | 791,6 |
| Importações | 79,3 | 75,6 | 98,3 |
| Oferta total | 924,7 | 918,2 | 900,7 |
| Ração | 484,6 | 481,2 | 496,5 |
| Consumo interno | 311,9 | 297,4 | 273,8 |
| Exportações | 81,1 | 76,9 | 98,8 |
| Consumo total | 796,5 | 778,6 | 770,3 |
| Estoques finais | 128,2 | 139,6 | 130,4 |

Fonte: USDA, Brandalizze Consulting. (*) estimativas.

## Consumo crescente no setor energético

A demanda de milho para a produção de Etanol é crescente e podemos ver no quadro, como evoluiu nos EUA, que domina esta tecnologia e mantém o cereal como fonte principal de produção deste Biocombustível e mantém

grandes investimentos privados e apoio governamental na busca de diminuir o impacto que o Petróleo provoca no aquecimento global. Desta forma seguira crescendo forte na produção e consumo, porque os americanos têm como objetivo chegar a 2017 com os Biocombustíveis representando 20% do volume de combustíveis consumidos nos EUA. Desta forma terão necessidade crescente do uso do milho para este segmento de consumo. Atualmente a demanda de Etanol esta na faixa dos 8% do volume de combustíveis consumidos e para chegar à meta dos 20% terá que crescer muito desta forma como aponta o USDA, sairá das 95,3 milhões de toneladas de milho usadas neste ano para mais de 104 milhões de toneladas nesta nova safra, confirmando crescimento acelerado no quadro americano, que no começo da década tinha o etanol com participação de 7% no volume da safra do milho dos EUA, e agora nesta nova safra, caminha para representar acima dos 33%. Com avanço da demanda de milho para a produção do Etanol nos EUA, tem promovido dois fatores altistas para as cotações, com redução dos estoques finais americanos e menor potencial de exportação de milho pelo país, que tende a ter limitação de venda em 2010 e deixará espaço crescente para novos fornecedores.

Tabela 1.5. Evolução do consumo de milho para produção de etanol nos EUA (em milhões de toneladas).

| Safra | 2009/10* | 2008/09 | 2007/08 | 2006/07 | 2005/06 | 2001/02 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Consumo | 104,1 | 95,3 | 76,8 | 53,8 | 38,1 | 18,5 |

Fonte: USDA, elaboração Brandalizze Consulting (*) estimativas iniciais

O consumo do Etano nos EUA vem sendo estimulado pelo governo do Presidente Obama, que neste ano divulgou um pacote de auxilio e estimulo para que os consumidores americanos conheçam este novo combustível, para isso liberou uma linha de credito de 1,8 bilhões de dólares, buscando atrair os consumidores para este combustível que não causa poluição como a gasolina e diminui o aquecimento global. O quadro de consumo e produção do Etanol de milho nos EUA tem evoluído acima do ritmo visto no Brasil, porque como podemos ver em 2002, estavam em 7,6 bilhões de litros anuais, quando nos já superávamos os 12 bilhões. Em 2007 os EUA superaram o Brasil, com 25,2 bilhões produzidos e consumidos e avançando e agora previstos 36,3 bilhões, contra níveis de 28,5 a 29,5 previstos no Brasil e desta forma nos passando rapidamente. No ano passado, em 2008, a produção do Etanol no Brasil foi de pouco mais de 26 bilhões, enquanto isso a americana foi superior a 33 bilhões e assim seguem com grandes investimentos neste segmento e devendo crescer em consumo, porque os americanos buscam alternativas para diminuir a dependência externa de combustíveis fosseis, no caso o Petróleo e tentam fugir de fornecedores instáveis, como a Venezuela e também das altas oscilações do Petróleo que foi acima dos US$145,00 por barril em 3 de julho de 2008 e depois com a crise despencou para menos de US$40,00 nesse começo de 2009, mas já esta novamente caminhando para cima e segundo alguns especialistas do setor, devera chegar aos US$85,00

até o final deste ano e assim favorecendo para o crescimento da participação de combustíveis renováveis, que no caso do milho se torna interessante quando o Petróleo vai acima dos US$70,00, ou seja, já esta favorável.

Tabela 1.6. Evolução da produção e consumo de etanol nos EUA (em bilhões de litros).

| Ano | 2009* | 2008 | 2007 | 2006 | 2005 | 2002 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Volume | 36,3 | 33,5 | 25,2 | 19,0 | 15,2 | 7,6 |

Fonte: USDA, elaboração Brandalizze Consulting. (*) Projeção inicial.

**Consumo poderá superar expectativas**

O fator de maior demanda do milho no mundo continua sendo o segmento de ração, aonde podemos ver um forte avanço nesta década, porque a economia mundial cresceu e aumento a necessidade de carnes, leite e ovos e desta forma obrigando a produção de animais cada vez mais confinados e dependentes de alimentos servidos, neste caso ração. Com isso a produção que em 2006 estava na faixa das 668 milhões de toneladas, avançou em média 50 milhões de toneladas ao ano nestes últimos três anos e somente desacelerou agora em função da crise mundial, mas devera voltar a crescer em ritmo forte no próximo ano. Desta forma muito milho sendo necessário para atender o crescimento deste segmento. O consumo de carnes devera continuar acima o ritmo do crescimento da economia mundial, porque no momento a população mundial ainda é muito carente em proteínas, e desta forma necessitando de grandes volumes de ração para atender este crescimento. O trigo tem participação importante na produção de ração no mundo e como a safra deste produto vem sofrendo problemas para avançar, em decorrência de problemas climáticos, nos EUA, Canadá, Europa e Ásia, tende perder espaço na participação da formulação das rações e abrindo mais espaço para o milho, que nos próximos anos tende a ter domínio ainda maior do milho, porque o trigo sendo um produto considerado nobre e para a produção de Paes, massas e Biscoitos, terá custos crescentes e desta forma muito acima do valor do milho e desta maneira não sendo competitivo para uso em Ração, porque o trigo caminha para níveis acima dos US$300,00 por tonelada, ou seja, muito acima dos níveis esperados para o milho que vem sendo praticado nos US$195,00 nos EUA e caminha para faixa dos US$220,00, mesmo assim muito mais atrativo do que o trigo.

Tabela 1.7. Produção mundial de ração (em milhões de toneladas).

| País | 2010 | 2009 | 2008 | 2007 | 2006 |
|---|---|---|---|---|---|
| EUA | 175 | 167 | 166 | 158 | 152 |
| China | 150 | 140 | 133 | 122 | 107 |
| Brasil | 70 | 61 | 58 | 53 | 48 |
| Mundo | 808 | 765 | 758 | 715 | 668 |

Fonte: Informativo Brandalizze Milho, Sindirações.

## SITUAÇÃO DO MERCADO BRASILEIRO

### Safra menor que consumo e cotações represadas no câmbio

O quadro geral de oferta e demanda do milho no Brasil que teve um quadro de excedente em 2008, agora mostra uma situação inversa, com queda na produção, que foi fortemente prejudicada pela seca na safra de verão e agora com geadas e seca sobre a safrinha e desta forma esta se apontando que a produção deste ano devera recuar cerca de 11 milhões de toneladas frente à colheita do ano passado e mesmo tendo uma expectativa de demanda total próxima da ocorrida na safra anterior, seguiremos com tendência de queda nos estoques finais a níveis considerados baixos. Passando das 8,5 milhões de toneladas, que foi o maior desta última década para a faixa das 3 milhões de toneladas previstas para este ano comercial.

Com indicativos que o setor de avicultura continue sendo o maior consumidor do milho no Brasil, com as 18,7 milhões de toneladas consumidas na safra passada e podendo chegar à marca as 19,5 milhões de toneladas neste novo ano, porque mesmo com crise estamos vendo em operação novos abatedouros, como ocorre no MT e também ampliação nos já existentes no Sul do país. O segundo segmento em demanda será o setor de ração para Suínos, com 8,9 milhões de toneladas passando para as 9,2 milhões de toneladas e mostrando potencial de avançar mais nos próximos anos, porque esta é a carne mais consumida no mundo e mesmo com a gripe suína superará a demanda de 100 milhões de toneladas neste ano de 2009, frente à casa das 95 milhões que devem ser consumidas de frangos e menos de 90 milhões de tonelada de carne bovina e desta forma abrindo bom espaço para o crescimento do setor suíno que tem como principais consumidores os países Asiáticos e para o Brasil o maior mercado no momento sendo a Rússia que no começo do ano limitou as compras, mas já esta normalizando os negócios e devera crescer no segundo semestre e agora com avanço nos preços do Petróleo, principal produto do país, poderá voltar às compras aceleradas de alimentos para atender a demanda local. Normalmente as maiores importações ocorrendo no segundo semestre, antes do inverno local.

Neste ano o Brasil colherá 47 milhões de toneladas e consumirá, junto com exportações, mais de 52 milhões de toneladas e desta forma irá consumir uma boa fatia dos grandes estoques que tinha nas mãos do último ano e abre espaço para um bom mercado interno em 2010.

Tabela 1.8. Oferta e demanda de milho no Brasil (em milhões de toneladas).

| Safra | 2008/2009* | 2007/2008 | 2006/2007 | 2005/2006 |
|---|---|---|---|---|
| | | Oferta | | |
| Estoque inicial | 8.500 | 2.600 | 3.200 | 2.700 |
| Produção | 47.000 | 58.000 | 50.800 | 41.500 |
| Importação | 100 | 200 | 300 | 200 |
| Oferta total | 55.600 | 60.800 | 54.300 | 44.400 |
| | | Demanda | | |
| Exportação | 8.500 | 6.400 | 10.940 | 3.900 |
| Avicultura | 19.500 | 18.700 | 18.500 | 17.200 |
| Suinocultura | 9.200 | 8.900 | 8.800 | 8.400 |
| Indústria de moagem | 7.400 | 7.300 | 7.100 | 6.900 |
| Outros | 8.000 | 11.000 | 6.360 | 4.800 |
| Demanda total | 52.600 | 52.300 | 51.700 | 41.200 |
| Estoque final | 3.000 | 8.500 | 2.600 | 3.200 |

FONTE: Brandalizze Consulting. (*) estimativas.

## EXPORTAÇÃO CRIANDO SUPORTE CONTRA QUEDA

O mercado internacional esta totalmente ligado ao brasileiro e desta forma o fundo do poço ou os menores níveis por aqui sempre estarão atrelados ao mínimo que o mercado internacional pode pagar. Assim se tivermos crescimento no mercado internacional, como estamos vendo neste ano, com avanço do milho no mercado mundial, que saiu de níveis da faixa dos US$150,00 por tonelada no final do ano passado para faixa de US$190,00 a US$200,00 por tonelada que estão sendo praticadas agora em junho e caminha para níveis maiores no segundo semestre, aonde se aponta chances de ir aos US$220,00, criando suporte para o mercado interno, que tende a operar em cima de níveis destes patamares ou acima. Se tivemos sobre de produto, teremos que exportar e assim as cotações tendem para a linha dos valores do mercado mundial, caso tenhamos necessidades de importações, caminhamos para patamares crescentes, sendo o mercado externo, mais todo o custo da logística de trazer o milho de fora para o mercado interno e desta forma favorecendo os produtores nacionais.

As primeiras projeções deste ano nos dão conta que poderemos chegar à marca das 8,5 milhões de toneladas de milho exportado, contra as 6,4 milhões do ano passado, que perdeu forças devido a forte queda das cotações internacionais e do câmbio baixo praticado aqui no Brasil. O melhor ano foi da safra 06/07, quando chegamos próximo das 11 milhões de toneladas exportadas e tendo como apoio cotações acima dos US$250,00 por tonelada.

As exportações brasileiras de janeiro a maio somaram 3,2 milhões de toneladas e temos grandes volumes de contratos programados para serem embarcados de agosto e outubro, quando se escoa a safrinha e desta forma devendo enxugar as ofertas excedentes que temos no mercado brasileiro. As

geadas ocorridas na safrinha do Paraná e do Mato Grosso do Sul poderão limitar o volume exportado, porque poderemos não ter todo milho previsto para ser embarcado e desta forma trazendo reação interna maior que o mercado e assim limitando os números das exportações que até a pouco tempo se esperava embarcar mais de 9 milhões de toneladas. Como a Argentina teve forte quebra de safra e os EUA já exportaram mais do que podiam, haverá espaço para ser coberto no mercado mundial. A seca ocorrida na Europa causou grandes perdas à safra de grãos da região e um dos atingidos foi à Espanha, que perder mais de 7 milhões de toneladas de grão e dentre eles o milho foi um dos atingidos e desta forma terá que importar o cereal. O Brasil já foi um grande fornecedor aos Espanhóis, chegando a vender mais de 2 milhões de toneladas há dois anos e agora podem voltar às compras e pagar prêmios atrativos, porque nos bons tempos chegaram a pagar mais de 200 pontos acima de Chicago, ou cerca de US$100,00 por tonelada acima do que trabalhava a Bolsa de Chicago. Neste ano poderemos ver os prêmios crescendo, atualmente temos visto prêmios entre US$20,00 e US$28,00 por tonelada, mas podemos ir a faixa dos US$50,00, se confirmadas as perdas na Europa.

**Seca e geadas diminuíram ofertas**

O clima foi desfavorável às lavouras brasileiras neste ano, com seca na safra de verão e geadas na safrinha e com isso a colheita foi comprometida e nos aponta para níveis ao redor das 47 milhões de toneladas, ainda com chances de alterações, mas devendo ficar muito distante da safra do ano passado que foi de 58 milhões de toneladas. Sendo que a área plantada entre safra e safrinha deste ano é cerca de 600 mil hectares a menos do que foi plantado no ano passado. Passando dos 14,1 para os 13,5 milhões de hectares, sendo que cerca de 4,5 milhões de hectares representam a safrinha e o restante a safra de verão.

Tabela 1.9. Situação do milho no Brasil (área em milhões de ha e produção milhões de toneladas).

| Estado | Área | | Produção | |
|---|---|---|---|---|
| | 2008/2009 | 2007/2008 | 2008/2009 | 2007/2008 |
| Rio Grande do Sul | 1.400 | 1.390 | 4.400 | 5.320 |
| Santa Catarina | 680 | 715 | 3.630 | 4.090 |
| Paraná | 2.850 | 2.970 | 9.500 | 15.400 |
| São Paulo | 920 | 970 | 4.090 | 4.670 |
| Minas Gerais | 1.290 | 1.310 | 6.450 | 6.630 |
| Goiás | 790 | 900 | 4.100 | 5.020 |
| Mato Grosso do Sul | 875 | 985 | 2.800 | 3.520 |
| Mato Grosso | 1.780 | 1.850 | 5.750 | 7.700 |
| Brasil Total | 13.500 | 14.100 | 47.000 | 58.000 |

Fonte: Brandalizze Consulting

## IMPORTAÇÕES

### Cotações em alta dificultam internalização

Tradicionalmente importamos milho do Paraguai, que normalmente planta para vender ao Brasil e para o pequeno consumo interno, mas neste ano a safra local foi fortemente afetada pela seca na primeira etapa e agora pelo frio na segunda safra local e desta forma o país vizinho terá pouco milho para nos vender. Enquanto isso na Argentina a safra foi fortemente afetada pela seca e das 22 milhões de toneladas, agora esta fechando com uma colheita de 12,7 milhões de toneladas, assim tirando o consumo local junto com as exportações já contratadas para outros países, zera o estoque local e também não terá produto para nos vender. O milho americano tem custos altos para ser internalizado e os volumes disponíveis nos EUA também são pequenos e desta forma dificilmente veremos produto chegando em portos brasileiros, porque o produto dos EUA chegaria aqui a custos acima dos R$ 34,00 por saca e o produto da Argentina acima dos R$31,00 e desta forma inviabilizado porque o mercado interno trabalha bem abaixo destes valores e mesmo o Nordeste que normalmente importa produto para atender o consumo regional e poderia trabalhar acima dos R$ 33,00, vem sendo beneficiado pelos pregões de PEP e PEPRO do governo, nos quais o governo subsidia as diferenças existentes do preço do mercado local aonde o produtor recebe um apoio ou banca parte do custo dos fretes para conseguir dar liquidez ao mercado regional, beneficiando produtores de um lado, caso do Centro Oeste e consumidores do outro, até aqui consumidores do Nordeste e Norte.

### Custos da importação do milho pelo Brasil

Tabela 1.10. Tomando como base um câmbio de R$1,96 por US$1,00.

| Origem | Argentina | EUA |
|---|---|---|
| Cotação FOB (Porto) | 200,00 | 195,00 |
| Frete marítimo e seguro | 40,00 | 50,00 |
| Despesas portuárias | 20,00 | 20,00 |
| Despesas comerciais | 2,00 | 2,00 |
| Taxa de importação (EUA 11%) | 0,00 | 21,45 |
| Total Porto (US$ por tonelada) | 262,00 | 288,45 |
| Frete de 500 km | 40,00 | 40,00 |
| Total (CIF Indústria) | 302,00 | 328,45 |
| US$ por 60 kg (interior) | 18,11 | 19,70 |
| R$/60 kg Interior | 35,50 | 38,62 |

Fonte: BRANDALIZZE Consulting

## TENDÊNCIAS

### Brasil entre os grandes na exportação

O mercado do milho que neste primeiro semestre de 2009, foi desestimulante para os produtores brasileiros, sinaliza para um quadro em crescimento no segundo semestre e deveremos ter boa participação no mercado mundial. Com expectativa que nos próximos anos tenhamos presença mais forte nas vendas internacionais em decorrência do avanço do volume de importações mundiais e da redução dos volumes disponíveis nos EUA porque o consumo local tende a crescer em ritmo maior que o ritmo de crescimento da produção local. Enquanto isso o Brasil devera ter avanço forte no consumo interno com a retomada do setor de ração que mostrará bom avanço para o setor de ração, com exportações de carnes de Suínos e Frangos que estão ganhando novos mercados, como visto nestes últimos meses, com acordos com a China que esta autorizando o Brasil a venda de frango em território chinês e também novos mercados para o segmento de carnes. O plantio da safra 2009/2010 ainda esta indefinido, porque os produtores estão olhando somente para os preços do momento, que estão baixos e esquecem de olhar para os custos, principalmente fertilizantes que recuaram neste ano e são os mais atrativos das últimas três safras. Enquanto isso ainda também temos a concorrência dom à safra da Soja que no Sul disputa o mesmo espaço com o milho e em anos que a seca atinge as lavouras, mostra perdas maiores no milho que na soja e desta forma mantém um quadro de instabilidade de plantio. Desta forma o quadro do milho da nova safra nos aponta que tende ser um dos melhores dos últimos anos, porque teremos boas demanda interna, forte presença de países importadores e custos de produção menores e desta forma maiores chances de aumento dos lucros sobre os investimentos. Normalmente nos anos em que o mercado esta andando na linha contraria dos produtores, como tivemos neste primeiro semestre de 2009, tendem a ser lucrativos e vantajosos na safra seguinte, porque caminhamos para uma forte redução de estoques, impossibilidade de importações e facilidade para exportar, em cima de avanço no consumo interno. Ou seja, um bom ano para safra 2009/2010.

## BIBLIOGRAFIA

USDA, Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. 2009.

MARA, Ministério de Agricultura e Ganaderia da Argentina. 2009

FAO, ABEF, CONAB, ABCS, ABIMILHO, Brandalizze Consulting. 2009.

# VIABILIDADE TÉCNICA DA ANTECIPAÇÃO DO NITROGÊNIO NA CULTURA DE MILHO

**Waldo Alejandro Ruben Lara Cabezas**

Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Dr. e Pesquisador da APTA.
Rodovia Votuporanga-Nhandeara, km 4. 15.500-970. Votuporanga, SP. Caixa Postal 61.
+(17)3422.2423, r. 25

## INTRODUÇÃO

Como todas as práticas culturais, o manejo do nitrogênio (N) em sistema plantio direto (SPD), foi afetado devido às alterações na ocorrência dos processos de transformação, notadamente a volatilização de amônia pela uréia aplicada na superfície da resteva e, a imobilização pelo aumento da atividade microbiana. Processos esses, passíveis de quantificação com as atuais metodologias disponíveis. Outro processo, a lixiviação de nitrato, ainda deve ser acentuado, pela maior retenção de água no perfil de solo, embora faltem dados de campo que comprovem a sua ocorrência, devido à carência de metodologia confiável e padronizada. A cultura de milho, inserida na rotação de culturas em SPD é altamente dependente da adubação nitrogenada, objetivando margem de lucro e sustentabilidade ao sistema de produção. Em SPD, Bernardi et al. (2003) assinalam para o cultivo do milho, parcelar as adubações nitrogenadas aplicando-se de 20 a 30 $kg.ha^{-1}$ de N na semeadura. Em cobertura, parcelar em até duas vezes em solos com teor de argila superior a 150 g $kg^{-1}$ e, em até três vezes (quatro a seis, oito e doze folhas) em solos com teor de argila menor que 150 g $kg^{-1}$. A dose a ser utilizada em cobertura tradicional depende da expectativa de produção. Não é cogitada por esses autores a possibilidade de antecipar a adubação nitrogenada.

Entre as adequações ocorridas num cenário de ausência de revolvimento de solo e manutenção de palha permanente como cobertura do mesmo, a época de aplicação de N levantou polemica quando foi cogitada a sua antecipação para antes da semeadura de milho ou junto à mesma. Os resultados publicados por Sá (1996), em solos do Paraná, na sucessão aveia preta-milho foram os primeiros em admitir a possibilidade de antecipar a cobertura nitrogenada em relação à aplicação tradicional. Os fundamentos levantados por esse autor consideram que a gramínea antecessora a milho (aveia preta), estaria estimulando a imobilização temporária de N pela biomassa do solo, aplicado numa fase em que a cultura não está presente, com posterior disponibilização do N-imobilizado para a cultura de renda na época de maior demanda. A Figura 2.1 representa claramente essa hipótese. Entretanto, surgem questionamentos sobre o estado de arte no conhecimento do processo de imobilização. Quanto se sabe da dinâmica do processo em condições de campo? Quanto tempo transcorre entre a imobilização de N e sua liberação? Com que intensidade ocorre o processo em função do

adensamento de cobertura morta da cultura antecessora? Essas e outras perguntas surgem e seria necessário responder para dar maior fundamento técnico a antecipação da adubação de cobertura. Com esse intuito foram desenvolvidos dois experimentos em safras consecutivas (1999/2000 e 2000/2001), para quantificar o N-imobilizado proveniente do fertilizante aplicado, quando submetido à aplicação antecipada e tradicional, assim como, na medida do possível, definir o intervalo de tempo que transcorre entre o inicio do processo e sua posterior disponibilização para a cultura de milho como cultura em sucessão.

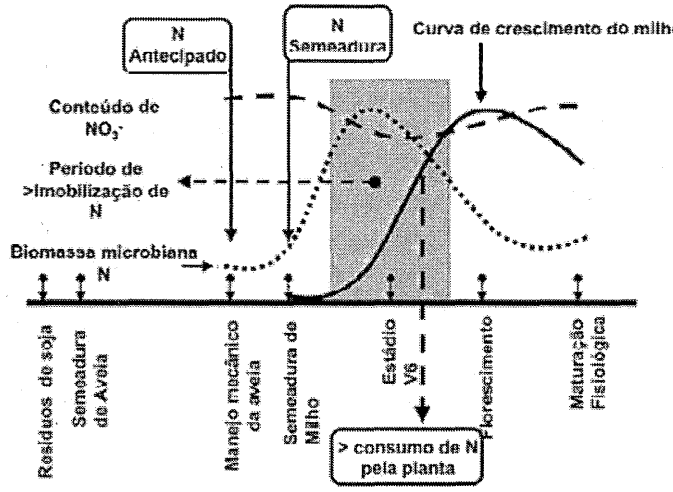



Figura 2.1. Disponibilidade de N para o milho em função de sua antecipação em relação à semeadura de milho. (SÁ, 1999).

Os resultados apresentados a seguir foram separados por regiões para tomar cuidado de não cair em generalizações ou perigosas extrapolações. De fato, este é um "vício" na pesquisa com N, particularmente. Ainda tentaremos escapar de outro vício: a cultura do "depende". Somente com base em fatores de controle humano de manejo do nutriente, poderão ser feitas recomendações e não incluir fatores com ausência de controle: clima e tipo de solos como exemplos, para não cair na tentação da especulação descomprometida do "depende", evitando confundir o técnico de extensão e o produtor. Em estudos de N, frequentemente, os tratamentos sofrem mascaramento com outros fatores envolvidos e não controlados, levando conclusões erradas. Citamos um exemplo concreto: "As perdas de N-uréia aplicada na superfície não são importantes porque não foi observada diferença de produtividade em relação à uréia incorporada". Certo? Errado. O solo poderá estar subsidiando à planta com N mineralizado da matéria orgânica, e suprindo o que o fertilizante não fez, quanto, a variável

produtividade de grãos, é um efeito global de variáveis de controle (de escasso número), em relação a variáveis sem controle (em maior número).

## Experiência no cerrado

O uso de fontes marcadas com $^{15}N$ na medida em que possibilita a discriminação do destino do N aplicado, permite efetuar a estimativa de N-imobilizado do fertilizante. Nas safras 1999/2000 e 2000/2001 em solo de Cerrado, Lara Cabezas et al. (2005) e Lara Cabezas e Couto (2007) acompanharam em determinados estádios fenológicos da cultura de milho, a estimativa de N-imobilizado para as fontes uréia (U) e sulfato de amônio (SA) quando aplicadas de forma antecipada e tradicional. De fato são necessários mais estudos com essa metodologia, em diferentes regiões com solos e condições climáticas diversas, com diferentes tipos de culturas antecessoras e adensamentos, para ratificar ou não os resultados apresentados nesses dois trabalhos. Deve-se quantificar a ocorrência da dinâmica do processo durante o experimento para concluir sem especular. Na sucessão aveia preta-milho, Lara Cabezas et al. (2005), em solo muito argiloso de Cerrado, aplicaram as fontes marcadas, 43 dias antes e 31 dias depois da semeadura de milho, na dose de 80 kg.ha$^{-1}$ de N, incorporadas a 5-7 cm de profundidade, em sulcos espaçados de 0,8 m, nas entrelinhas (Tabela 2.1). No segundo ano de estudo, Lara Cabezas e Couto (2007), aplicaram as fontes 33 dias antes e 10 dias depois da semeadura, na mesma dose e condição do estudo anterior (Tabela 2.2).

Tabela 2.1. N-imobilizado das fontes sulfato de amônio e uréia aplicadas de forma antecipada e em cobertura, na cultura de milho em dose de 80 kg.ha$^{-1}$ de N, na safra 1999/2000. Uberlândia (MG).

| DAA ou DAS[1] | Estádio fenológico | N-imobilizado fertilizante (kg.ha$^{-1}$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Sulfato de Amônio | | Uréia | |
| Adubação antecipada | | | | | |
| 19 | - | 13,3 | (16,6)[2] | 6,6 | (8,3) |
| 40 | - | 8,1 | (10,1) | 13,7 | (17,1) |
| 64 | 5 – 6 folhas | 7,6 | (9,5) | 9,1 | (11,4) |
| 105 | 11 – 12 folhas | 5,7 | (7,1) | 7,5 | (9,4) |
| 119 | Florescimento | 4,7 | (5,9) | 7,2 | (9,0) |
| Adubação em cobertura | | | | | |
| 32 | 11 – 12 folhas | 2,3 | (2,9) | 9,8 | (12,3) |
| 47 | Florescimento | 2,5 | (3,1) | 7,9 | (9,9) |
| 99 | Maturidade fisiológica | 1,3 | (1,6) | 6,1 | (7,6) |

(1) DAA/DAS: dias após a aplicação na forma antecipada/dias após a semeadura em cobertura.
(2) Valores entre parêntesis correspondem ao percentual de N-imobilizado em relação ao N-total aplicado (80 kg.ha$^{-1}$ de N).

Tabela 2.2. N-imobilizado das fontes sulfato de amônio e uréia aplicadas de forma antecipada e em cobertura, na cultura de milho em dose de 80 kg.ha$^{-1}$ de N, na safra 2000/2001. Uberlândia (MG).

| DAA ou DAS[1] | Estádio fenológico | N-imobilizado fertilizante (kg.ha$^{-1}$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Sulfato de Amônio | | Uréia | |
| **Adubação antecipada** | | | | | |
| 11 | - | 25,5 | (31,9)[2] | 46,5 | (58,1) |
| 22 | - | 25,1 | (31,4) | 5,4 | (6,8) |
| 44 | 4 – 5 folhas | 9,2 | (11,5) | 6,1 | (7,6) |
| 79 | 11 – 12 folhas | 4,2 | (5,3) | 7,4 | (9,3) |
| 95 | Florescimento | 3,8 | (4,8) | 3,7 | (4,6) |
| 173 | Colheita | 2,6 | (3,3) | 5,2 | (6,5) |
| **Adubação em cobertura** | | | | | |
| 35 | 11 – 12 folhas | 5,3 | (6,6) | 8,3 | (10,4) |
| 51 | Florescimento | 3,3 | (4,1) | 7,4 | (9,3) |
| 129 | Colheita | 3,8 | (4,8) | 3,1 | (3,9) |

(1) DAA/DAS: dias após a aplicação na forma antecipada/dias após a semeadura em cobertura.
(2) Valores entre parêntesis correspondem ao percentual de N-imobilizado em relação ao N-total aplicado (80 kg.ha$^{-1}$ de N).

Algumas conclusões podem ser extraídas dessas Tabelas: (i) a imobilização de N ocorreu de forma mais expressiva quando as fontes foram aplicadas em pré-semeadura, variando de 13 a 25 kg.ha$^{-1}$ do N-SA aplicado (16,2 a 31,0 % do N-aplicado), e de 7 a 47 kg.ha$^{-1}$ do N-U (9 a 58 % do N aplicado), logo após 22 dias da aplicação, nas safras 1999/2000 e 2000/2001, respectivamente; (ii) a imobilização do N de ambas as fontes aplicadas em cobertura foi inferior aos 10 % do N aplicado, mostrando que não haveria imobilização significativa nesta época como assinalado por Sá (1996); e (iii) entre a aplicação de N em pré-semeadura e a queda do N-imobilizado transcorreram aproximadamente 20-22 dias, como indicativo de tempo de imobilização de N-fertilizante.

Na condição de Cerrado, no início da safra o solo normalmente está em déficit hídrico e, não há probabilidade de ocorrência de chuvas intensas nos meses de outubro e novembro, que venham a ocasionar perdas por lixiviação de N-fertilizante, o que permite a imobilização registrada em pré-semeadura, na ausência de sistema radicular ativo. Essa condição seria favorável a antecipação da adubação nitrogenada, mas somente para essa situação. Por outro lado, na época de cobertura tradicional, as chuvas estão regularizadas e o solo umedecido associado à presença de sistema radicular, não apresenta risco de imobilização temporária do N. Portanto, não seria a ocorrência de imobilização significativa de N que motive a antecipação da adubação. A questão fica a critério do produtor: priorizar a operacionalidade da aplicação, portanto antecipando, para destinar os esforços à semeadura de soja, por exemplo, ou utilizar o adubo de forma tecnicamente correta, em cobertura, em virtude da maior demanda pela cultura. Deve-se lembrar que a planta não

mudou seu "comportamento alimentar" apesar das mudanças ocorridas com a adoção do SPD. Para fundamentar este comentário nesses trabalhos foi definido um indicador que relaciona a absorção do N-fertilizante pela planta (*Nppf*) em relação ao N-imobilizado pelo solo (*Nispf*), para qualificar a época de aplicação. Na Figura 2.2 observa-se na média de duas safras, que em cada kg de N-imobilizado do SA no solo, 7,5 kg.ha$^{-1}$ de N foram absorvidos pela cultura, com aplicação em pré-semeadura, no estádio de 11-12 folhas, aumentando para 10,4 kg.ha$^{-1}$, em média, no estádio de florescimento.

Entretanto, quando o SA foi aplicado em cobertura, nos estádios de 11-12 folhas e florescimento, para cada kg de N-imobilizado houve uma absorção média de 14,8 e 16,0 kg.ha$^{-1}$ de N-SA pela planta, respectivamente. Fica claro, portanto, que mais N-fertilizante é absorvido pela planta quando efetuada a cobertura em relação à aplicação antecipada. Em relação a U, a tendência foi diferente, não sendo observada maior variação entre as épocas de aplicação nos dois estádios fenológicos da cultura. Ainda, essa relação foi muito estreita, indicando que a U apresentou um comportamento diferente em relação ao SA. A natureza do fertilizante nitrogenado também seria outro fator a ser considerado na decisão de antecipação, em vista das diferenças observadas.

Fazendo um paralelo, com um trabalho realizado em Eldorado do Sul (RS), onde foi quantificada a imobilização de N, embora utilizando outra metodologia (VARGAS et al., 2005), em SPD e sistema convencional (SC), foram relacionados os dados de N na planta absorvido de solo (NP) e o N-microbiano imobilizado (Nmi), apresentados na Figura 2.3.

Observa-se nessa Figura de forma similar ao registrado no Cerrado por Lara Cabezas et al. (2005) e Lara Cabezas e Couto (2007), que com o passar do tempo, aumenta a quantidade de N na planta em relação ao N-imobilizado, mostrando valores similares para o comportamento da uréia aplicada em cobertura tradicional. Verifica-se ainda, que aos 88 e 112 dias após a semeadura de milho em SC há mais N na planta absorvido em relação ao SPD, sendo indicativo que a imobilização foi mais acentuada em SPD que em SC, como seria de esperar. Entretanto, apesar dos autores não mostrarem resultados de produtividade de grãos, a aplicação da uréia a lanço com irrigação de 20 mm após cada aplicação, não deve ter afetado a mesma.

Nessa Tabela 2.2, verifica-se que não houve diferença de produtividade entre as épocas de aplicação das fontes, em ambas as safras, indicando que pouco ajuda a variável produtividade na elucidação do comportamento dos tratamentos. A tendência a maior produtividade com a aplicação de SA, com o fornecimento de enxofre pode ter contribuído. Entretanto, observando os resultados de eficiência de aplicação das fontes, a eficiência do SA foi superior tanto quanto aplicada em pré-semeadura como em cobertura em relação a U. A maior eficiência de N-U aplicada em pré-semeadura na safra 2000/2001 (47,9 %) em relação à 1999/2000 poderia estar associada à maior imobilização ocorrida nessa safra (58 % e 11 %, respectivamente) (Tabelas 2.1 e 2.2).

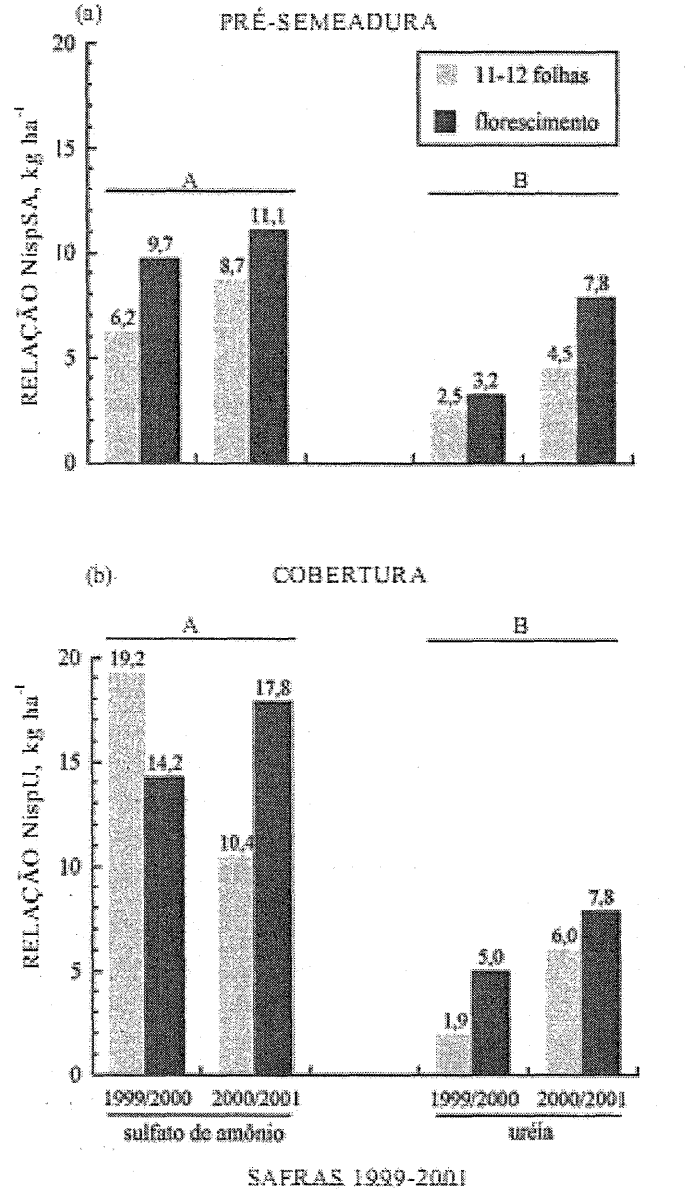



Figura 2.2. Razão de *Nppf/Nispf* após a aplicação de sulfato de amônio e uréia em pré-semeadura (a) e em cobertura (b) nos estádios de 11 - 12 folhas e florescimento, em duas safras consecutivas (1999-2001), na cultura de milho, em SPD. Uberlândia (MG).

*Médias seguidas de letras maiúsculas desiguais, entre fontes para cada época, diferem significativamente pelo teste de Mann-Whitney (P = 0,05).*

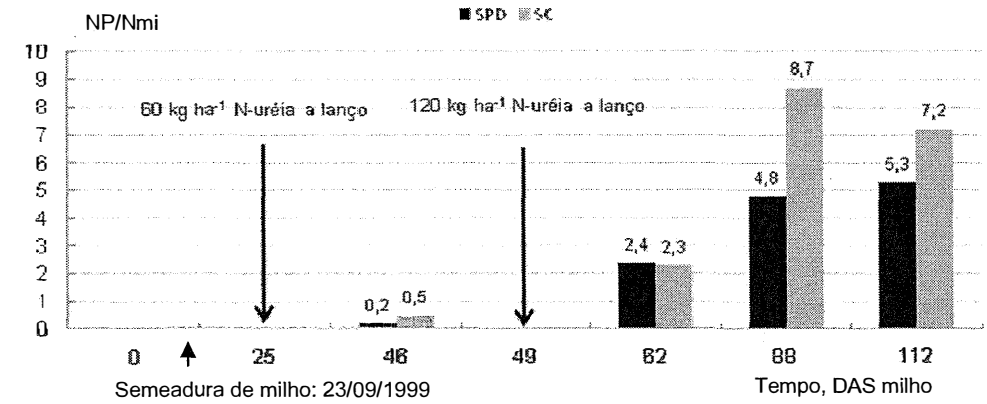



Figura 2.3. Razão entre o N absorvido pela parte aérea da planta de milho (NP) e o N-microbiano imobilizado (Nmi) sobre sucessão aveia preta e milho em SPD e SC. Eldorado do Sul (RS). Dados adaptados de Vargas et al. (2005).

Os resultados de produtividade de grãos e de eficiência de aplicação do N-U e N-SA dos trabalhos discutidos anteriormente são apresentados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3. Eficiência do nitrogênio aplicado (Ef) e produtividade grãos (P) de milho submetido à adubação antecipada e em cobertura, uréia e sulfato de amônio, em solo muito argiloso de Cerrado, após cultivo de aveia preta. Uberlândia (MG).

| Fonte e época de aplicação | P | Ef | P | Ef |
|---|---|---|---|---|
| | 1999/2000 | | 2000/2001 | |
| | kg.ha$^{-1}$ | % | kg.ha$^{-1}$ | % |
| U - antecipada | 7.034 Ab | 28,4 | 7.343 Ab | 47,9 |
| U - cobertura | 6920 Ab | 42,0 | 8.190 Aa | 45,0 |
| SA – antecipada | 7.928 Aa | 57,3 | 8.861 Aa | 66,0 |
| SA - cobertura | 7.720 Aa | 61,8 | 8.224 Aa | 89,1 |
| Testemunha (sem N) | - | | 6.719 Bc | |
| DMS (entre épocas) | 348,2 | | 988,0 | |
| DMS (entre fontes) | 204,5 | | 698,0 | |

Entre épocas, as médias seguidas de letras maiúsculas iguais em cada coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 0,05. Entre fontes, as médias seguidas de letras minúsculas desiguais em cada coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 0,05.

Rigorosamente, a época de aplicação de U não afetou a produtividade de grãos em experimentos realizados paralelamente em Uberlândia (MG) e Ribeirão Preto (SP), em duas safras consecutivas (Tabela 2.4). O autor inclina-se a pensar que os efeitos na planta, são muito sutis em relação ao

tratamento estatístico dos resultados. Embora a variável produtividade seja tecnicamente relevante, a relação direta com tratamentos nitrogenados (doses, fontes, épocas e métodos de aplicação), na grande maioria dos estudos frustra as expectativas.

Tabela 2.4. Produtividade de milho submetido à adubação antecipada e em cobertura de uréia em solos de Minas Gerais e São Paulo, após o cultivo de aveia preta.

| Época | Safra | Local | |
|---|---|---|---|
| | | Uberlândia (MG)[1] | Ribeirão Preto (SP)[2] |
| Antecipada | 1999/2000 | 7.034 | 9.436 |
| Cobertura | | 6.920 | 10.088 |
| Antecipada | 2000/2001 | 7.343 | 6.886 |
| Cobertura | | 8.180 | 7.467 |

[1] Aplicação de 80 kg.ha$^{-1}$ de N, 43 e 33 dias antes da semeadura de milho (antecipada), nas safras 1999/2000 e 2000/2001, respectivamente. Em cobertura, a aplicação da dose foi no estádio de 6-7 folhas e 4-5 folhas, nas respectivas safras (LARA CABEZAS et al., 2005 e LARA CABEZAS; COUTO, 2007).
[2] Aplicação de 80 kg.ha$^{-1}$ de N, 45 e 20 dias antes da semeadura de milho (antecipada), nas safras 1999/2000 e 2000/2001, respectivamente. Em cobertura, a aplicação da dose foi no estádio de seis folhas em ambas as safras (CANTARELLA et al., 2003).

Na safra 2002/2003, foram realizados dois experimentos em solos de texturas diferentes: solo muito argiloso, Fazenda Floresta do Lobo e solo arenoso, Fazenda Canadá do Grupo ABC Algar, na região do Triângulo Mineiro (MG), com aplicação da dose utilizada pelo produtor em forma parcelada em diferentes épocas de forma antecipada e em cobertura (Tabela 2.5). A fertilidade do solo muito argiloso não evidenciou diferenças de produtividade entre os tratamentos, como indicado pela produtividade alcançada pelo tratamento sem aplicação de N: 8.219 kg.ha$^{-1}$. De acordo com o assinalado anteriormente essa variável está mascarando efeitos de tratamentos. Entretanto, a variável eficiência de N aplicado, determinada com base na análise isotópica de $^{15}$N na planta, permite observar que aumenta, quando as aplicações foram efetuadas em cobertura tradicional. Essa variável está refletindo com maior sensibilidade a estreita relação entre a época de aplicação e a produtividade. Nada que seja surpreendente.

Os resultados obtidos no solo arenoso são mais expressivos tanto em produtividade de grãos como na variável eficiência, em relação aos tratamentos de épocas testados. A adubação de sistema representada pela aplicação de 110 kg.ha$^{-1}$ de N (71,0% do N total aplicado), meses antes da semeadura de milho, apesar de ser uma estação de estiagem na região, não foi adequada, sendo igual à testemunha com aplicação de N somente na semeadura (Tabela 2.5). Em termos de produtividade, a aplicação de 45 kg.ha$^{-1}$ em pré-semeadura complementada com cobertura tradicional (65 kg.ha$^{-1}$ e 70 e 20 kg.ha$^{-1}$), foi similar. Cabe destacar, entretanto, que a eficiência do N-SA aplicado em pré-semeadura (45 kg.ha$^{-1}$ de N), foi somente de 28,1 % do N-aplicado nessa época, aumentando expressivamente para

todos os parcelamentos aplicados em cobertura tradicional (70 a 84 % do N-aplicado).

Tabela 2.5. Produtividade (P, kg.ha$^{-1}$) de grãos de milho híbrido Fort (Syngenta) e eficiência de N aplicado em solo muito argiloso e em solo arenoso, sob tratamentos de épocas e parcelamentos de adubação nitrogenada. Safra 2002/2003, Uberlândia (MG).

| Cultura antecessora | Tratamentos | | | | | | P | Eficiência de N aplicado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Dose N-total | Épocas | | | | | | |
| | | SCI | PS | SE | $CO_1$ | $CO_2$ | | |
| | | kg.ha$^{-1}$ | | | | | | % |
| | | Solo muito argiloso[1] | | | | | | |
| | Testemunha | - | - | 42 | - | - | 8.219 | - |
| | 112 | 70 | - | 42 | - | - | 8.406 | - |
| Aveia preta | 112 | - | 70*[3] | 42 | - | - | 8.363 | 43,7 |
| | 112 | - | - | 42 | 70* | - | 8.425 | 58,3 |
| | 112 | - | - | 42 | 35* | 35 | | 59,7 |
| | | | | | | | 8.479 | |
| | 112 | - | - | 42 | 35 | 35* | n.s. | 75,2 |
| | | Solo arenoso[2] | | | | | | |
| | Testemunha | - | - | 44 | - | - | 6.791 B | - |
| | 154 | 110 | - | 44 | - | - | 6.776 B | - |
| Milheto | 154 | 45 | - | 44 | 65* | - | 7.760 A | 84,3 |
| | 154 | - | 45 | 44 | 65* | | | 74,4 |
| | | | | | | | 7.846 A | |
| | 154 | - | 45* | 44 | 65 | - | | 28,1 |
| | 154 | 20 | - | 44 | 70* | 20 | | 70,7 |
| | | | | | | | 8.144 A | |
| | 154 | 20 | - | 44 | 70 | 20* | | 77,0 |

Teste Scott-Knott ($P < 0,10$)
(1) Formulação de base: 350 kg.ha$^{-1}$ de 12:24:06 e em cobertura 18:00:24 com mistura de nitrato de amônio + sulfato de amônio. SCI: semeadura de aveia preta como cultura de inverno (26/04/2002), PS: pré-semeadura, efetuada uma semana antes da semeadura, SE: semeadura (07/11/2002) e $CO_1$ e $CO_2$: parcelamentos nos estádios de 4-6 folhas e 7-9 folhas.
(2) Formulação de base: 550 kg.ha$^{-1}$ de 8:20:10 e em cobertura aplicação de sulfato de amônio. SCI: semeadura de milheto como cultura de inverno (13/4/2002), PS: pré-semeadura, efetuada uma semana antes da semeadura, SE = semeadura (6/11/2002) e $CO_1$ e $CO_2$: parcelamentos nos estádios de 5-7 folhas e 9-10 folhas.
(3) O asterisco indica aplicação de N marcado com $^{15}N$ na fonte nitrogenada.
Fontes: Lara Cabezas et al. (2003) e Lange et al. (2008).

Desses resultados se desprende em forma objetiva, que a melhor época em solos de Cerrado, continua sendo a aplicação em cobertura (após a semeadura de milho). Caberia ter mais informações em solos de Cerrado com maior evolução no SPD (aumento na matéria orgânica de solo, com maior agregação de partículas e palha permanente com sistema de rotação

planejado), para verificar-se a conveniência da aplicação em parte, da dose total, diminuindo com essa prática a incidência de fatores não controláveis. A questão é, seria operacional esse manejo na gestão da propriedade?

Em estudo realizado em Votuporanga (SP) em Argissolo, textura arenosa, na safra 2005/2006, Lara Cabezas (2008) mostrou o benefício de um maior adensamento da cobertura morta com produtividade média de milho superior em 9,5 sacas a mais de grãos em relação ao tratamento com menor adensamento (Tabela 2.6). As aplicações parceladas de N-SA de 70 e 40 $kg.ha^{-1}$ efetuadas aos 21, e seis dias antes da semeadura de milho e em cobertura tradicional parcelada, aos 22 e 46 dias após a semeadura, obtiveram produtividades similares. A adubação efetuada com maior antecipação não foi adequada.

Tabela 2.6. Produtividade de grãos ($kg.ha^{-1}$), híbrido de milho 30F35, em função da aplicação parcelada de N-SA de 110 $kg.ha^{-1}$, em três épocas e sob duas condições de adensamento de palha de cobertura. Votuporanga, SP.

| Manejo | Épocas de aplicação de N[1] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Antecipada | Pré-semeadura | Cobertura | Média |
| Com adensamento (5.120 $kg.ha^{-1}$) | 4.954 | 6.241 | 6.092 | 5.762 a |
| Sem adensamento (3.648 $kg.ha^{-1}$) | 4.561 | 5.479 | 5.558 | 5.192 b |
| Média | 4.758 B | 5.860 A | 5.825 A | |

(1) Antecipada: aplicação parcelada de 70 e 40 $kg.ha^{-1}$ de N-SA aos 59 e 45 dias antes da semeadura, respectivamente, pré-semeadura: aplicação parcelada aos 21 e seis dias antes da semeadura, respectivamente, e cobertura: aplicação parcelada aos 22 e 46 dias após a semeadura, respectivamente.
Entre as linhas, médias seguidas de letras minúsculas desiguais, diferem pelo teste de t (Student) ao nível de 0,05. Entre as colunas, as médias seguidas de letras maiúsculas iguais, não diferem pelo teste de t (Student) ao nível de 0,05.
DMS (entre adensamentos) = 537, DMS (entre épocas) = 805; CV (%) = 9,5
Fonte: Lara Cabezas (2008).

Meira (2006), comparando aplicação de 30 e 90 $kg.ha^{-1}$ de N em semeadura e cobertura de milho em Ilha Solteira (SP), obteve rendimento de 7.745 $kg.ha^{-1}$ de grãos de milho sendo significativo em relação à aplicação antecipada de 90 $kg.ha^{-1}$ e 30 $kg.ha^{-1}$ em semeadura com 7.388 $kg.ha^{-1}$. Por sua vez, Bertolini et al. (2008), testando diferentes híbridos em Botucatu, Estado de São Paulo, verificaram que a antecipação da adubação de semeadura em 22 dias não diferiu da adubação realizada no momento da semeadura, em relação ao desempenho da cultura do milho e, em que cada cultivar de milho respondeu de maneira diferenciada à antecipação da adubação no SPD.

Em Rio Verde (GO), Gomes et al. (2007) testaram em SPD no milho, diferentes doses e épocas de aplicação de N e verificaram ausência de resposta em produtividade de grãos entre épocas de aplicação, independentemente das doses aplicadas, considerando antecipação de 15 dias antes da semeadura.

## Experiências no sul do país

Pauletti e Costa (2000) conduziram experimentos no ano agrícola de 1996/97 em três campos experimentais pertencentes à Fundação ABC, nos Campos Gerais do Paraná (Tabela 2.7). Efetuaram adubação à semeadura na cultura de aveia em inverno (zero e 30 $kg.ha^{-1}$ de N), e na cultura de milho: zero N; 30 $kg.ha^{-1}$ na semeadura + 90 $kg.ha^{-1}$ em cobertura na 6° folha; 90 $kg.ha^{-1}$ no manejo da aveia + 30 $kg.ha^{-1}$ na semeadura e; 120 $kg.ha^{-1}$ no manejo da aveia + 30 $kg.ha^{-1}$ na semeadura. Os autores observaram que em Arapoti, a aplicação de N no manejo da aveia (90 $kg.ha^{-1}$), apesar de não apresentar rendimento estatisticamente inferior à aplicação em cobertura, mostrou comportamento diferenciado dos demais locais, com uma diferença de 855 $kg.ha^{-1}$ a menos em grãos, em relação à aplicação em cobertura de 90 $kg.ha^{-1}$. Em Ponta Grossa e em Castro, a aplicação antecipada de N apresentou rendimento igual à aplicação em cobertura, concordando com SÁ (1996), que realizou trabalhos na mesma região. O aumento da dose de N aplicada no manejo da aveia, também não refletiu em aumento de produtividade do milho. Em síntese, a antecipação da adubação não representou benefício em termos de aumento de produtividade em relação à adubação em cobertura.

Da Ros (2004), utilizando a metodologia de diluição isotópica com $^{15}N$ explana que a maior disponibilidade de N mineral no solo, no estádio de 8 a 9 folhas, com a aplicação de N em semeadura e em cobertura, em relação à antecipação, deve ter sido o fator determinante da acumulação de N-U na parte aérea e, também do maior rendimento de grãos de milho, sobre restos culturais de aveia preta (Tabela 2.8). Assinala que em anos com distribuição de chuva, próxima ou acima da média, no período da aplicação de N em pré-semeadura, até os estádios iniciais de desenvolvimento da cultura do milho, a antecipação da dose de N em cobertura para a pré-semeadura reduz a produção de milho. Em anos com chuva abaixo da média ou com estiagem, a produção do milho não é alterada, com a aplicação antecipada de N com base em dados obtidos por outros autores (BASSO; CERETTA, 2000; PÖTTKER; WIETHÖLTER, 2000; DA ROS et al., 2003). A maioria dos autores enfatizam que a menor produção de milho, com a aplicação antecipada de N-uréia, em anos de elevada precipitação pluvial, é devida à lixiviação de N.

Tabela 2.7. Produtividade de grãos (kg.ha$^{-1}$) de milho em função de épocas de aplicação da adubação nitrogenada na sucessão aveia-milho[1].

| Dose - Época de aplicação de N no milho | Dose (kg.ha$^{-1}$) - Época de aplicação de N na aveia | |
|---|---|---|
| | 0 | 30 |
| **Arapoti** | | |
| Testemunha | 5.043 a | 5.225 a |
| 30 SEM + 90 CO | 6.673 a | 6.787 a |
| 90 MCI + 30 SEM | 5.666 a | 6.084 a |
| 120 MCI + 30 SEM | 6.084 a | 6.377 a |
| **Ponta Grossa** | | |
| Testemunha | 9.141 a | 10.016 a |
| 30 SEM + 90 CO | 11.239 a | 11.389 a |
| 90 MCI + 30 SEM | 11.282 a | 11.462 a |
| 120 MCI + 30 SEM | 11.687 a | 11.744 a |
| **Castro** | | |
| Testemunha | 6.033 b | 5.261 b |
| 30 SEM + 90 CO | 10.151 a | 9.512 a |
| 90 MCI + 30 SEM | 10.080 a | 9.630 a |
| 120 MCI + 30 SEM | 9.378 a | 9.506 a |

(1) Valores seguidos da mesma letra na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 0,05.
SEM: semeadura, MCI: manejo da cultura de inverno e CO: cobertura.

Tabela 2.8. Recuperação (kg.ha$^{-1}$) de N-uréia na parte aérea e grãos na cultura de milho (Pioneer 30F33), aplicado em semeadura + cobertura (SEM + CO) e pré-semeadura + semeadura (PSEM + SEM) em presença de resíduos culturais de aveia preta, em doses de 100 kg.ha$^{-1}$ de N. Santa Maria (RS)[1].

| Parte de planta | Época de aplicação | |
|---|---|---|
| | SEM + CO | PSEM + SEM |
| Parte aérea | 7,8 | 4,9 |
| Grãos | 11,5 | 7,8 |
| Total | 19,3 | 12,7 |
| Eficiência de N-uréia (%) | 19,3 | 12,7 |
| Produtividade de grãos[(2)] | 5.200 | 4.700 |

(1) SEM: semeadura, CO: cobertura, (estádio de 8-9 folhas), 34 dias após a semeadura e PSEM: pré-semeadura, 24 dias antes da semeadura.
(2) Valores aproximados a partir da visualização da Figura apresentada pelo autor.
Fonte: Dados adaptados de Da Ros (2004).

Citando resultados de Carlos Basso, Lopes et al. (2004) comentam que na safra 1996/1997 em Santa Maria (RS), não houve redução de rendimento do milho em decorrência da aplicação antecipada de N, talvez devido ao

estoque desse nutriente nesses solos, há anos sob plantio direto, ser maior, o que resultou em maiores rendimentos quando a aplicação desse nutriente foi realizada antes do período de demanda máxima de N (Tabela 2.9). Na safra 1997/1998 ocorreram elevadas precipitações pluviais em Santa Maria e em Passo Fundo (550 mm em outubro e 350 mm em novembro), fazendo com que a quantidade de N absorvido pela cultura do milho no tratamento 90-30-00 (pré-semeadura, semeadura e cobertura), fosse cerca de 2,5 vezes menor que no tratamento 00-30-90, o que certamente refletiu-se nas diferenças de produtividade obtidas. Lopes et al. (2004) indicam "razoável probabilidade de sucesso" a antecipação da adubação nitrogenada em milho para a cultura antecedente nas situações seguintes: a) áreas com vários anos de adoção do SPD e que já apresentam considerável aporte de matéria orgânica em função da rotação e seqüência de culturas adotadas; b) áreas que, em decorrência dos vários anos de SPD, apresentem uma considerável liberação de N no período de demanda máxima de N pelo milho; c) em anos que as chuvas de primavera ocorrem numa intensidade normal; e d) em solos de textura média ou argilosa.

Tabela 2.9. Rendimentos de grãos de milho em função de épocas de aplicação de nitrogênio no SPD. Santa Maria (RS).

| Época de aplicação | | | Safra | |
|---|---|---|---|---|
| PS[1] | SEM | CO | 1996/1997 | 1997/1998[2] |
| N ($kg.ha^{-1}$) | | | Grãos ($kg.ha^{-1}$) | |
| 0 | 0 | 0 | 5616 d | 2812 e |
| 0 | 30 | 90 | 6804 c | 5786 a |
| 30 | 30 | 60 | 6867 bc | 5174 b |
| 60 | 30 | 30 | 7756 a | 4322 c |
| 90 | 30 | 0 | 7230 ab | 3647 d |

[1] Alguns dias após a dessecação da aveia preta. [2] Excesso de precipitação pluvial em outubro e novembro de 1997.
Fonte: Lopes et al. (2004) citando dados de Basso (1998)

Num trabalho realizado por Pöttker e Wiethölter (2004) ampliando o número de safras para verificar a incidência da antecipação da adubação nitrogenada na cultura de milho, verificaram que a condição climática é de grande importância no resultado da produtividade de grãos (Tabela 2.10).

Tabela 2.10. Efeito de época de aplicação de N na produtividade de grãos de milho cultivado sobre resíduos de aveia preta. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

| P[3] | Época de aplicação | | | Safra | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | PS | SEM | CO | 1997/1998[1] | 1998/1999[2] | 1999/2000 | 2000/2001 | 2001/2002 | |
| | | | | kg.ha$^{-1}$ | | | | | |
| Us | - | 30 | 70 | 8.128 A | 8.880 | 7.872 | 9.619 | 6.692 | 8.238 |
| Pr | 70 | 30 | - | 6.653 B | 9.313 | 7.708 | 10.240 | 7.306 | 8.244 |

[1] Ocorrência do evento El Niño: alta precipitação nos meses de outubro e novembro, [2] Ocorrência do evento La Niña. PS = pré-semeadura, SEM = semeadura e CO = cobertura. O adubo em PS foi aplicado entre 07 a 14 dias antes da semeadura em todas as safras. A adubação em CO flutuou entre 18 a 44 dias após a semeadura. [3] P: Procedimento: Us - usual e Pp: Proposto.
Fonte: Adaptado de Pöttker e Wiethölter (2004).

Simplificando os resultados apresentados por esses autores, verificou-se que na safra 1997/1998 devido à elevada precipitação em outubro e novembro, é provável que perdas de N ocorreram, pelo processo de lixiviação de nitrato ou por denitrificação, nos tratamentos com N aplicado em pré-semeadura e na semeadura. Houve elevada precipitação pluvial entre a adubação em pré-semeadura e semeadura de milho, resultando num acréscimo de 18,2 % na produção de grãos, quando a aplicação foi realizada na semeadura e em cobertura. Nas safras 1998/1999 e 1999/2000 houve precipitação pluvial abaixo da normal nos primeiros 60 dias da cultura, havendo rendimento similar entre os métodos testados. Na safra 2000/2001 houve a maior produtividade em ambos os métodos testados, não sendo registrada diferença entre os tratamentos. Os autores concluem que em anos de precipitação, próxima ou inferior à normal, poder-se-ia aplicar N em pré-semeadura, confirmando os resultados obtidos por Basso e Ceretta (2000). A dificuldade para implementar essa prática é prever qual a precipitação pluvial futura. Em safra com elevada precipitação nos estádios iniciais de desenvolvimento do milho, a aplicação de N na semeadura e em cobertura, ocasionou rendimento de milho superior à aplicação, em pré-semeadura e na semeadura. Como prever a condição climática? Esses resultados estão ratificando os resultados comentados anteriormente para a condição de Cerrado. A maior probabilidade de pluviosidade em primavera no Sul, constitui num fator decisivo não controlável, para não antecipar a adubação.

Sangoi et al. (2007), em Lages-SC, durante as estações de crescimento de 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002 avaliaram seis sistemas de manejo da adubação nitrogenada: testemunha sem N; todo o N (100 kg.ha$^{-1}$) aplicado na dessecação da aveia; todo o N aplicado na semeadura do milho; todo o N

aplicado quando o milho tinha cinco folhas expandidas (estádio $V_5$); um terço do N aplicado na semeadura do milho e dois terços no estádio $V_5$; dois terços do N aplicados na semeadura e um terço em $V_5$. Na Tabela 2.11 é apresentada a eficiência aparente de N-U aplicada (método da diferença), desses tratamentos, mostrando que esta foi a maior, com a aplicação de N no estádio $V_5$ no milho. A antecipação da fertilização nitrogenada (para antes da semeadura ou toda em semeadura) diminuiu a produtividade de grãos em duas das três safras. Na estação de crescimento com a primavera mais chuvosa (2000/2001), a produtividade obtida com aplicação exclusiva em $V_5$ em média foi 2,2 $t.ha^{-1}$ maior do que a registrada quando o adubo foi antecipado ou aplicado em semeadura.

Da Ros et al. (2003) em Cruz Alta (RS), cultivando milho sobre resíduos de aveia preta e trigo, compararam a aplicação de N antecipado à semeadura em relação a N aplicado na cobertura tradicional (Tabela 2.12). A antecipação da adubação nitrogenada para a pré-semeadura aumentou a disponibilidade de N no solo, nos estádios iniciais de desenvolvimento das culturas de milho e trigo, mas não afetou a produtividade de grãos.

Tabela 2.11. Eficiência aparente (EA) de N-uréia (100 $kg.ha^{-1}$) e produtividade (P, $t.ha^{-1}$) de grãos em função de épocas de aplicação de N na cultura de milho, em média de dois sistemas de preparo de solo.

| Época | Safra | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1999/2000 | | 2000/2001 | | 2001/2002 | |
| | EA[1] | P | EA | P | EA | P |
| Testemunha | - | 9,48 b | - | 7,48 d | - | 6,04 c |
| 23 dias antes da semeadura (dessecamento aveia preta) | 13,9 [(2)]c | 10,87 a | 18,7 c | 9,54 c | 23,3 b | 8,56 b |
| Semeadura | 17,1 b | 11,19 a | 19,8 c | 9,59 c | 23,2 b | 8,59 b |
| Estádio $V_5$ | 22,6 a | 11,75 a | 38,8 a | 11,76 a | 31,4 a | 9,50 a |
| 1/3 semeadura + 2/3 em $V_5$ | 16,4 b | 11,12 a | 33,8 ab | 11,20 ab | 25,0 ab | 8,81 ab |
| 2/3 em semeadura + 1/3 em $V_5$ | 15,7 b | 11,04 a | 27,1 bc | 10,37 bc | 26,2 ab | 8,95 ab |

Médias em cada coluna seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Duncan ($P<0,05$).
(1) Eficiência aparente: $(Y_n - Y_0)/F_n$, sendo $Y_n$ = produtividade tratamento com N, $Y_0$: produtividade de testemunha e $F_n$: dose ($kg.ha^{-1}$) de N aplicada.
Adaptado de Sangoi et al. (2007).

Tabela 2.12. Produtividade (kg.ha$^{-1}$) de grãos de milho com diferentes épocas de aplicação de N-SA. Cruz Alta, RS.

| Época[1] | | | Produtividade de grãos |
|---|---|---|---|
| PS | SEM | CO | |
| - | - | - | 4.654 |
| 0 | 30 | 60 | 6.031 |
| 60 | 30 | - | 6.351 |

(1) PS: Pré-semeadura, 27 dias antes; SEM: semeadura, CO: cobertura, estádio de 4 folhas.

Rizzardi et al. (2008), em Passo Fundo, no Planalto Médio do Rio Grande do Sul, testaram cinco épocas de aplicação de N em cobertura, com épocas de controle de plantas daninhas, indicadas na Tabela 2.13.

Tabela 2.13. Rendimentos de grãos peso de 100 grãos e número de grãos por espiga de milho sob diferentes épocas de aplicação de N em sucessão a aveia preta.

| Época de aplicação de N | | | Produtividade de grãos (kg.ha$^{-1}$) | Massa de mil grãos (g) | Número de grãos por espiga |
|---|---|---|---|---|---|
| PS[1] | $CO_1$[2] | $CO_2$[3] | | | |
| 0 | 75 | 75 | 9.984 a[(4)] | 355 a | 467 a |
| 0 | 150 | 0 | 9.921 a | 348 b | 464 a |
| 75 | 75 | 0 | 9.619 ab | 340 c | 464 a |
| 150 | 0 | 0 | 9.346 c | 332 d | 460 a |
| 00 | 0 | 0 | 5.475 c | 295 e | 310 b |
| Média | | | 8.682 | 334 | 433 |
| CV (%) | | | 8,8 | 4,3 | 9,3 |

O menor rendimento foi no tratamento testemunha, com zero de N, conforme já era esperado. Nos tratamentos que receberam nitrogênio, o menor rendimento ocorreu quando o nutriente foi aplicado totalmente na pré-semeadura (150-0-0). Esse resultado ocorreu provavelmente pela menor disponibilidade de nitrogênio na fase final da cultura de milho. Os maiores rendimentos de grãos de milho foram obtidos nos tratamentos (0-75-75) e (0-150-0), porém sem diferir estatisticamente do tratamento (75-75-0) (Tabela 2.13). Comparando o tratamento com nitrogênio (0-75-75) com a testemunha zero de N, o aumento no rendimento foi de 82%. Novamente nos deparamos com base unicamente em dados de produtividade, que tanto faz antecipar como aplicar o N em cobertura tradicional. Outros indicadores como os já mencionados (eficiência de N aplicado), são necessários para obtenção de conclusões mais consistentes.

## Experiências em outras culturas e do estrangeiro

Segundo Below (2002) da Universidade de Illinois, Urbana (EUA), assinalou que além da quantidade, da fonte e da forma de N disponível à planta, a época em que este N está disponível também pode influenciar o uso de N e a produtividade. A ciência tradicional prescreve que quanto mais próximo do momento da absorção da cultura for a aplicação do N, mais eficiente seria seu uso. Devido a restrições de tempo, porém, esta prática nem sempre é possível, e uma considerável quantidade de N-fertilizante é antecipada e aplicada no outono, em Illinois. Além disso, algumas fontes de N, particularmente sulfato de amônio, são aplicadas na superfície do solo congelado no inverno. Esta prática é especialmente atraente para os agricultores que utilizam o cultivo mínimo e que querem evitar a compactação do solo. O autor avaliou a melhor época de utilização de N, aplicando sulfato de amônio a intervalos mensais em 10 locais (num período de três anos), em doses consideradas adequadas para maximizar o rendimento de grãos. Apesar das variações anuais, em média, foi observada uma notável diminuição na produtividade quando o N foi aplicado no outono ou no inverno, comparada à aplicação na primavera (Tabela 2.14). As diferenças em magnitude destas diminuições na produção, foram atribuídas a diferenças na precipitação de primavera. Para locais com baixa precipitação primaveril, a época de aplicação de N não afetou notadamente a produtividade de grãos, enquanto o oposto foi observado naqueles locais com alta precipitação primaveril. De maneira interessante, a prática de cultivo utilizada não afetou a resposta à época de aplicação de N.

Tabela 2.14. Efeito da época de aplicação de N na produtividade de grãos de milho em Illinois, EUA[(1)].

| Época de aplicação | Safra | | | Média |
|---|---|---|---|---|
| | 1997 | 1998 | 1999 | |
| | t ha$^{-1}$ | | | |
| Testemunha | 8,0 | 5,8 | 7,0 | 6,9 |
| Outono | 9,4 | 8,5 | 8,6 | 8,8 |
| Inverno | 9,3 | 9,4 | 9,2 | 9,3 |
| Primavera | 9,7 | 10,0 | 9,6 | 9,8 |

[(1)] Aplicação de N-SA em pré-semeadura (outono e inverno) e primavera (cobertura), em doses adequadas para ótimos rendimentos.

Kluthcouski et al. (2005) discutem a possibilidade da antecipação da adubação de N em cobertura para época imediatamente antes da semeadura (PS) e, semeadura (SEM) para culturas de feijoeiro, arroz e milho entre outras culturas na região de terras altas e de várzeas úmidas em Minas Gerais. Alguns resultados desses trabalhos são apresentados na Tabela 2.15.

Atualmente temos um cenário de expansão do SPD com irrigação, acumulação de nutrientes no perfil do solo após muitos anos de aplicações de

adubos minerais, o aumento da saturação por base, com conseqüente redução da toxidez, que possibilita um maior acúmulo de matéria orgânica, em forma de palha ou resíduo das plantas, na superfície e no perfil do solo. A palha de cobertura ao ser decomposta pela biomassa microbiana, requerem de N como de energia, o que gera a imobilização temporária, que será posteriormente liberado pelo processo de mineralização da matéria orgânica, após a morte dos microrganismos. Este fato, pode se tornar um gargalo no suprimento de N, nos atuais sistemas de produção. Segundo Kluthcouski et al. (2005), de uma maneira geral, a aplicação antecipada do N pode proporcionar redução no espaçamento ou pareamento de fileiras; minimizar os danos mecânicos; baratear o custo da operação; diminuir a quantidade de fertilizantes e de herbicidas pós-emergentes. Contudo, tem-se observado, na literatura, que a adubação antecipada prática, pode não ser tão eficiente em solos excessivamente arenosos, mal drenados ou com limitação de fertilidade química, como assinalado por Lopes et al. (2004). Especificamente para o sistema de terras altas, é preciso desenvolver mais estudos para avaliar o efeito da aplicação antecipada do N, em longo prazo, os benefícios dessa prática na população e na atividade microbiana do solo, bem como os efeitos na melhora física do solo.

Os resultados mostram que há falta de N na fase inicial de desenvolvimento de culturas, como feijoeiro e arroz nas condições de várzea tropical com sub-irrigação e terras altas, sendo interessante a aplicação, logo antes da semeadura, em relação a prática de parcelamento em cobertura de N. Entretanto, para produtividades acima de 4 $t.ha^{-1}$ de feijão, seria recomendável um complemento nitrogenado, entre 10 a 20 dias após a emergência das plantas.

Pode-se afirmar que ainda no Brasil, geralmente se aduba mal e de forma insuficiente. Dados ainda não publicados demonstram com resultados de campo, que produtividades médias de grãos de 10 $t.ha^{-1}$ na cultura de milho, podem ser alcançadas com 180 $kg.ha^{-1}$ de N (semeadura + cobertura), sendo efetuado parcelamento de acordo com o tipo de solo e condição climática e obviamente levando em conta a qualidade de SPD praticado. A nível regional deve-se estimular estudos com uso de traçador $^{15}N$, que ainda é utilizada por poucos pesquisadores para separar as diferentes fontes de N, que são assimiladas pela cultura (N-nativo de solo, N da resteva em decomposição, N por contribuição da fixação biológica de N em forma simbiótica ou livre), e poder ponderar a importância da resteva na adequação da dose a ser aplicada. Se, a rotação de culturas é peça fundamental em SPD, a função de reciclar nutrientes deve ser levada a sério e ser equacionada na dosagem a ser aplicada. Num estádio mais evoluído do SPD, essa contribuição passa a ter maior importância e deverá ser considerada, substituindo o fertilizante. Temos um longo percurso a ser recorrido. A pesquisa com N precisa orientar mais esforços ao estudo dos processos de transformação de N no sistema, associado a estudos da biomassa microbiana

em SPD. É inadmissível, continuar com estudos de "efeitos" num sistema de produção de tal complexidade.

Tabela 2.15. Produtividade (P, kg.ha$^{-1}$) de feijão, arroz e milho em solos de terras altas e de várzeas úmidas em Minas Gerais em função da época da aplicação de N.

| Dose (kg.ha$^{-1}$) e época de aplicação de N | | | P | Fonte |
|---|---|---|---|---|
| PS | SEM | CO | | |
| Feijão - Planalto Central | | | | |
| 0 | 0 | 120 | 1.658 | Silva et al. (2002), citados por Kluthcouski et al. (2005)[1] |
| 0 | 120 | 0 | 1.844 | |
| 40 | 40 | 40 | 2.105 | |
| 0 | 60 | 60 | 2.364 | |
| Feijão - Lagoa da Confusão (TO) | | | | |
| 90 | 12 | 0 | 2.996 | Kluthcouski et al. (2005)[2] |
| 0 | 12 | 90 | 1.696 | |
| Feijão - Santa Helena de Goiás (GO) | | | | |
| 45 | 13 | 45 | 3.239 | Kluthcouski et al. (2005)[3] |
| 90 | 13 | 0 | 2.735 | |
| Feijão - Santa Helena de Goiás (GO) | | | | |
| 0 | 13 | 0 | 3.091 | Kluthcouski et al. (2005)[4] |
| 45 | 13 | 0 | 3.886 | |
| 90 | 13 | 0 | 3.958 | |
| 135 | 13 | 0 | 3.918 | |
| Arroz - Santo Antônio de Goiás (GO) | | | | |
| 45 | | 45 | 1.664 | Kluthcouski et al. (2005)[5] |
| 0 | (não indicado) | 45 | 1.366 | |
| 45 | | 0 | 1.661 | |
| Arroz - Sinop (MT) | | | | |
| 0 | | 45 | 4.429 | Kluthcouski et al. (2005)[6] |
| 45 | (não indicado) | 45 | 5.122 | |
| 90 | | 45 | 5.439 | |
| Milho - Santa Helena de Goiás (GO) | | | | |
| 0 | | 0 | 9.232 | Kluthcouski et al. (2005)[7] |
| 45 | | 0 | 9.565 | |
| 90 | | 0 | 9.196 | |
| 00 | | 45 | 9.154 | |
| 90 | | 45 | 9.502 | |

[1] Aplicação 20 dias antes da semeadura (PS) sobre palha de milho.
[2] Aplicação imediatamente antes da semeadura (PS) e 10 dias após a emergência (CO) em várzea tropical.
[3] Aplicação antes da semeadura (PS) e 10 dias após a emergência (CO) após silagem de milho.
[4] Aplicação um dia antes da semeadura (PS).
[5] Aplicação de N antecipado à semeadura sob pastagem degradada.
[6] Aplicação da CO, 15 dias após emergência sob pastagem.
[7] Aplicação à semeadura de N.

Finalizando, a partir dos dados apresentados e tomando como base a variável mais sensível aos tratamentos mostrados por diferentes autores, a eficiência de N-fertilizante recuperado pela planta, considerando-se exclusivamente a produtividade de grãos, a cobertura de N tradicional seja em dose única ou parcelada, segundo a condição edafo-climática, é tecnicamente necessária. Não deve ser substituída pela sua antecipação. Isto para as condições de Cerrado, onde a fertilidade de solos e a falta de palha permanente, ainda é um gargalo em SPD, e para as condições do Sul do País, onde a probabilidade de altas precipitações pluviométricas é uma realidade, prévio à semeadura do milho. Pouco interesse apresenta a operacionalidade se, o produtor está colocando em risco sua margem de lucro. Paradigmas foram e ainda poderão cair com a evolução do SPD, entretanto cuidemos de nosso entusiasmo "achando" que tudo deve mudar.

## BIBLIOGRAFIA

BELOW, F.E. Fisiologia, nutrição e adubação nitrogenada do milho. Informações Agronômicas 99, p.7-12, setembro 2002.

BASSO, C.J.; CERETTA, C. A. Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura de solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.905-915, 2000.

BERNARDI, A.C.C.; MACHADO, P.L.O.A.; FREITAS, P.L. COELHO, M.R.; LEANDRO, W.M.; JÚNIOR, J.P.O.; OLIVEIRA, R.P.; SANTOS, H.G.; MADARI, B.E.; CARVALHO, M.C.S. Correção do Solo e Adubação no Sistema de Plantio Direto nos Cerrados. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 22p. (Embrapa Solos. Documentos; n. 46).

BERTOLINI, E.V.; GAMERO, C.A.; SALATA, A.C.; PIFFER, C.R.R. Antecipação da adubação de semeadura do milho em dois sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2355-2366, 2008.

CANTARELLA, H.; LERA, F.I.; BOLONHEZI, D.; LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Antecipação de N em milho em sistema de plantio direto usando 15N-uréia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DE SOLO, 24., Ribeirão Preto. 2003. Anais. Ribeirão Preto, **Sociedade Brasileira de Ciência de Solo**, 2003. CD-ROM.

DA ROS, C.O.; ROBERTO LUIZ SALET, R.L.; PORN, R.L.; MACHADO, J.N.C. Disponibilidade de nitrogênio e produtividade de milho e trigo com diferentes métodos de adubação nitrogenada no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.33, n.5, 2003.

DA ROS, C.O. Dinâmica do carbono e do nitrogênio com o uso de uréia, na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto. Tese de Doutorado, 2004. 129p. (Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS).

GOMES, R.F.; SILVA, A.G.; ASSIS, R. L.; PIRES, F.R. Efeito de doses e da época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agronômicos da cultura do milho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.5, p.931-938, 2007.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H.; THUNG, M.; OLIVEIRA, F.R.A.; COBUCCI, T. Manejo antecipado do nitrogênio nas principais culturas anuais. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. Documentos 188, 63p.

LANGE, A.; LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Recuperação do nitrogênio das fontes sulfato e nitrato de amônio pelo milho em sistema semeadura direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.1, p.123-130, 2008.

LARA CABEZAS, W.A.R.; LANGE, A.; FERRAZ, M.V. Épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura de milho em sistema plantio direto em solo muito argiloso e arenoso do Triângulo Mineiro (MG). Relatório de Pesquisa. Agrisus. 2003. 120p.

LARA CABEZAS, W.A.R.; ARRUDA, M.R.; CANTARELLA, H.; PAULETTI, V.; TRIVELIN, P.C.O. & BENDASSOLLI, J.A. Imobilização de nitrogênio da uréia e do sulfato de amônio aplicado em pré-semeadura ou cobertura na cultura de milho, no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.215-226, 2005.

LARA CABEZAS, W.A.R.; COUTO, P.A. Imobilização de nitrogênio da uréia e do sulfato de amônio aplicado em pré-semeadura ou cobertura na cultura de milho, no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.739-752, 2007.

LARA CABEZAS, W.A.R. Atividade microbiana do solo e produtividade do milho em função da aplicação antecipada de nitrogênio e adensamento de palha. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.4, p.899-910, 2008.

LOPES, A.S.; WIETHOLTER, S.; GUILHERME, L.R.G.; SILVA, C.A. Sistema plantio direto: Bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo, ANDA, 2004. 115p.

MEIRA, F.A. Fontes e modos de aplicação do nitrogênio na cultura do milho. Tese Doutorado, UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE

MESQUITA FILHO" FACULDADE DE ENGENHARIA – Campus de Ilha Solteira/SP. 2006. 46p.

PAULETTI, V.; COSTA, L.C. Época de aplicação de nitrogênio no milho cultivado em sucessão a aveia preta no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.30, n.4, 2000.

PÖTTKER, D.; WIETHÖLTER, S. Antecipação da aplicação de nitrogênio em milho. In: FERTBIO, 2000, Santa Maria. Anais (CD ROM - resumo expandido). Santa Maria: SBCS, 2000.

PÖTTKER, D.; WIETHÖLTER, S. Épocas e métodos de aplicação de nitrogênio em milho cultivado no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.34, n.4, 2004.

RIZZARDI, M.A.; ZANATTA, F.S.; LAMB, T.D.; JOHANN, L.B. Controle de plantas daninhas em milho em função de épocas de aplicação de nitrogênio. **Planta Daninha**, Viçosa, v.26, n.1, p.113-121, 2008.

SÁ, J.C. de M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIM, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.G. (Ed.). Interrelação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Lavras: SBCS, 1999. p.267-319.

SÁ, J.C.M. Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto. Passo Fundo, Aldeia Norte, 1996. 23p.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; SILVA, P.R.F. Resposta do milho à época de aplicação do fertilizante nitrogenado em dois sistemas de cultivo num solo com alto teor de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.3, p.507-517, 2007.

VARGAS, L.K.; SELBACH, P.A.; SÁ, E.L.S. Imobilização de nitrogênio em solo cultivado com milho em sucessão à aveia preta nos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, v.35, n.1, 2005.

# O MANEJO DE PLANTAS INVASORAS NA PERSPECTIVA DA AGROECOLOGIA

**Carlos Armênio Khatounian**

Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Ph.D. e Docente do Departamento de Produção Vegetal, ESALQ, Universidade de São Paulo.
Caixa Postal 9, Piracicaba-SP, 13418-900, +(19)3429.4115
khatouniam@esalq.usp.br

**Luiz Antonio Odenath Penha**

Engenheiro Agrônomo, M.Sc.
Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (SEAB). Rua Palheta, 103. Aeroporto. Londrina, PR, 86038-080, +(43)2104.7900

## INTRODUÇÃO

Do ponto de vista da composição florística dos terrenos cultivados, a agricultura pode ser entendida como um esforço para direcionar os fatores de crescimento vegetal para espécies de interesse humano, as culturas. Contudo, outras espécies sempre cresceram nas áreas de cultivo, competindo com as culturas pelo uso da água, da luz e dos nutrientes, de modo que o controle dessas espécies indesejadas exigiu a interferência humana desde os primórdios da agricultura.

## ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DE PLANTAS INVASORAS AO LONGO DA HISTÓRIA

Para controlar essas espécies, as práticas de interferência assumiram distintas formas ao largo do espaço geográfico e do tempo, tais como a aração nas áreas de aluvião, rotação com pousio arbóreo no trópico úmido, a rotação com pastagem nos climas temperados, e a inundação dos tabuleiros no cultivo do arroz. Tais práticas tinham também outras funções nos sistemas agrícolas, mas no tocante às plantas infestantes visavam à sua diminuição massal.

A eliminação planta a planta de cada indivíduo das espécies indesejáveis, em grandes áreas sob cultivo, é prática relativamente recente na agricultura ocidental. Nos textos bíblicos não há uma única referência à eliminação de plantas indesejadas durante o crescimento do trigo, mas apenas à necessidade de separar o joio depois de colhido o cereal. Quando os europeus aportaram no trópico úmido americano, a agricultura dos indígenas tampouco incluía a eliminação individual das plantas indesejadas; a rebrota da floresta crescia junto com as plantas de cultivo.

## Pousio

Por séculos, o pousio foi o principal mecanismo para reduzir a população das plantas indesejadas nos terrenos onde se praticava agricultura de sequeiro. Em sua maioria, as espécies indesejadas eram plantas anuais, capazes de se estabelecer e produzir sementes no espaço aberto para os cultivos. Com o pousio, as plantas perenes passavam a dominar o terreno, dificultando assim o desenvolvimento e a produção de sementes das plantas invasoras de cultura. Simultaneamente, ocorria o decaimento fisiológico e a predação das sementes de invasoras no solo. Com isso, o banco de sementes de espécies indesejáveis no sistema decrescia ao longo do período de pousio.

Quando se retornava ao cultivo da área, o tamanho reduzido do banco de sementes de invasoras, pouco ou nada afetava o desempenho do primeiro ciclo da cultura implantada. Contudo, ainda que em população reduzida, as poucas plantas indesejadas aí presentes produziam sementes, e em poucos anos sua população aumentava a ponto de se tornar não apenas indesejável, mas de impactar fortemente a cultura.

Por essa razão, em cada quadrante geográfico, a infestação por plantas invasoras foi aumentando à medida que se encurtava o pousio e se intensificava o uso agrícola, exigindo esforço cada vez maior para seu controle. Na atualidade, em áreas de agricultura intensiva, o problema atingiu tal dimensão que as perdas nas lavouras podem totais se não houver controle.

## Aração e capina

Nas áreas de agricultura de aluvião ou irrigada, historicamente, a aração foi a primeira – e por séculos a única – interferência humana para o controle das plantas indesejáveis. A lógica consistia em destruir toda a vegetação existente sobre o terreno, de modo que a emergência das plântulas da cultura ocorresse num ambiente de pouca competição, ao menos na fase inicial do ciclo da planta cultivada. Mais tarde, com a invenção do arado de inversão da leiva, as sementes de infestantes produzidas na safra anterior passaram a ser enterradas, a uma profundidade da qual não podiam emergir.

Sobre o terreno eliminado de invasoras, semeava-se o cereal a lanço. Vale lembrar que a semeadura a lanço ainda era predominante no cultivo de grãos como o trigo, o centeio e a cevada até o início do século XX, em todo o planeta.

A segunda interferência, desenvolvida nas áreas de sequeiro, foi a capina, que consistia na eliminação seletiva e individual das plantas invasoras com enxada. A capina exigia um posicionamento regular e alinhado das plantas da cultura, que permitisse a passagem da enxada, de modo que semeadura a lanço e capina não eram conciliáveis. Nos textos agrícolas portugueses fazia-se distinção entre culturas “não sachadas”, onde estavam quase todos os cereais, exceto o milho, e culturas “sachadas”, isto é,

capinadas, que se referiam particularmente às hortaliças e algumas espécies de menor expressão em termos de área cultivada.

Com o desenvolvimento da mecanização agrícola, a semeadura a lanço foi perdendo terreno e a enxada foi substituída pelo cultivador, nas culturas já então cuidadosamente dispostas em linhas. Quando as plantas foram alinhadas, enxada e cultivador foram incorporados também às áreas de aluvião e irrigadas. Assim, arado, cultivador e enxada formaram o trio do controle de invasoras até a metade do século XX.

## O controle de invasoras por inundação e monda

Enquanto esses processos evoluíam na agricultura sobre terrenos bem drenados, evoluía no Oriente o manejo da lâmina de água e a retirada manual de cada planta infestante nos tabuleiros de arroz inundado. O arroz é espécie originária dos terrenos de beira de água, crescendo bem tanto em terrenos inundados, como em áreas não inundadas desde que bem supridas de água. No entanto, para germinar o arroz precisa de bom arejamento no solo, como várias outras plantas aquáticas. Quando o homem passou a cultivar o arroz, essas várias plantas se tornaram são invasoras importantes na cultura do arroz.

A estratégia desenvolvida pelos agricultores do Oriente foi separar a fase de germinação do arroz, da fase de crescimento e produção. A germinação passou a ser feita em canteiros não-inundados, sob cuidado intensivo, transplantando-se mais tarde as mudas para o tabuleiro coberto com uma lâmina de água. Depois de pegas as mudas, alternava-se um regime com períodos de inundação e drenagem. Na fase inundada, tomavam a dianteira aquelas espécies tolerantes à inundação, mas essas mesmas espécies perdiam competitividade ao se de retirar a água, dando espaço a espécies de terrenos drenados. Quando estas últimas começavam a crescer mais fortemente, retornava-se com a lâmina de água.

Como a planta de arroz não necessita, mas tolera, a inundação, esse sistema de manejo da água era essencialmente uma estratégia de economizar mão de obra na eliminação das plantas invasoras. Efetivamente, algumas poucas espécies invasoras eram capazes de conviver com essa alternância, de tal maneira que permanecia a necessidade de complementar o controle de ervas com o repasse manual, a monda, para se eliminar cada indivíduo dessas espécies invasoras remanescentes. Assim, na agricultura centrada no arroz irrigado associavam-se práticas de controle massal da flora invasora com práticas de controle individualizado de cada planta daninha.

## Aração, adubos minerais e flora infestante

Logo após o revolvimento do solo, acelera-se a decomposição da matéria orgânica do solo, de modo que há um pulso de liberação de nutrientes minerais. Esse fenômeno foi traduzido no saber agronômico com a expressão que uma boa aração equivale a uma adubação. Naturalmente, as culturas agrícolas se beneficiam desse pulso, mas ao longo do tempo esse

pulso também selecionou na flora invasora aquelas espécies capazes de melhor aproveitá-lo em seu favor. Assim, um traço comum a várias espécies invasoras de sistemas de agricultura arada é a resposta ao pulso de nutrientes (MOHLER, 2001).

Contudo, antes da utilização de adubos minerais, essa seleção tinha como limite a rotação de culturas, imposta pela necessidade de recuperação da fertilidade do solo com rotações de culturas e/ou de pousio. Com o advento dos adubos minerais na segunda metade dos 1800, o pousio e as rotações foram se tornando desnecessários para a recuperação da fertilidade dos terrenos de agricultura de sequeiro do Ocidente. A eliminação do pousio e das rotações permitiu a instalação de sistemas de monocultura, dominados pelos os produtos de maior valor econômico.

A combinação de aração, adubação e monocultura criou condições para um aumento ininterrupto no banco de sementes de invasoras no solo, particularmente daquelas que respondiam ao pulso de nutrientes minerais. Assim, o problema com as invasoras aumentava, e simultaneamente a população rural diminuía, tornando a situação particularmente difícil.

## O controle de invasoras no século XX

No grande ímpeto de investigação agrícola a partir do final do século XIX, o controle de plantas invasoras se tornou objeto de muitos estudos, a princípio envolvendo meios mecânicos, e a partir de meados dos 1900, sobretudo métodos químicos. Como, tanto os métodos físicos quanto os químicos envolvem custos em trabalho e produtos, houve um esforço em se determinar quando e que tipo de intervenção aplicar, combinando o menor custo com o máximo rendimento na cultura.

Para isso, não era mais suficiente o conhecimento empírico de que a fase crítica de interferência da planta invasora era o início do ciclo da cultura. A título de exemplo, já no contexto brasileiro de final do século XX, Pitelli e Durigan (1984) propuseram a divisão desse início do ciclo em: (i) Período Total de Prevenção da Interferência (PTPI), período a partir da semeadura em que a cultura deve ser mantida sem a competição de espécies invasoras; (ii) Período Anterior a Interferência (PAI), período que a cultura pode conviver com as invasoras, a partir da semeadura, sem sofrer dano; e (iii) Período Crítico de Prevenção da Interferência (PCPI), período que a cultura deve ser mantida sem a competição das invasoras, a partir do limite máximo do PAI até o final do PTPI.

Raciocinando nesses termos, quanto menor o banco de sementes no solo, e menor a emergência de invasoras com a cultura, mais longo o PAI. Numa situação de população invasora extremamente baixa, como nos antigos sistemas com pousio arbóreo, esse período anterior à interferência poderia durar todo o ciclo da cultura. No extremo oposto, num terreno muito infestado, o PAI poderia ser de poucos dias, como ocorre hoje na maioria das áreas sob cultivo intensivo. Num terreno com baixa infestação, o PCPI pode ser consideravelmente mais longo que num terreno com alta infestação.

Mas tais conceitos não objetivavam comparar diferentes modalidades de manejo de sistemas agrícolas. Eles visavam precipuamente à definição dos períodos de tempo mais adequados para a aplicação de uma medida de controle, fosse mecânica ou química.

No caso do controle mecânico, a aplicação da medida de controle no tempo mais indicado depende fortemente do andamento climático. Longos períodos chuvosos são especialmente problemáticos, porque ao mesmo tempo favorecem o desenvolvimento das invasoras e dificultam a entrada e o trabalho das máquinas, e ainda propiciam o novo enraizamento das plantas.

Em comparação com o controle mecânico, o controle com herbicidas é menos dependente do andamento climático, porque um curto período sem chuva é suficiente para a aplicação do produto. Além disso, a aplicação em si é mais rápida e requer menos esforço físico ou potência mecânica. Por essas razões, a área cultivável por trabalhador aumenta quando se passa do controle mecânico para o químico, tanto em sistemas baseados em trabalho manual quanto naqueles centrados na mecanização. Tais vantagens do controle químico em relação ao controle mecânico tornaram os herbicidas muito atrativos para todas as escalas de produção, a ponto de se serem hoje os pesticidas mais consumidos no Brasil e no mundo.

## O plantio direto idealizado e as invasoras

Os herbicidas possibilitaram o controle de plantas invasoras sem o revolvimento do solo, levando à re-análise de conceitos e práticas agrícolas consagradas pela história da agricultura, particularmente a idéia de que a aração era necessária para produzir safras abundantes. A partir do final da década de 1970, desenvolveu-se o plantio direto, hoje praticado na quase totalidade das áreas de soja, de milho e de trigo no Brasil. A aração se revelou desnecessária e foi praticamente abolida, a tal ponto que os arados se tornaram relativamente raros nas mais importantes áreas de produção de grãos no país. A contribuição do sistema de plantio direto para a redução da erosão dos solos no Brasil foi de primeiríssima ordem, um grande passo rumo à agricultura conservacionista.

Os idealizadores do sistema de plantio direto o concebiam como uma combinação de boas práticas de uso do solo, incluindo a rotação de culturas e plantas de cobertura do solo nos períodos sem cultura comercial. Tais culturas, ao utilizar a luz, a água e os nutrientes disponíveis para seu próprio crescimento, podiam reduzir o desenvolvimento e a produção de sementes das invasoras, contribuindo para a exaustão dos bancos de sementes no solo. Além disso, a palha produzida pelas plantas de cobertura durante o inverno reduzia a emergência das invasoras na cultura comercial de verão. Com as rotações e as culturas de cobertura, imaginava-se que o problema com invasoras se reduziria com o tempo, e conseqüentemente requereria menos herbicidas.

## O plantio direto atual e as invasoras

A redução do problema com plantas invasoras realmente ocorreu, mas apenas naquelas áreas restritas onde o sistema foi implantado como havia sido concebido. Contudo, na maior parte da área atualmente sob plantio direto, as práticas efetivamente incorporadas foram a eliminação da aração e a aplicação de herbicidas no período crítico de prevenção do dano. Por assim dizer, esse é o plantio direto real e predominante, com muito pouca palhada e com pouca ou nenhuma rotação de culturas.

A flora infestante, ao lugar de perder importância, apenas se modificou, selecionando-se espécies que reuniam características adequadas para a ocupação dos nichos disponibilizados. Assim, as espécies favorecidas pelo revolvimento do solo foram perdendo relevância, enquanto outras ganharam importância, particularmente a guanxuma (*Sida rhombifolia*), por tolerar solos compactados, o leiteiro (*Euphorbia heterophylla*), por mimetizar a planta de soja em arquitetura e ciclo. Mais recentemente, somou-se a esse grupo a buva (*Conyza candensis*), por ser capaz de ampla disseminação pelo vento e de crescer nas manchas de solo exposto durante o inverno.

Em termos de palhada, efetivamente, apenas nas regiões de clima mais frio, como o Centro-Sul do Paraná, o plantio direto resultou nalgum acúmulo de palha sobre o solo, mesmo em sua versão simplificada. Mas nas regiões de clima mais quente, vale dizer, em quase toda a área sob plantio direto no Brasil ao norte do paralelo 24° S, ocorrem longos períodos de tempo em que os terrenos ficam livres para o crescimento e a reprodução das espécies invasoras, particularmente no inverno e no início da primavera. Com isso, os bancos de semente de invasoras se mantêm com estoques elevados, e a necessidade de herbicidas tem crescido. Houve várias conseqüências e reações a essa situação. A "Federação Brasileira de Plantio Direto" rebatizou-se e acrescentou "na Palha", numa referência à necessidade de relembrar que as culturas de cobertura e a rotação de culturas são requisitos essenciais para o bom funcionamento do sistema.

Para compensar a ausência de culturas de cobertura e de rotação, os agricultores têm tido de usar mais herbicidas, ao que se juntou, na virada do século, o recurso às culturas geneticamente modificadas para resistir a herbicidas de amplo espectro, sendo o caso mais focalizado o das sojas resistentes ao glifosato. Naturalmente, a maior quantidade de herbicidas e o uso de sementes transgênicas tiveram reflexos sobre os custos de produção, e também sobre o meio ambiente.

## Plantio direto com qualidade

Mesmo com esses problemas, o plantio direto trouxe uma significativa redução na erosão do solo, embora a preservação física do solo tenha tido um custo ambiental que não era previsto: o uso ampliado de herbicidas. A reação a esse conjunto de problemas tem levado à proposta do "plantio direto com qualidade", para a qual são atualizadas as premissas dos idealizadores do sistema. No plantio direto com qualidade se inclui o aproveitamento do

inverno para a produção de palha por plantas de cobertura como aveia, nabo, ervilhaca, tremoço, entre outras. No Cerrado para função semelhante, estuda-se o uso de braquiárias, milhetos (*Pennisetum* spp.) e capim pé-de-galinha gigante (*Eleusine coracana*).

A rotação e a sucessão de culturas são planejadas de forma estratégica, considerando o sistema produtivo como um todo, e não unicamente a safra em curso. A proposta do plantio direto com qualidade reduz os custos de produção, principalmente no controle de invasoras e em fertilizantes, além de melhorar a produtividade e a estabilidade do rendimento das culturas (MEDEIROS; CALEGARI, 2006). Também se considera nesse planejamento estratégico a prevenção de pragas e doenças.

A adoção generalizada do plantio direto com qualidade seria um avanço importante rumo à agricultura conservacionista, por focalizar as vantagens do sistema no controle da erosão do solo, e não negligenciar o passivo ambiental associado aos herbicidas. O próximo passo na evolução do sistema seria o plantio direto sem herbicidas, que atualmente é o maior desafio tecnológico na produção de culturas anuais rumo a uma agricultura plenamente conservacionista. Tal desafio tem sido pioneiramente enfrentado por produtores de soja orgânica no Paraná há pelo menos uma década, e tem sido objeto de investigação no Paraná.

## O controle de invasoras com base na dinâmica de populações

Para o controle de invasoras com menos ou mesmo sem herbicidas é preciso focalizar o problema num contexto mais amplo, no sistema produtivo (MELANDER et al., 2005), abordando a infestação por invasoras com os conceitos da dinâmica de populações. As espécies de plantas daninhas que se estabelecem em um sistema de produção de grãos são conseqüências do conjunto de práticas realizadas nas culturas ao longo dos anos, de modo que tanto a presença dessas espécies quanto suas populações podem ser modificadas se as práticas de condução das culturas forem alteradas (SKORA NETO et al., 2006).

Por isso, as interferências de controle de invasoras ao longo de uma safra agrícola, bem como a sucessão e a rotação de culturas, devem ser feitas numa perspectiva de longo prazo, na perspectiva de que as plantas infestantes estejam sempre sob controle. O caminho rumo ao plantio direto sem herbicidas certamente exigirá conhecimentos e habilidades muito mais complexas do que as hoje necessárias para o sistema com herbicidas.

Dentre esses conhecimentos, ênfase especial precisa ser dada à biologia e à ecologia de cada espécie invasora, de modo a se entender porque tais espécies se tornam invasoras importantes e a identificar pontos fracos no seu ciclo que propiciem ações de controle. Tais aspectos serão tratados a seguir.

## ASPECTOS DA BIOLOGIA E DA ECOLOGIA DAS PLANTAS INVASORAS

Nos livros textos sobre plantas invasoras, é usual um dos primeiros capítulos apresentar características biológicas que seriam comuns às diferentes espécies de plantas invasoras, tais como elevada produção de sementes, dormência, rápido crescimento relativo etc. Nessa seção, procuraremos demonstrar que tais características não são generalizáveis ao conjunto das espécies invasoras de importância agrícola, e que o fato maior que as caracteriza enquanto daninhas é ocuparem nichos que são disponibilizados pela interferência humana.

Nessa perspectiva, o foco sai das características intrínsecas das espécies infestantes, direcionando-se para a maneira como intervimos no ambiente. Se não disponibilizamos tais nichos, essas espécies ditas invasoras não encontram espaço físico e de tempo para se desenvolver. Porém, como regra, tais nichos apenas se tornam visíveis depois de uma espécie o ocupar.

Para exemplificar a heterogeneidade da biologia e da ecologia das plantas invasoras enquanto grupo, focalizaremos ao longo do texto o assa-peixe (*Vernonia* spp.), a erva-de-passarinho (*Struthanthus* spp.) e o capim marmelada (*Brachiaria plantaginea*).

O assa-peixe é uma invasora perene de pastagem, cujas pequenas sementes são disseminadas pelo vento. Por serem diminutas, essas sementes são incapazes de gerar uma planta viável quando caem no meio de uma pastagem com boa cobertura de solo. Contudo, quando caem sobre uma mancha de solo exposto, numa pastagem sobrepastejada, conseguem formar uma pequena planta, que rapidamente forma rizomas.

Como o gado não come o assa-peixe, a parte aérea e os rizomas vão se expandindo, em prejuízo da pastagem. Quando a planta é roçada, as reservas nos rizomas garantem uma rebrota vigorosa, restando como único recurso econômico para seu controle o uso de herbicidas. O nicho criado pela mão humana consiste essencialmente na combinação da mancha sobrepastejada com a contínua eliminação do capim de suas bordas pelo pastejo do gado.

Erva-de-passarinho é um termo aplicado a plantas da família das lorantáceas, especialmente do gênero *Struthanthus*, que têm em comum o fato de se desenvolver sobre a galhada de árvores, prendendo-se a estruturas caulinares madeira por meio de raízes diferenciadas (*haustórios*) que perfuram a madeira e se alimentam da seiva da planta hospedeira. São, portanto, parasitas, que crescem lentamente mas vivem vários anos. Seus frutos são comidos por passarinhos, que disseminam as sementes junto aos seus excrementos sobre os galhos de outras árvores.

Árvores que perdem folhas no inverno parecem ser mais atacadas, supostamente porque são ponto de pouso mais fácil durante o período de maturação dos frutos da erva de passarinho. Embora sejam plantas brasileiras, as ervas-de-passarinho não parecem causar danos às florestas nativas, talvez pelo crescimento lento e pela diluição do parasitismo. Contudo,

a infestação de um ramo o inviabiliza para a produção de frutos. Em áreas com poucos pontos de pouso para pássaros, como em pequenos pomares isolados ou na arborização urbana, e particularmente em plantas caducas, a infestação pode ser extrema e levar à morte das árvores.

Por sua vez, o capim marmelada é uma gramínea africana naturalizada no Brasil, ocorrendo atualmente em praticamente todo o país. É planta do ciclo $C_4$, de crescimento rápido e vigoroso, competindo fortemente com outras plantas, sejam elas culturas agrícolas ou outras invasoras. Apresenta alta plasticidade fenotípica, e produz sementes em grande número: em experimentos no Norte do Paraná, chegamos a contar mais de 10.000 sementes por $m^2$ em milho e até 30.000 em soja, com viabilidade acima de 90% (KHATOUNIAN, 2004). No entanto, a dispersão de suas sementes é limitada à área sob a planta. Apresenta dormência, e, enterradas, as sementes podem sobreviver por uma a duas décadas, e na superfície, germina quase todos os meses do ano. Por essas características, tornou-se uma das principais, se não a principal planta invasora em vários sistemas baseados na produção de culturas anuais com revolvimento do solo. Quando se para de revolver o solo (por exemplo, pela conversão da área ao plantio direto, ou pelo seu uso como pomar ou pastagem), o capim marmelada tende a perder importância na composição da flora infestante.

Comparando-se essas três espécies, fica muito evidente que elas têm muito pouco em comum em sua biologia ou ecologia. Elas convergem talvez apenas no fato de comprometerem o uso humano de determinados recursos e de se instalarem em nichos ecológicos criados pelo manejo humano do ambiente.

## Características comuns a invasoras de sistemas com revolvimento do solo

A despeito da grande diferença entre as três espécies que acabamos de tratar, a maioria dos livros sobre herbologia traz um capítulo sobre características comuns às espécies invasoras de culturas. Esse fato se deve a que, historicamente, os estudos sobre plantas invasoras se concentraram naquelas espécies importantes para a produção de culturas anuais e em sistemas que envolviam o revolvimento mecânico do solo. Tais condições cobrem a maior parte da área sob cultivos alimentares no planeta, justificando em certa medida a generalização.

O conhecimento e as práticas gerados pelos estudos conduzidos nessas condições passam por ter aplicação generalizada, mas não se aplicam necessariamente a sistemas de produção em que não há revolvimento do solo. Por essa razão, é preciso olhar criticamente o conhecimento tradicional da herbologia, quando se focaliza plantio direto. Não obstante, para uma visão de conjunto, e como ponto de partida, discutiremos primeiro esse conhecimento gerado nos sistemas com revolvimento de solo.

A primeira generalização é que a maioria das plantas daninhas tem sua germinação associada a distúrbios causados pela aração, tais como

temperatura mais elevada e maior amplitude térmica, pulso de liberação de nitratos, maior aeração e, especialmente, exposição à luz. Todos esses fatores foram incorporados na seleção de plantas daninhas, para desencadear seu desenvolvimento, através da quebra de dormência de suas sementes armazenadas no solo (LIEBMAN, 2001).

Em sua maioria, essas espécies invasoras são de ciclo anual, apresentam taxa elevada de crescimento relativo, e produzem uma grande quantidade de sementes, geralmente de tamanho diminuto, e com mecanismos de dormência.

Em condições de clima temperado, Wilson *et al*. (1985) estudaram o número de sementes enterradas na camada arável, o *banco de sementes* no solo, encontrando valores de 2.000 até 70.000 sementes por metro quadrado. As plantas daninhas localmente dominantes respondiam por 70 a 90% desse total. As sementes são enterradas quando se revolve o solo, e aí ficam alojadas até que um novo revolvimento as exponha a condições que quebram seus mecanismos de dormência. Quanto mais profundamente enterradas no solo, mais baixa é a temperatura, menor o teor de oxigênio e menor a chance de serem atacadas por predadores. Tais condições contribuem para maior longevidade dessas sementes enterradas mais profundamente, em comparação com as sementes mais próximas da superfície do solo.

Por isso, sementes dormentes permanecem viáveis no solo por longos períodos, até vários anos, aguardando um estímulo indicativo de condições favoráveis para germinar e ocupar o terreno. Os mecanismos de dormência incluem compostos que funcionam como barreiras físicas e químicas à germinação. A casca da semente funciona como uma barreira física, sendo necessária sua degradação ou o rompimento para que a água penetre, em outras palavras, tempo e condições ambientais favoráveis aos microorganismos ou agentes físicos. Outro mecanismo de dormência é a liberação de componentes químicos que devem ser lavados do interior da semente, o que ocorre em períodos de pluviosidade intensa. Ainda outro mecanismo de dormência é devido aos fitocromos, que regulam a emergência da semente pela qualidade e quantidade de luz que ela recebe.

Além dessas características ligadas à manutenção do material propagativo da espécie, as plantas daninhas de terrenos arados costumam ter características que favorecem também a sobrevivência individual de cada planta. A mais comum e talvez mais importante é a *plasticidade fenotípica*, entendida como a capacidade da planta de, uma vez emergida, completar o ciclo, numa grande variedade de condições de ambiente. Exemplo típico dessa plasticidade encontra-se em capim-marmelada: quando o ambiente é adverso, a planta pode completar o ciclo, produzindo sementes viáveis, na forma de uma frágil haste de 3 mm de espessura e 15 cm de comprimento; ou, quando as condições são favoráveis, pode formar uma touceira com 90 cm de altura e 120 cm de diâmetro.

## O princípio da seleção pela aplicação continuada de um fator de estresse

Esse conjunto de generalizações sobre a flora daninha de culturas, embora enunciado com freqüência, pode ser entendido como um caso particular de um princípio ecológico mais geral, de fácil observação com o uso de herbicidas e o plantio direto. Tal princípio é que *a aplicação continuada de um fator de seleção sobre uma comunidade biológica seleciona aquela fração da comunidade não afetada pelo fator aplicado*. Essa *fração não afetada* se reproduz, e depois de algum tempo, se torna dominante. Por exemplo, em áreas onde se aplica glifosato, aumenta a população de trapoeraba (*Commelina benghalensis*), porque essa espécie é relativamente tolerante a esse herbicida.

Se, em lugar de sobre uma comunidade, o fator de seleção for aplicado sobre uma população (isto é, um conjunto de indivíduos da mesma espécie), o processo de seleção ocorre da mesma maneira, e tem as mesmas conseqüências. Porém, o ritmo de seleção sobre uma espécie é mais lento do que sobre uma comunidade, porque é mais estreita a diversidade genética sobre a qual opera a seleção. Um exemplo clássico desse processo foi o desenvolvimento de resistência ao glifosato pelo azevém (*Lolium multiflorum*) na Austrália, mas há atualmente várias dezenas de casos de resistência a pesticidas tanto em herbologia como em entomologia agrícola.

Embora seja o mesmo o princípio biológico de seleção dos tipos capazes de sobreviver ao fator de seleção aplicado, dois termos têm sido utilizados. Fala-se em *tolerância* no caso de uma comunidade, quando os genes que garantem a sobrevivência já estão presentes na espécie, caso da trapoeraba, antes da aplicação do fator de seleção. Quando a seleção opera sobre a base genética de uma espécie inicialmente susceptível, caso do azevém, o termo é *resistência*. Essa diferenciação se deve aos distintos mecanismos genéticos de seleção que operam em cada caso. Contudo, o resultado prático é o mesmo: a perda de eficácia do método de controle quando aplicado repetidamente.

## Fatores de seleção da flora invasora na conversão para o plantio direto

Quando uma área é convertida do manejo com revolvimento do solo para o plantio direto, deixam de ser vantajosas algumas características até então importantes para o sucesso de uma espécie como planta daninha. Por exemplo, a quebra de dormência pela luz e a capacidade de sobreviver enterrada por muitos anos perdem importância. Se o sistema for mantido com boa palha, e conseqüentemente mais frio, espécies que exigem mais calor são prejudicadas, e sementes pequenas passam a ser desvantajosas, porque tem menor chance de atravessar a camada de palha.

Por outro lado, outras características ganham importância. São favorecidas as espécies com sementes grandes e mais reserva, mais capazes de atravessar a palhada, como as do leiteiro. Qualquer que seja a

quantidade de palha, espécies perenes e com mecanismos de propagação ou proteção subterrânea têm uma grande vantagem sobre as espécies anuais.

Outras características, no entanto, podem ganhar importância. Nas áreas sob plantio direto e com pouca palha, que constituem a maior parte das áreas sob plantio direto, a disseminação pelo vento passa a ser um importante fator de sucesso na colonização das áreas de cultura. A disseminação pelo vento, somada ao crescimento preferencial no inverno, e a resistência aos herbicidas mais usuais no sistema explica a crescente infestação por buva no Paraná. Como o assa-peixe tratado anteriormente, as minúsculas sementes de buva não têm reservas que lhes permitam atravessar uma camada espessa de material vegetal para se estabelecer, fosse esse material uma palhada ou uma cobertura viva.

## A seleção por herbicidas

Além do não-revolvimento do solo e da cobertura morta, os herbicidas são fatores decisivos na seleção da flora invasora, em muitas situações os fatores mais decisivos. Nos sistemas em que o controle de invasoras está alicerçado sobre herbicidas, nenhuma característica da biologia de uma espécie invasora é tão importante quanto seu nível de susceptibilidade ou tolerância ao fator ao produto aplicado. O fator de seleção "produto aplicado" era tão visível desde os primórdios da utilização de herbicidas, que as invasoras foram classificadas simplesmente em "folhas largas" ou "folhas estreitas". Mais tarde, entraram no mercado os herbicidas de "amplo espectro", sendo o paraquat e o glifosato os de uso mais generalizado.

Os produtos de amplo espectro matam grande número de espécies invasoras de culturas, mas, como também podem matar as próprias culturas, seu uso se manteve restrito à ação como dessecante ou em situações em que as culturas ficavam resguardadas, como a aplicação em pré-emergência ou em jato dirigido. Porém, também há plantas naturalmente tolerantes e/ou que se tornaram resistentes aos produtos de amplo espectro, de modo que o uso continuado desses produtos também leva à seleção das espécies na flora invasora[1].

## Seleção de espécies na flora invasora e estratégia de controle

À luz da discussão que terminamos de expor, fica evidente que não há nenhuma característica que torne uma planta intrinsecamente vocacionada para o papel de invasora de cultura. Fica também a composição florística da flora invasora resulta dos fatores de seleção impostos pelo manejo que é dado ao sistema. Mas freqüentemente não entendemos, ou melhor, não nos perguntamos, por que razão, de que maneira, por quais caminhos, uma

[1] No Rio Grande do Sul, a seleção de flora invasora não controlada pelo glifosato já é um fato nas áreas cultivadas há mais tempo com as sojas RR. Isso tem tornado Obrigatório o uso do paraquat como dessecante no final do ciclo da cultura, para eliminar a flora invasora ainda verde.

determinada flora invasora evoluiu, como foi selecionada e por que se tornou importante. A nosso entender, essas perguntas são essenciais porque suas respostas nos indicam também as estratégias a seguir para seu controle.

Tais estratégias precisam englobar o sistema de produção como um todo, inclusive os períodos de entressafra. Contudo, a grande maioria dos trabalhos em herbologia hoje focaliza apenas uma cultura e esta apenas no seu período de crescimento dentro ano agrícola. A estratégia mais generalizada no controle consiste na eliminação da população de invasoras durante o período crítico de prevenção da interferência da invasora sobre a cultura, *para evitar perdas na cultura em crescimento*. Para a maioria das nossas culturas de grão esse período vai da segunda à quarta semana após a semeadura, e as medidas de controle mais comuns são a aplicação de herbicidas e o cultivo mecânico ou capina.

Assim, os critérios mais usuais para a classificação das invasoras se baseiam na eficácia das medidas aplicadas, sendo as plantas são agrupadas em susceptíveis ou tolerantes aos herbicidas e/ou à capina. Embora seja relativamente comum a afirmação de que não há plantas tolerantes à capina, isso não corresponde à realidade. O instrumento cortante da capina desconecta a parte aérea da planta invasora de sua raiz, e a movimentação do solo cobre as plantas pequenas, de modo que o efeito da capina se deve essencialmente ao dessecamento e ao aterramento das invasoras (MOHLER, 2001).

Se as condições ambientais ou as características das invasoras forem tais que o dessecamento não ocorre, a capina será pouco eficiente. Por isso, plantas como a trapoeraba, de dessecamento muito difícil, conseguem formar novas raízes, e com isso são pouco afetadas pela capina. Também são pouco afetadas as espécies com estruturas subterrâneas, como a tiririca (*Cyperus rutundus*), o capim-maçambará (*Sorghum halepense*) e a losna-brava (*Artemisia verlotorum*).

Contudo, o critério mais usual de classificação das plantas daninhas tem sido a susceptibilidade aos herbicidas. Essa classificação tem um grande valor prático, porque indica de que forma os herbicidas podem ser combinados ou alternados para se alcançar um nível aceitável de controle. Porém, na prática da produção, considerações de ordem econômica e da disponibilidade no mercado local dificultam a utilização dessas combinações. Por isso, os campos de produção freqüentemente mostram os resultados da aplicação continuada de um mesmo ou de poucos produtos, e o especialista em herbicidas freqüentemente pode dizer que produto foi utilizado apenas pela observação da composição botânica da flora infestante.

Como o plantio direto na atualidade brasileira está fortemente associado à monocultura da soja, a flora infestante pode estar dominada por espécies que não reúnem o conjunto das vantagens biológicas atribuídas às plantas daninhas, tais como alta produção de sementes, grande plasticidade fenotípica, e dormência acentuada. Por exemplo, o amendoim-bravo, comparativamente a outras invasoras, é uma espécie pouco vigorosa, produz

relativamente poucas sementes, e essas poucas sementes, ricas em óleo, rapidamente decaem se mantidas na superfície do terreno. Kissmann e Groth (1999) registram que nas condições brasileiras, as sementes geralmente apresentam pronta viabilidade, a menos de 4 cm de profundidade germinam facilmente, a germinação ocorre durante o ano todo. Tais características levam ao rápido esgotamento do banco de sementes do terreno.

A importância do amendoim bravo se deve ao tamanho de sua população, que cresce devido à sua convivência com os herbicidas de uso mais comum e à monocultura da soja, cuja estrutura de planta e o ciclo são mimetizados pela invasora. Em campos de soja em conversão para o manejo orgânico, nas quais os herbicidas são proibidos e a rotação de culturas é obrigatória, observa-se que a infestação de amendoim-bravo, severa nos primeiros ciclos, vai decrescendo ao longo do tempo. Essencialmente, os fatores que favoreceram o crescimento populacional do amendoim bravo, herbicidas e monocultura, deixam de atuar, e se criam condições para o estabelecimento de uma flora invasora distinta.

## Classificação das plantas invasoras em grupos ecológicos

Casos como o do amendoim-bravo na soja em plantio direto, mostram que a suscetibilidade das espécies invasoras a herbicidas pode embasar programas de controle focados na cultura em crescimento, mas isso é insuficiente para reduzir a pressão das plantas daninhas no longo prazo.

Uma abordagem bastante útil para subsidiar as estratégias de longo prazo é a classificação das espécies segundo suas estratégias ecológicas de sobrevivência. Dependendo dos parâmetros ecológicos considerados, vários agrupamentos são possíveis. Uma classificação simples e de grande valor prático pode ser em espécies remanescentes, espécies oportunistas e espécies especialistas.

Espécies remanescentes são resquícios da vegetação prévia do terreno, brotando ou emergindo dos propágulos que restaram ali. A grande maioria das espécies remanescentes não é dotada de características adaptativas que lhes garantam sucesso em ambiente agrícola, e por isso tendem a desaparecer com o passar dos anos. São comuns em sistemas de agricultura migratória, e podem ser importantes nas áreas recém abertas de Cerrados no Brasil Central ou de Campos Nativos no sul do país.

Espécies *oportunistas* são aquelas capazes de se desenvolver e produzir sementes em condições as mais variadas. Normalmente são dotadas de grande plasticidade fenotípica, se reproduzem rapidamente, suas sementes apresentam dormência e podem ser dotadas de estruturas de dispersão eficientes. Tais espécies são as mais importantes invasoras de culturas no planeta, e sua dispersão geográfica acompanha as das culturas agrícolas. Exemplos típicos desse grupo oportunista são os carurus (*Amaranthus* spp.), o capim-marmelada e o capim-colchão (*Digitaria bicornis*).

Invasoras *especialistas* são aquelas capazes de ocupar nichos específicos, nos quais outras espécies têm dificuldade de se estabelecer. Tais

nichos são criados pela intervenção humana. Em geral as espécies especialistas são pouco competitivas no início de seu ciclo, mas uma vez estabelecidas podem se tornar problemática. A guanxuma é uma típica especialista: o fato de tolerar solos compactados lhe confere uma vantagem sobre a cultura e sobre outras invasoras. O arroz-vermelho (*Oryza sativa*) é outro exemplo clássico de invasora especialista, tornando problema apenas quando o arroz é cultivado em monocultura.

A grande vantagem em entender as invasoras como remanescentes, oportunistas e especialistas é que a classificação em si já produz as diretrizes para os programas de controle. Para as plantas remanescentes, em geral, o tempo resolve o problema. Para reduzir a pressão das espécies oportunistas, é preciso ocupar com outras plantas os nichos em que as oportunistas crescem. Por exemplo, ao se ocupar o terreno no inverno com plantas de cobertura, a produção de sementes de várias invasoras é prejudicada, reduzindo-se a intensidade da infestação nas safras seguintes.

Um controle eficiente das oportunistas exige que todos os nichos para o crescimento de plantas no tempo e no espaço sejam ocupados por plantas não-invasoras. Terraços para controle da erosão, beiras de cerca e de caminhos são espaços freqüentemente esquecidos nos sistema agrícolas, que podem funcionar como importantes fontes para a re-colonização dos terrenos pelas invasoras.

Comparativamente às oportunistas, a pressão das especies especialistas é tecnicamente mais fácil de aliviar. A introdução de um sistema de rotação de culturas normalmente resolve boa parte do problema. A rotação é acompanhada de outros insumos e práticas agrícolas, que descaracterizam o nicho em que a invasora especialista se estabelece. Noutras palavras, a rotação causa descontinuidade na pressão de seleção que levou ao predomínio daquela espécie invasora.

Mas talvez a conseqüência mais importante de se abordar as espécies invasoras como remanescentes, especialistas e oportunistas, seja que a abordagem em si mesma direciona naturalmente o foco da atenção do agricultor e do técnico para os mecanismos através dos quais a espécie daninha ganha importância, revelando os pontos críticos no sistema de produção que podem ser atacados para seu controle.

Contudo, essa classificação não deixa de ter debilidades. Duas das mais importantes invasoras de pastagens no Centro-Sul do Brasil são o assa-peixe (*Vernonia* spp.) e o amarelinho (*Tecoma stans*), que, embora botanicamente distantes, têm em comum várias características ecológicas. Ambas têm sementes pequenas, dispersas a longas distâncias pelo vento, e ambas apresentam estruturas subterrâneas que armazenam de reservas e, no caso de eliminação da parte aérea, são capazes de rebrotar vigorosamente.

As pequenas sementes, por sua limitada quantidade de reservas, têm baixa probabilidade de sucesso quando caem sobre uma pastagem bem manejada, que esteja cobrindo bem o solo. Contudo, se caem sobre uma

mancha de solo desnudo, comum em áreas sob pastejo excessivo, encontram espaço e luz para uma arrancada inicial, e, se houver tempo para formação de estruturas subterrâneas, serão de difícil eliminação. Seriam então o amarelinho e o assa-peixe mais bem entendidos como especialistas na ocupação de pastagens degradadas, ou oportunistas levadas pelo vento? Ambas interpretações podem ser sustentadas, o que mostra que o agrupamento em oportunistas e especialistas é arbitrário, como tantas outras linhas demarcatórias da classificação humana do mundo natural.

Contudo, a tentativa de classificação das espécies de plantas daninhas com esses critérios, mesmo no caso do amarelinho e do assa-peixe, apresenta a vantagem revelar onde está o ponto crítico para o controle. Neste caso a estratégia mais importante para a prevenção da infestação será o manejo cuidadoso do pasto de modo a evitar manchas de solo exposto. De qualquer modo, o foco deixou de ser a invasora, para ser o manejo do pasto.

A título de uma conclusão geral dessa discussão, importa salientar que as características biológicas *das plantas daninhas de terrenos arados* são de limitada importância para o controle das invasoras que predominam nos sistemas sem aração, e que *os herbicidas, como principal meio de controle, também estão atualmente entre os principais fatores de seleção da flora invasora*. Generalizando a partir dos exemplos do amendoim-bravo, do amarelinho e do assa-peixe, o controle duradouro e a baixo custo das invasoras requer o entendimento da biologia e da ecologia das invasoras e de sua interação com as culturas e com o manejo humano.

## ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DE PLANTAS INVASORAS

Um fato inelutável para qualquer medida de controle é que, se aplicada de maneira isolada e continuada, essa medida perderá eficiência ao longo do tempo. A utilização de um mesmo herbicida modifica a flora daninha no sentido de aumentar as populações das espécies tolerantes e/ou resistentes ao produto utilizado. A manutenção de uma camada de palha espessa sobre o terreno reduz as populações das plantas de ciclo anual, de sementes pequenas, e de dormência quebrada pela luz, mas seleciona plantas perenes, capazes de manter órgãos de resistência sob a camada de palha.

Esses fenômenos se inscrevem num princípio fundamental da biologia que discutimos anteriormente, de que *a aplicação continuada de um fator de estresse sobre uma comunidade biológica ou uma população seleciona os tipos tolerantes ao fator aplicado*. Duas das mais importantes plantas daninhas em áreas sob plantio direto são exemplos flagrantes dessa seleção: a guanxuma, que tem vigor para se tornar importante em solos compactados, e o amendoim-bravo, que se torna importante na soja em monocultura.

Os melhores contra-exemplos dessa seleção de nosso conhecimento vêm atualmente da produção orgânica de soja, particularmente no Sudoeste do Paraná. Nessa modalidade de produção, não se utilizam herbicidas e é obrigatória a rotação de culturas, havendo no máximo duas lavouras de soja a cada três verões. A observação é que, a partir do momento da conversão, as

populações de guanxuma e de amendoim-bravo vão baixando. Simultaneamente à menor infestação por invasoras, costuma haver uma diversificação das espécies invasoras: mais espécies, mas cada qual com pequeno número de indivíduos.

Outro fator para formatação dos agroecossistemas onde se produz soja orgânica no Sudoeste do Paraná é a estratégia de impedimento na produção de sementes das invasoras. Nessa região, a pressão de invasoras cai fortemente após quatro ou cinco anos de ressemeadura impedida. Naturalmente, esse período de tempo é insuficiente para o esgotamento do banco de sementes de invasoras no solo, mas o fato observado faz crer que é o suficiente para a eliminação quantitativa daquelas sementes localizadas nos centímetros mais superficiais do solo, que são as que efetivamente produzem a infestação da lavoura.

De qualquer maneira, essa situação atual e real nos remete novamente à questão conceitual fundamental no manejo da flora daninha, quando se deseja reduzir o problema de invasoras ao longo do tempo: o foco do controle deve estar no banco de sementes no solo, não na cultura em crescimento. O foco apenas na cultura em crescimento condena o agricultor a uma luta eterna e acirrada contra as invasoras, na qual ele pode ser derrotado ao menor descuido.

E esse foco na cultura é natural, uma vez que o objetivo imediato da produção agrícola é colher a safra que está no campo. Esse foco na cultura em crescimento é a pedra angular da estratégia do controle de plantas daninhas em quase toda a agricultura moderna. Contudo, a limitação dessa estratégia está em que, mesmo quando flora daninha não causa perdas na cultura, ainda pode produzir uma quantidade de sementes suficiente para perpetuar a pressão da flora daninha em praticamente toda a área cultivada no planeta. Essa produção de sementes provém especialmente das populações residuais de plantas, escaparam ao controle, e da emergência ou crescimento dessas plantas na entressafra. Estudando a produção de sementes de plantas de capim marmelada escapadas ao controle em soja e em milho, constatamos a produção de 10.000 a 12.000 mil sementes por $m^2$ com apenas duas plantas escapadas por $m^2$, sem que houvesse redução significativa no rendimento das culturas (KHATOUNIAN, 2004).

Uma prática agrícola muito potente no controle de invasoras é a cobertura morta, que pode ser acoplada à estratégia de redução do banco de sementes. Por assim dizer, a cobertura morta "desliga" a emergência das invasoras, reduzindo a pressão dessas plantas sobre a cultura, mesmo quando o banco do solo apresenta grande reserva de sementes. Uma palhada abundante constitui a âncora de planos de manejo integrando os métodos de prevenção com métodos culturais, físicos, biológicos e químicos de controle. Mas essa palhada é um objetivo quase impossível na maior parte das áreas sob plantio direto no Brasil.

Por isso, particularmente nas regiões onde não se consegue acumular palhada, o esgotamento do banco de sementes, além da prevenção da

ressemeadura, requer a ocupação de todos os nichos em que as plantas daninhas possam produzir sementes, tanto ao longo do ano quanto ao largo do espaço agrícola. Isso implica em perseguir o difícil objetivo de ter o terreno coberto 365 dias por ano com cobertura verde.

Nesse ponto, convém lembrar que os benefícios da cobertura do solo em tempo integral vão além do controle de invasoras. A cobertura verde contribui para a retenção de nitrogênio e de potássio no sistema, reduz os danos da erosão pela chuva e das altas temperaturas pelo sol direto, e produz biomassa para alimentar os organismos benéficos do solo. Na entressafra, a cobertura verde transforma a luz, a água e os nutrientes disponíveis em biomassa, que pode ter uso econômico direto ou ser utilizada para alimentar o próprio solo.

Naturalmente, um planejamento de rotação de culturas com cobertura total do terreno e em tempo integral encontra limitações de várias ordens: econômicas, de maquinário, de disponibilidade de sementes, de maior complexidade administrativa, de estruturas de armazenamento e beneficiamento etc. Todas essas limitações precisam ser consideradas, como subsídio para a melhor decisão possível num contexto agrícola regional e individual.

Do ponto de vista do conhecimento hoje disponível, seria desonesto de nossa parte anunciar maravilhas de preço baixo, fáceis de usar e de sucesso garantido. A composição e a densidade da flora invasora nos sistemas agrícolas resultam de nossas decisões de manejo. Tais decisões podem tanto acirrar como aliviar sua pressão sobre as plantas de cultura.

## À guisa de conclusão

Numa simplificação extrema, mas necessária nessa altura do texto, poder-se-ia enunciar de maneira sucinta as idéias chaves para um controle de plantas invasoras nos sistemas agrícolas à luz dos conhecimentos atuais da agroecologia: (i) as plantas invasoras ocupam nichos que são criados pelo modo como o sistema é manejado; (ii) qualquer padrão de controle simplificado, se aplicado repetidamente ao longo do tempo, seleciona as espécies invasoras que lhe escapam; (iii) essa seleção pode ser evitada interrompendo-se o processo através de um plano de ocupação do terreno com culturas e práticas de controle que atuem de modo distinto sobre as plantas invasoras; (iv) o foco das medidas de controle deve ser o banco de sementes do solo; (v) as plantas escapadas ao controle e/ou que crescem na entressafra produzem sementes suficientes para perpetuar a infestação, de modo que a política de prevenção de ressemeadura é uma pedra angular para o esgotamento do banco de sementes; e (vi) para se fechar o cerco às invasoras, é preciso perseguir o objetivo de cobrir o terreno com plantas verdes durante todo o ano, de modo que os fatores de produção vegetal sejam transformados em biomassa da espécie de cobertura, e não em novos depósitos de sementes de invasoras no banco do solo.

Certamente esse pequeno conjunto de idéias chaves não é uma solução fácil nem barata, mas é o que de melhor os autores desse texto podem oferecer como subsídio para a formulação de programas integrados de controle de plantas invasoras em bases biologicamente realistas e duradouras.

## BIBLIOGRAFIA

KHATOUNIAN, C.A. **Weed control in no-till organic soybean in southern Brazil**. Iowa State University for Science and Technology. Ames, 2004. 108p.

KISSMANN, K. G.; GROTH, D. *Euphorbia heterophylla* L. In: **Plantas infestantes e nocivas.** 2. ed. São Paulo: BASF, v.2, p.792-798, 1999.

LIEBMAN, M. Weed management: a need for ecological approaches. In: **Ecological management of agricultural weeds**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. p.1-30.

MEDEIROS, G.B. de; CALEGARI, A. Rotação de culturas. In: CASÃO JÚNIOR., R. et al. (Ed.). **Sistema plantio direto com qualidade.** Londrina: IAPAR, 2006. p.165-141.

MELANDER, B.O.; RASMUSSEN, I.A.; BÀRBERI, P. Integrating physical and cultural methods of weed control - examples from European research. **Weed Science**. v.53, n.3, p.369-381, 2005.

MOHLER, C.L. Mechanical management of weeds. In: **Ecological management of agricultural weeds**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. p139-209.

PITELLI, R.A.; DURIGAN, J.C. Terminologia para períodos de controle e de convivência das plantas daninhas em culturas anuais e bianuais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 15, 1984, Belo Horizonte. **Resumos**... Belo Horizonte: SBHED, 1984. p.37.

SKORA NETO, F.; PASSINI, T.; RODRIGUES, B.N. Manejo de plantas daninhas In: CASÃO JR., R. et al. (Ed.). **Sistema plantio direto com qualidade.** Londrina, IAPAR, p.143-155, 2006.

WILSON, R.G.; KERR, E.D.; NELSON, L.A. Potential for using weed seed content in the soil to predict future weed problems. **Weed science**, v.33, n.2, p.171-175, 1985.

# PROBLEMAS EMERGENTES EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

**Antonio Luiz Fancelli**

Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Dr. e Docente do Departamento de Produção Vegetal,
ESALQ, Universidade de São Paulo.
Caixa Postal 9, Piracicaba-SP, 13418-900, +(19)3429.4115
fancelli@esalq.usp.br

## INTRODUÇÃO

O solo sob vegetação natural encontra-se em equilíbrio dinâmico, em relação às propriedades que o caracterizam, pois se encontra em conformidade com o clima, material de origem e posição ocupada no relevo. Assim, a retirada da vegetação natural, independentemente do método empregado para a sua remoção e da técnica utilizada para a implantação de projetos agropecuários, invariavelmente, produzirá mudanças significativas, que poderão acelerar a degradação química, física e biológica do sistema.

Neste contexto, o estabelecimento de estratégias de manejo adequadas às condições locais, respeitando a aptidão agrícola, a capacidade de uso da terra e a capacidade suporte do meio, mostra-se imperiosa objetivando a manutenção do potencial produtivo da área.

Portanto, a adoção de sistemas conservacionistas de produção que promovam o revolvimento mínimo do solo e a permanência de resíduos vegetais sobre a sua superfície, pode reduzir significativamente os efeitos impactantes dos agentes de degradação, assegurando maior racionalidade na utilização dos recursos naturais.

Ressalta-se, no entanto, que a estabilidade do sistema a ser implantado depende da compreensão das ações relativas à interação dos diferentes fatores de produção, no complexo solo-planta-atmosfera.

### O Sistema Plantio Direto

O solo submetido ao sistema plantio direto, fundamentalmente caracterizado pelo revolvimento mínimo do solo e pela presença de cobertura morta, evidencia comportamento diferenciado, quando comparado àquele manejado com o emprego de arados e grades.

Desta forma, o plantio direto proporciona condições de umidade por períodos mais prolongados; melhoria do ambiente radicular; alteração na dinâmica dos nutrientes; menor variação térmica; maior influência da matéria orgânica e maior atividade biológica, além de outras.

Em decorrência das características supracitadas, conclui-se que para o manejo racional de plantas no sistema plantio direto, na maioria dos casos, não poderão ser utilizadas as mesmas estratégias ou medidas adotadas no sistema convencional. Ainda, o desrespeito a essas diferenças tem suscitado inúmeros problemas, dentre os quais merecem especial destaque: (i)

Compactação; (ii) Inadequação da calagem de superfície; (iv) inobservância da dinâmica de macronutrientes e de micronutrientes; (v) ausência de programas efetivos de rotação de culturas; (vi) Dificuldade de produção ou reposição de resíduos vegetais; e (vii) favorecimento a patógenos necrotróficos e insetos-praga residentes.

## Compactação do solo

A compactação do solo contribui para a redução da taxa de infiltração e da capacidade de armazenamento de água do solo, dificulta o estabelecimento de trocas gasosas com a atmosfera, bem como aumenta a resistência à penetração das raízes, resultando em quedas acentuadas de produção.

Esse fenômeno, apesar de ser mais evidenciado em áreas com solos excessivamente revolvidos, devido à sua desestruturação, também pode ser constatado no sistema plantio direto, provocado pelo efeito do tráfego e pressão imposta por máquinas e equipamentos agrícolas utilizados em condições inadequadas de regulagem e umidade.

Apesar da operação de semeadura ser possível, em plantio direto, em condições de umidade de solo acima do ideal, em detrimento às áreas preparadas com arado e/ou grades, essa vantagem não deveria ser considerada, pois pode intensificar o processo de compactação. Portanto, o planejamento de todas as operações agrícolas, o respeito às exigências do sistema e a implementação de medidas de caráter preventivo, contribuirão significativamente para a redução dos problemas inerentes à compactação do solo.

## Inadequação da calagem de superfície

Trabalhos de pesquisa e evidências práticas têm demonstrado que a taxa de acidificação, no sistema plantio direto, é mais baixa quando comparada ao sistema convencional, devido à maior disponibilidade de água (efeito de diluição), decomposição gradativa da matéria orgânica (efeito de complexação e neutralização) e maior atividade biológica (efeito tampão). Porém, apesar dessas vantagens, o processo de acidificação do solo, neste tipo de sistema, não é anulado, exigindo cuidados e procedimentos específicos para a sua efetiva correção, visto que os métodos comumente empregados para a incorporação de corretivos, normalmente, não poderão ser utilizados.

Após o pleno estabelecimento do referido sistema, a acidificação deve ser continuamente monitorada por meio de análise de solo, cujas amostras devem ser retiradas em, pelo menos, duas profundidades, ou seja, 0-10 cm e 10-30 cm, com freqüência anual.

Após a devida interpretação dos resultados, o tipo de corretivo (calcário dolomítico, calcítico ou calcinado), a quantidade recomendada e a modalidade de aplicação do corretivo, deverão ser fundamentadas na

saturação e equilíbrio de bases, no tipo de solo, nas exigências das espécies cultivadas e na época de correção.

Assim, de modo geral, em solos arenosos e/ou com baixa capacidade de retenção de cátions não se recomenda a aplicação única de quantidade de calcário superior a 2 toneladas.ha$^{-1}$. Em solos com textura argilosa, sob plantio direto, pode-se utilizar, quando necessário, de 2,0 a 3,0 toneladas.ha$^{-1}$. No entanto, cumpre ressaltar que a utilização indiscriminada de calcário distribuído superficialmente, no sistema plantio direto, tem contribuído para a manifestação de sintomas de deficiência de boro, zinco e, principalmente, manganês, na maioria das espécies cultivadas. Portanto, objetivando maior rapidez de reação, o corretivo deverá ser aplicado, preferencialmente, após a cultura de verão e antes da semeadura da cultura de inverno.

Ainda, salienta-se que quanto maior for a participação, no programa de rotação, de espécies exigentes em nitrogênio, mais freqüente deverá ser o monitoramento da acidez do solo, pois as principais fontes nitrogenadas utilizadas, aliada à mineralização dos restos vegetais, constituem-se em fatores preponderantes da acidificação do solo, nesse sistema. Por outro lado, a calagem de superfície poderá contribuir para o incremento da volatilização do nitrogênio (elevação do *pH* superficial), sobretudo quando a uréia for distribuída, a lanço, sobre palhada densa (maior concentração de urease).

## Dinâmica de macronutrientes

O acúmulo de resíduos vegetais na superfície e o aumento da atividade biológica, verificados no sistema plantio direto, resultam na intensificação da mineralização do material orgânico e na aceleração das transformações dos elementos presentes no solo. Dentre os macronutrientes que são mais afetados pelas condições impostas pelo mencionado sistema, destaca-se o nitrogênio (N), devido aos mecanismos relacionados à volatilização, lixiviação e imobilização; o fósforo (P), devido a sua baixa mobilidade no solo e à suscetibilidade às reações de fixação, bem como o Cálcio (Ca) em decorrência da necessidade de distribuição adequada no perfil do solo.

## Fósforo

O fósforo é o nutriente que apresenta baixa mobilidade no solo e aquele que mais reflete as transformações do material orgânico, resultando no acúmulo de elevados teores na camada superficial, em sistemas plantio direto. Tal fato pode ser confirmado pelos resultados de análise de solo, que têm demonstrado o aumento de cinco a sete vezes o seu conteúdo, na camada de 0-5 centímetros de profundidade, nesse sistema, em relação ao preparo convencional. Essa situação, em princípio, apesar de não suscitar acentuada preocupação em função da mobilidade desse elemento na planta (xilema e floema); atualmente, tem se evidenciado a importância de sua melhor distribuição no perfil do solo, objetivando a obtenção de produtividades elevadas, o que poderá ser conseguido mediante o emprego

de plantas de cobertura com portentoso sistema radicular, associado ao incremento das atividades biológicas do sistema. (FANCELLI, 2008).

Todavia, muitos produtores têm insistido na utilização de fertilizantes fosfatados, a lanço, em plantio direto. Contudo, a eficácia desse método de fertilização somente surtirá o efeito desejado se: (i) o solo possuir teor de fósforo médio a alto; (ii) a região considerada apresentar estabilidade climática (baixa incidência de veranicos); (iii) o solo não apresentar níveis significativos de compactação e também não evidenciar *pH* elevado de superfície; e (iv) a cobertura morta presente no terreno representar, pelo menos, 70% de recobrimento e/ou corresponder de 5 a 7 toneladas de matéria seca por hectare.

## Nitrogênio

A dinâmica do nitrogênio é significativamente afetada pelas condições geradas pelo sistema de plantio direto, resultando em múltiplas e complexas reações químicas e biológicas que interferem na sua disponibilidade às plantas.

De forma geral, esse elemento exige especial atenção, pois sua disponibilidade em plantio direto pode ser reduzida pelos processos de: (i) nitrificação; (ii) desnitrificação; (iii) percolação (ou lixiviação); (iv) imobilização e (v) Volatilização.

O processo de nitrificação consiste na transformação do nitrogênio amoniacal em nitrogênio nítrico, em presença de oxigênio molecular. No sistema plantio direto, devido a maior porosidade e melhor estruturação do solo, a nitrificação se processa em maior intensidade favorecendo a lixiviação do nitrogênio e a acidificação do solo.

Ainda, a demanda por oxigênio imposta pela acentuada atividade microbiana e o predomínio de umidade superficial, pode desencadear reações de desnitrificação, que consiste na transformação de nitrogênio nítrico em nitrogênio gasoso, antecipando seu retorno à atmosfera, cuja importância é discutível em condições tropicais.

Contudo, as forma mais importante de perda de nitrogênio está relacionada à volatilização (15 a 70% de N), a qual depende do fertilizante utilizado (principalmente uréia), das condições climáticas e da maior atividade da urease. No sistema plantio direto, a taxa de volatilização de nitrogênio é consideravelmente maior que aquela ocorrida no sistema convencional, quando a uréia é distribuída sobre a palhada, exigindo, portanto, fontes nitrogenadas e medidas especiais. Programas de rotação de culturas com a predominância de gramíneas promoverão a manutenção por períodos mais prolongados dos resíduos sobre o solo, acarretando, porém, maior preocupação com a adubação nitrogenada (na semeadura e em cobertura), de forma a compensar o efeito da imobilização (20 a 35% de N) desse nutriente pelos microrganismos.

## Cálcio

No plantio direto, o não revolvimento do solo, a decomposição gradativa da palhada e a possibilidade da realização da calagem de superfície, contribuem para o incremento do teor de cálcio na camada superficial do solo, em detrimento de sua efetiva distribuição em profundidade. Essa situação pode condicionar a concentração do sistema radicular nos primeiros 10-15 centímetros do solo. Esse fato, aliado à imobilidade do cálcio no floema, exige o estabelecimento de estratégias que garantam a distribuição desse elemento ao longo do perfil do solo, visto que não ocorre o crescimento de raízes na ausência desse nutriente. Desta feita, torna-se necessário o posicionamento do cálcio em maiores profundidades, que poderá ser obtido, diretamente, pelo uso criterioso do gesso agrícola, pelo emprego de espécies de cobertura com sistema radicular abundante e, indiretamente, pelos organismos do solo, que promovem a ciclagem desse elemento, notadamente, os anelídeos (minhocas).

## Dinâmica de micronutrientes

No sistema plantio direto, os teores de zinco (Zn), manganês (Mn) e boro (B) se apresentam mais elevados nas camadas superficiais do solo (0-5cm), quando comparado ao sistema convencional, acarretando maior suprimento destes nutrientes para as plantas.

Entretanto, a aplicação indiscriminada de calcário na superfície, provocando a elevação do *pH* a valores superiores a 6,0 (em $CaCl_2$ a 0,01M) pode resultar na diminuição da disponibilidade de Mn e B.

Da mesma forma, a disponibilidade de Zn para as plantas pode ser comprometida em função da alta concentração de fósforo presente nas camadas superficiais do solo, no sistema considerado, principalmente se o desenvolvimento das raízes for restringido.

Quanto ao B, salienta-se que períodos ou regiões excessivamente chuvosas poderão favorecer a percolação desse elemento, para camadas profundas, sobretudo no plantio direto, reduzindo o seu efetivo aproveitamento por parte das plantas.

Por outro lado, devido ao cobre (Cu), no referido sistema, sofrer acentuada suscetibilidade à complexação por parte da matéria orgânica, poderá resultar sérios distúrbios de carência, sobretudo na condição de "fome oculta".

## Outros problemas emergentes

Outros problemas que tem contribuído para a redução dos benefícios relacionados ao sistema plantio direto se referem à: (i) Dificuldade de produção ou reposição de resíduos vegetais, sobretudo em condições de cerrado e de baixa disponibilidade de água. Nessa situação mostra-se imprescindível a introdução (ou manutenção) da cultura do milho no sistema, e (ii) Favorecimento a patógenos necrotróficos e insetos-praga residentes. Tal

entrave poderia ser solucionado pela prática da rotação de culturas fundamentada na elaboração de seqüência diversificada de espécies vegetais apropriada para o ambiente de produção considerado, além do uso de coquetel de espécies de cobertura (3 a 7 espécies diferentes) na entressafra e uso racional de defensivos, baseado na alternância de ingredientes ativos e modos de ação.

## Considerações finais

A agricultura tem experimentado, na última década, profundas transformações relacionadas aos aspectos técnicos, econômicos, políticos e sociais, promovendo o desencadeamento da necessidade de revisão de conceitos e paradigmas no campo do conhecimento agronômico. Do mesmo modo, as estratégias de manejo também deverão ser submetidas à significativa remodelagem, face às novas informações, tendências e conhecimentos gerados dentro do enfoque sistêmico de produção. E, nesse particular, o Sistema Plantio Direto (SPD), quando adequadamente conduzido, poderá contribuir significativamente para tal feito, pois envolve a consideração das relações de interação entre todos os agentes atuantes no processo produtivo.

## BIBLIOGRAFIA

FANCELLI, A.L. Plantio direto. FEALQ/ESALQ/USP. Piracicaba, 1987. 89p.

FANCELLI, A.L. Milho: nutrição e adubação. Piracicaba, ESALQ/USP/LPV, 2008. 174p.

MOTTA, A.C.V.; PREVEDELLO, B.M.S. Micronutrientes: fatores que afetam sua disponibilidade e resposta das culturas. In: Curso sobre manejo do solo no sistema plantio direto. Fundação ABC. Castro, p.302-327. 1995.

TORMENA, C.A. Efeito do tráfego de máquinas em propriedades físicas do solo. In: Curso sobre manejo do solo no sistema plantio direto. Fundação ABC. Castro, p.47-72. 1995.

VITTI, G.C.; FAVARIN, J.L. Nutrição e manejo químico do solo para a cultura de milho. In: FANCELLI, A.L; DOURADO NETO, D. Tecnologia da produção de milho. Departamento de Agricultura/ESALQ/USP. Publique. Piracicaba, p.104-117. 1997.

# NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO DE MILHO

**Antonio Luiz Fancelli**

Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Dr. e Docente do Departamento de Produção Vegetal,
ESALQ, Universidade de São Paulo.
Caixa Postal 9, Piracicaba-SP, 13418-900, +(19)3429.4115
fancelli@esalq.usp.br

## INTRODUÇÃO

O milho, comparativamente a outras espécies cultivadas, tem experimentado avanços significativos, nas mais diversas áreas do conhecimento agronômico, principalmente naquelas concernentes à ecologia, fisiologia e nutrição propiciando melhor compreensão de suas relações com o ambiente de produção. Tais interações mostram-se fundamentais para o exercício da previsão de comportamento da planta e da manifestação de seu potencial produtivo, quando submetida a estímulos e ações negativas advindas da atuação de agentes bióticos e abióticos, no sistema produtivo.

Assim, o presente capítulo objetiva contribuir para a ampliação do conhecimento do desempenho do milho, bem como fornecer subsídios e elementos para o estabelecimento de programas eficientes e racionais de manejo e de nutrição da referida cultura.

### Aspectos básicos de fertilidade do solo e nutrição

O planejamento da adubação, de forma geral, deve ser fundamentado nas necessidades nutricionais da planta; na marcha de absorção dos nutrientes, na fertilidade atual do solo (avaliada mediante a realização de análise química do solo e de folhas); no histórico da gleba; nas condições climáticas reinantes no período, além da produtividade almejada (ou possível).

Nesse contexto, é de suma importância a consideração das limitações metodológicas da análise química do solo, sobretudo no que se refere aos problemas de amostragem, de extratores químicos empregados e dos valores críticos de nutrientes estabelecidos para o solo e folha.

Os níveis críticos dos diferentes nutrientes no solo são valores médios relacionados à capacidade de um sistema radicular explorar um volume de solo pré-determinado. Esse valor mencionado apresenta caráter genérico, sendo apenas um indicativo da condição ideal e, dentro do possível, necessita ser aferido em muitos casos específicos.

Sendo assim, o manejo químico do solo deve ser subsidiado pelas informações geradas pela pesquisa e por contínuas observações de campo, as quais possibilitam entender a dinâmica do processo produtivo, bem como definir os valores práticos utilizáveis. A efetiva adequação desses valores é dependente das limitações do ambiente de produção, do genótipo

empregado, da experiência do executor (ou do gestor do processo) e da economicidade da exploração agrícola.

## Amostragem de solo e de folha

Os objetivos das análises químicas do solo e da planta estão relacionados à avaliação da fertilidade atual do solo e do estado nutricional da planta com a respectiva finalidade de planejamento e manejo (quantidade, época ou forma de aplicação).

Ainda, o conhecimento do histórico da gleba, do detalhamento de manejo e da produtividade é de fundamental importância, pois permite diagnosticar o problema com maior exatidão, bem como definir o procedimento de amostragem.

Ainda, salienta-se que o importante não é o número excessivo de amostras coletadas, mas sim o cuidado e a padronização da forma de coleta (fixando o número e espessura das camadas, bem como a época e o local da amostragem) e da análise em si (utilizando sempre o mesmo extrator químico e o mesmo laboratório).

Com o advento da agricultura de precisão, a amostragem de solo pode ser terceirizada e realizada com maior segurança e qualidade. Todavia, a célula amostral do mapa de fertilidade, normalmente, não deverá exceder 2 hectares e a recomendação de adubação não deverá se fundamentar apenas nos resultados obtidos na camada de 0-10cm.

Para amostragem da planta de milho (folha) para fins de análise de tecido, alguns procedimentos padrões deverão ser obedecidos, conforme apresentado na Figura 5.1, valendo-se sempre de georeferenciamento.

## Interpretação de resultados de análise química de solo

Os critérios utilizados para a interpretação dos resultados relativos à análise química do solo, para a cultura de milho, podem ser constatados nas Tabelas 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4.

Tabela 5.1. Interpretação de resultados referente à análise química do solo.

| Atributo | Muito baixo | Baixo | Adequado | Alto |
|---|---|---|---|---|
| pH (água) | até 4,4 | 4,4 a 5,0 | 5,1 a 5,5 | 5,6 a 6,0 |
| pH ($CaCl_2$) | até 5,0 | 5,0 a 5,4 | 5,5 a 5,9 | 6,0 a 6,9 |
| M.O. (%) | até 1,4 | 1,4 a 2,1 | 2,2 a 2,6 | superior a 2,6 |
| V (%) | até 25 | 25 a 49 | 50 a 65 | 65 a 90 |
| CTC ($mmol_c.dm^{-3}$) | até 50 | 50 a 80 | 81 a 150 | superior a 150 |
| Al ($mmol_c.dm^{-3}$) | até 0,1 | 0,1 a 0,5 | 0,0 | superior a 0,5 |
| m (%) | - | 0 a 10 | 10-30 | superior a 30 |

Tabela 5.2. Limites de interpretação dos teores de macronutrientes em solos (adaptado de RAIJ et al., 1996 ; RIBEIRO et al., 1999 e VITTI, 1989).

| Teor | P [1] | K | Ca | Mg | S [2] | S [3] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | mg.dm$^{-3}$ | | cmol$_c$.dm$^{-3}$ | | mg.dm$^{-3}$ | |
| Muito Baixo | 0-6 | 0,0-0,07 | 0,0-0,4 | 0,0-0,15 | 0,0-5,0 | 0,0-2,5 |
| Baixo | 7-15 | 0,08-0,15 | 0,41-1,2 | 0,16-0,45 | 5,1-10,0 | 2,5-5,0 |
| Médio | 16-40 | 0,16-0,30 | 1,21-2,40 | 0,46-0,90 | 10,1-15,0 | 5,1-10,0 |
| Alto | 41-80 | 0,31-0,60 | 2,41-4,00 | 0,90-1,50 | 15,0-20,0 | 10,0-15,0 |
| Muito Alto | >80 | >0,60 | > 4,00 | >1,5 | >20,0 | >15,0 |

Resina sintética (extrator)
$NH_4Oac.HOAc$. (extrator)
$Ca(H_2PO_4)_2$ – 500 ppm P (extrator)

Tabela 5.3. Limites de interpretação dos teores de micronutrientes no solo.

| Teor | B | Cu | Fe | Mn | Zn |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | mg.dm$^{-3}$ | | |
| Baixo | 0-0,20 | 0-0,2 | 0-4,0 | 0-1,2 | 0-0,5 |
| Médio | 0,21-0,6 | 0,21-0,8 | 4,1-12 | 1,3-5,0 | 0,6-1,2 |
| Alto | >0,6 | >0,8 | >12 | >5,0 | >1,2 |
| Extrator | Água quente | | DTPA | | |

Fonte: Raij et al. (1996)

Tabela 5.4. Limites de interpretação dos teores de micronutrientes em solos.

| Teor | B | Cu | Mn | Zn |
|---|---|---|---|---|
| | | mg.kg$^{-1}$ | | |
| Baixo | 0-0,25 | 0-0,4 | 0-1,9 | 0-1,0 |
| Médio | 0,25-0,5 | 0,41-0,8 | 2,0-5,0 | 1,1-1,6 |
| Alto | >0,5 | >0,8 | >5,0 | >1,6 |
| Extrator | Água quente | | Mehlich 1 | |

Fonte: Galrão (1998)

**Interpretação de resultados de análise foliar**

Os critérios utilizados para a interpretação dos resultados obtidos na análise foliar, para a cultura de milho, de acordo com diferentes pesquisadores, podem ser constatados nas Tabelas 5.5 e 5.6, apresentadas a seguir.

Tabela 5.5. Teores foliares de macronutrientes adequados para milho.

| Citação | N | P | K | Ca | Mg | S |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | mg.kg$^{-1}$ | | | |
| (1) | 27,5-32,5 | 1,9-3,5 | 17,5-29,5 | 2,3-4,0 | 1,5-4,0 | 1,5-2,1 |
| (2) | 27-35 | 1,9-4,0 | 17-35 | 3-10 | 1,5-5,0 | 1,5-3,0 |
| (3) | 27,5-32,5 | 2,5-3,5 | 17,5-22,5 | 2,5-4,0 | 2,5-4,0 | 1,5-3,0 |
| (4) | 30-40 | 2,5-4,0 | 20-40 | 3-5 | 1,7-4,5 | 1,0-2,0 |

(1) Bull (1993)
(2) Raij e Cantarella (1996)
(3) Martínez et al. (1999)
(4) Fancelli (2000)

Tabela 5.6. Teores foliares de micronutrientes adequados para milho.

| Citação | B | Cu | Fe | Mn | Mo | Zn |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | mg.kg$^{-1}$ | | | | | |
| (1) | 15-20 | 6-20 | 50-250 | 42-150 | 0,15-0,20 | 15-50 |
| (2) | 7-25 | 6-20 | 21-250 | 20-200 | 0,15-0,20 | 15-100 |
| (3) | 4-20 | 6-20 | 20-250 | 20-150 | 0,15-0,20 | 20-70 |
| (4) | 17-30 | 10-25 | 50-250 | 50-150 | 0,15-0,20 | 30-100 |

(1) Bull (1993)
(2) Raij e Cantarella (1996)
(3) Martinez et al. (1999)
(4) Fancelli (2000)

As instruções básicas e os cuidados necessários para a coleta de folhas de milho para a realização de análise de tecido (foliar) podem ser visualizados na Figura 5.1, apresentada a seguir.

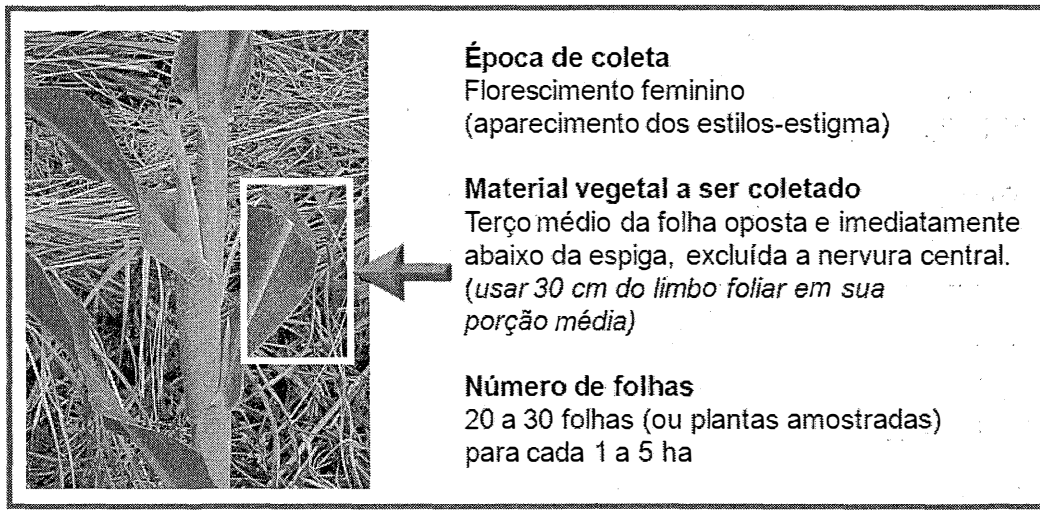



Figura 5.1. Instruções básicas para coleta de folha para análise de tecido.

**Interações entre nutrientes**

A manifestação de produtividade elevada das culturas está intimamente relacionada à presença de relações adequadas dos nutrientes no solo e ao emprego de adubações equilibradas. O crescimento normal de uma planta não depende somente da concentração de um determinado nutriente no solo, mas também das quantidades relativas de outros elementos que exercem significativa interferência na disponibilidade, no sinergismo e no antagonismo entre eles.

Para Sumner e Farina (1986), o reconhecimento da importância do balanço nutricional na produção de uma cultura é o reflexo indireto da contribuição das interações de nutrientes. Assim, a interação ocorre quando a disponibilidade individual de um dos nutrientes é modificada pela presença de

outros fatores, bem como de outros nutrientes. Quando a combinação destes fatores resulta em uma resposta maior que a soma de seus efeitos individuais, a interação é considerada positiva (sinergismo) ao passo que, quando o contrário acontece, a interação é considerada negativa (antagonismo).

Tabela 5.7. Interação entre nutrientes, em função do teor e disponibilidade.

| Teor elevado | Redução de Absorção | Teor elevado | Redução de Absorção |
|---|---|---|---|
| Mg | K (e vice-versa) | Fe | Mn |
| Mg | Mn e Zn | Cu | Fe |
| K | Ca | Mn | Zn |
| Ca | Cu | $H_2PO_4$ | Zn |
| Zn | Cu (e vice-versa) | $H_2PO_4$ | Cu e Mn |

Portanto, a presença de um determinado nutriente no solo, não necessariamente garantirá sua plena disponibilidade à planta, pois inúmeros fatores, tais como cargas, *pH*, matéria orgânica, condição físico-química do meio, concentração de outros nutrientes, atividade microbiana, resíduos e reatividade de defensivos, dentre outros, estarão exercendo sua influência e, consequentemente, afetando sua absorção.

## EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES

O conhecimento da taxa de extração e exportação de macronutrientes e de micronutrientes pela planta, conforme apresentado nas Tabelas 5.8, 5.9 e 5.10, é de fundamental importância para o efetivo planejamento da adubação. Todavia, não se deve levar em consideração os valores exatos apresentados neste tipo de tabela, pois os mesmos representam situações específicas em relação a clima, região e genótipo. Desta feita, a importância dessas informações diz respeito à possibilidade do conhecimento das necessidades médias e comparativas entre os nutrientes, por parte da planta e da ordem de grandeza imposta pela demanda.

Tabela 5.8. Absorção e exportação de macronutrientes, correspondentes ao rendimento 9.100 kg.ha$^{-1}$, pela cultura de milho (BULL, 1993).

| Nutriente (macro) | 9.100 kg.ha$^{-1}$ | | Nutriente (micros) | 9.100 kg.ha$^{-1}$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Absorção (kg.ha$^{-1}$) | Exportação (kg.t$^{-1}$) | | Absorção (g.ha$^{-1}$) | Exportação (g.t$^{-1}$) |
| N | 190 | 17,2 | Fe | 2.110 | 16,1 |
| P | 39 | 3,4 | Mn | 340 | 6,6 |
| K | 196 | 4,0 | Cu | 110 | 2,2 |
| Ca | 40 | 0,1 | Zn | 400 | 22,0 |
| Mg | 44 | 1,2 | B | 170 | 4,4 |
| S | 21 | 1,3 | Mo | 9 | 0,7 |

Tabela 5.9. Extração média de nutrientes pelo milho destinado à produção de grãos e silagem em diferentes níveis de produtividade (COELHO; FRANÇA, 1995).

| Tipo de Exploração | Produtividade ($kg.ha^{-1}$) | Extração de nutrientes ($kg.ha^{-1}$) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | N | P | K | Ca | Mg |
| Grãos | 3650 | 77 | 9 | 83 | 10 | 10 |
| | 5800 | 100 | 19 | 95 | 17 | 17 |
| | 7870 | 167 | 33 | 113 | 27 | 25 |
| | 9170 | 187 | 34 | 143 | 30 | 28 |
| | 10150 | 217 | 42 | 157 | 32 | 33 |
| Silagem *(matéria seca)* | 11600 | 115 | 15 | 69 | 35 | 26 |
| | 15310 | 181 | 21 | 213 | 41 | 28 |
| | 17130 | 230 | 23 | 271 | 52 | 31 |
| | 18650 | 231 | 26 | 259 | 58 | 32 |

Conforme observado nos dados contidos nas Tabelas 5.8, 5.9 e 5.10, em média, os nutrientes mais exportados pela cultura do milho são: o nitrogênio (70-80%), o fósforo (60-78%), o enxofre (50-60%), o zinco (50%) e o magnésio (25%). Dentre os elementos menos exportados, pela colheita de grãos, destaca-se o potássio (15-18%), que somente deveria merecer preocupação maior quando a cultura for destinada à produção de silagem. Na prática, Coelho (2005) afirma que a manutenção dos resíduos de plantas de milho, na gleba de produção, poderá devolver ao sistema, aproximadamente, 12 kg de potássio (K) por tonelada de palha reciclada.

Tabela 5.10. Absorção e exportação de macronutrientes e micronutrientes, relativas à produtividade de 1000 $kg.ha^{-1}$ de grãos de milho. (compilado por FANCELLI, 2008).

| Nutriente | 1000 $kg.ha^{-1}$ | | Nutriente | 1000 $kg.ha^{-1}$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Extração | Exportação | | Extração | Exportação |
| | ($kg.t^{-1}$) | | | ($g.t^{-1}$) | |
| N | 18,0 | 15,0 | Fe | 230 | 16,1 |
| P | 3,2 | 2,4 | Mn | 37 | 7,0 |
| K | 16,0 | 5,0 | Cu | 12 | 2,2 |
| Ca | 4,0 | 1,0 | Zn | 42 | 22,0 |
| Mg | 4,0 | 1,2 | B | 18 | 4,4 |
| S | 3,0 | 1,3 | Mo | 1,2 | 0,7 |

**Mobilidade dos nutrientes na planta**

O conhecimento prévio da movimentação relativa dos diferentes nutrientes na planta é importante para diagnosticar e identificar os sintomas de deficiência.

Os elementos imóveis resultam em sintomas típicos de deficiência nas folhas novas, enquanto que os elementos móveis evidenciam esses sintomas nas folhas velhas.

O diagnóstico em tempo oportuno auxilia na tomada de decisão da necessidade (e justificativa) do fornecimento imediato do nutriente considerado (via solo ou via foliar), bem como serve para aferir a recomendação da adubação da próxima safra.

Quanto à mobilidade dos nutrientes minerais na planta, destaca-se:
(i) elementos altamente móveis: nitrogênio (N) e potássio (K), sendo que nitrogênio apresenta a maior mobilidade dentre todos os nutrientes essenciais às plantas;
(ii) elementos móveis: fósforo (P), cloro (Cl), enxofre (S) e magnésio (Mg);
(iii) elementos parcialmente móveis: zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn); e
(iv) elementos imóveis: boro (B) e cálcio (Ca).

Assim, devido à mobilidade dos diferentes nutrientes na planta, recomenda-se assegurar maior disponibilidade de cálcio (elemento imóvel na planta) em profundidade, no solo, do que fósforo (elemento móvel na planta e pouco móvel no solo). Todavia, estudos recentes têm demonstrado a existência de respostas satisfatórias para a maior disponibilidade de fósforo, em profundidade (distribuição ao longo do perfil), pois resulta na maximização do crescimento e funcionamento do sistema radicular do milho.

Ainda, trabalhos recentes relatados por Epstein e Bloom (2006) revogam o conceito da mobilidade significativa do manganês na planta, justificando seu fornecimento, via foliar, em estágios avançados do desenvolvimento vegetal (próximos ao florescimento), objetivando a manutenção de intensidade adequada da fotossíntese e da taxa de enchimento de grãos.

**Sintomas de deficiência e importância dos nutrientes**

As principais funções dos nutrientes e os sintomas de deficiência em plantas de milho são apresentados nas Tabelas 5.11 e 5.12.

O conhecimento do sintoma típico de deficiência nutricional e de sua função na vida vegetal é imprescindível para a obtenção de produtividades satisfatórias e para a constante avaliação do manejo do sistema agrícola, objetivando a implementação de ajustes futuros e reorientação das ações planejadas.

Tabela 5.11. Descrição sucinta dos sintomas de deficiência e importância nutricional de **micronutrientes** para a cultura de milho (FANCELLI, 2000).

| Nutriente | Sintoma de deficiência | Importância nutricional |
|---|---|---|
| | Micronutrientes | |
| Boro (B) | (i) Folhas avermelhadas no final do ciclo. (ii) Espigas pequenas e falhas na granação. (iii) Grãos nas extremidades das espigas com aspecto de cortiça. | (i) Atua no processo de divisão celular. (ii) Auxilia no transporte de carboidratos. (iii) Participa na formação dos grãos. (iv) Importante para a germinação da semente. |
| Zinco (Zn) | (i) Folhas com coloração esbranquiçada próximas à região do "cartucho". (ii) Crescimento reduzido da planta. (iii) Encurtamento dos internódios. | (i) Participa no crescimento das plantas. (ii) É ativador de inúmeras enzimas. (iii) Participa na formação dos grãos. |
| Manganês (Mn) | (i) Clorose internerval nas folhas novas. (sintoma semelhante a deficiência de magnésio). (ii) Colmos finos. (iii) Menor crescimento das plantas. | (i) Atua no sistema enzimático. (ii) Tem ação relevante na fotossíntese. (iii) Acelera a germinação da semente. (iv) Favorece a maturação das plantas. (v) atua na síntese de ligninas e fitoalexinas |
| Cobre (Cu) | (i) Amarelecimento das folhas (logo após o seu desdobramento). (ii) Encurvamento das extremidades das folhas e colmos frágeis. (iii) Margens das folhas necrosadas | (i) Atua no sistema enzimático. (ii) Atua na produção de fenóis e quinonas. (iii) participa no processo de assimilação do nitrogênio e na síntese de proteína |
| Molibdênio (Mo) | (i) Pequenas manchas esbranquiçadas nas nervuras das folhas velhas. (ii) Encurvamento ou dobramento do limbo na, extremidade da folha, ao longo da nervura. | (i) Participação na redução do nitrato (redutase do nitrato) e no aproveitamento do nitrogênio. (ii) atua na fixação biológica de Nitrogênio (FBN). (iii) Participa do processo de frutificação. |
| Ferro (Fe) | (i) Clorose internerval das folhas novas, de coloração amarelo-clara (quase branca). (ii) Redução da taxa de prolificidade. | (i) Auxilia na síntese de clorofila. (ii) Participa no processo de divisão celular, respiração e no transporte de elétrons |

Tabela 5.12. Descrição sucinta dos sintomas de deficiência e importância nutricional de **macronutrientes** para a cultura de milho (FANCELLI, 2000).

| Nutriente | Sintoma de deficiência | Importância nutricional |
|---|---|---|
| Nitrogênio (N) | (i) Amarelecimento das folhas mais velhas. (ii) (formando um "v" invertido). (iii) Morte prematura de folhas e/ou plantas. (iv) Espigas pequenas e grãos leves. (v) Colmos finos. (vi) Tombamento de plantas | (i) Está associado ao crescimento vegetativo das plantas. (ii) Participa ativamente da fotossíntese. (iii) Participa da síntese de proteínas. (iv) Aumenta peso (densidade) de grãos. (v) Aumenta porcentagem de óleo. |
| Fósforo (P) | (i) Coloração púrpura ou arroxeada das folhas novas. (ii) Colmos frágeis e delgados (finos). (iii) Espigas pequenas e retorcidas (tortas) nas extremidades | (i) Estimula o desenvolvimento das raízes. (ii) Aumenta o teor de proteínas nos grãos. (iii) Atua na fotossíntese e respiração. (iv) Participa no processo de transferência de energia e no enchimento de grãos. |
| Potássio (K) | (i) Margens das folhas inferiores (velhas) amarelada, alaranjada ou bronzeada. (ii) Manchas marrons no interior do colmo. (iii) Espigas com extremidades sem grãos e com sabugo afilado (ponteagudo) | (i) É responsável pelo uso eficiente da água (regula abertura e fechamento de estômatos). (ii) Aumenta a resistência da planta ao acamamento. (iii) Aumenta a tolerância a pragas e doenças. |
| Cálcio (Ca) | (i) Clorose nas folhas novas. (ii) Redução do crescimento radicular. (iii) Morte das extremidades das raízes. (iv) Falhas de granação (afeta fecundação). | (i) É essencial para o crescimento e aprofundamento das raízes. (ii) Vital para a germinação do grão de pólen. (iii) Faz parte da parede celular dos tecidos vegetais e atua na divisão celular. |
| Magnésio (Mg) | (i) Folhas inferiores (velhas) com listras esbranquiçadas (clorose) paralelas às nervuras. (ii) Crescimento reduzido da planta. | (i) É essencial para a fotossíntese. (ii) É componente da clorofila (pigmento participante ativo do processo fotossintético). (iii) Auxilia na absorção de fósforo. |
| Enxofre (S) | (i) Amarelecimento das folhas novas. (ii) Crescimento reduzido da planta. | (i) Participa na composição das proteínas. (ii) Auxilia na síntese de enzimas e vitaminas. (iii) Participa na formação dos grãos. |

## CALAGEM

Os corretivos de acidez do solo comumente utilizados nas atividades agrícolas são: os óxidos de cálcio; hidróxidos de cálcio; escórias de siderurgia e calcários comuns (ou tradicionais).

O sucesso da cultura de milho depende da correção da acidez do solo, que pode ser efetuada mediante a distribuição de calcário ($CaCO_3$) no terreno, cuja prática é denominada calagem.

A escolha do tipo de calcário deverá ser fundamentada no valor da relação Ca:Mg e do teor de magnésio (Mg) presente no solo. Assim, se a referida relação for maior que 2:1, opta-se pelo uso de calcário dolomítico, caso contrário a preferência deverá ser dada para o emprego de calcário calcítico. Da mesma forma, se o teor de magnésio no solo for inferior a 0,6 $cmol_C.dm^{-3}$ (ou 6 $cmol_C.dm^{-3}$), também deverá ser empregado o calcário dolomítico, objetivando o fornecimento de magnésio como nutriente.

A necessidade de calagem e a quantidade de calcário a ser aplicada poderão ser determinadas de acordo com os métodos ou critérios a seguir apresentados.

### Critério baseado na saturação por bases

Elevar a saturação de bases a 60-70% e o teor de magnésio a um valor mínimo de 0,6 $cmol_c.dm^{-3}$.

Para região dos Cerrados considera-se adequado o valor de saturação por bases (V%) próximo a 50-55%.

A partir do conhecimento dos resultados obtidos na análise química do solo, pode-se calcular as doses de calcário através da seguinte expressão matemática:

$$NC = \{[CTC \times (V_2 - V_1)] / PRNT\} \times p$$

em *NC* se refere à necessidade de calcário ($t.ha^{-1}$); *CTC* ou *T* à capacidade de troca catiônica ($cmol_c.dm^{-3}$); $V_1$ à saturação por bases fornecida pela análise de solo; $V_2$ à saturação por bases desejada; *PRNT* ao poder relativo de neutralização total e *p* à profundidade de correção (p = 0,5 para profundidade de correção até 10 cm; p = 1,0 para profundidade de correção até 20 cm; p = 1,5 para profundidade de correção até 30 cm e p = 2,0 para profundidade de correção de 40 cm).

### Critério baseado na neutralização do alumínio tóxico

O referido critério apenas considera a necessidade de neutralização do alumínio tóxico presente no solo e utiliza a seguinte expressão matemática:

$$NC\ (t.ha^{-1}) = (2 \times Al^{+++})$$

### Critério baseado na elevação de teores de cálcio e magnésio

O referido critério fornece valores referentes à quantidade de calcário necessária para elevar o pH para, aproximadamente, 5,5, bem como neutralizar todo o alumínio tóxico, além de elevar os teores de cálcio e magnésio para 2 (Para os solos com teor de argila inferior a 20% deve-se substituir o valor 2 por 1,2).

$$NC\ (t.ha^{-1}) = \{2 \times Al^{3+} + [2^* - (Ca^{++} + Mg^{2+})]\} \times 100/PRNT$$

### Critério SMP

Nesse método a quantidade de calcário é recomendada através do processo de incubação de solo, valendo-se da solução tampão SMP. O índice SMP foi calibrado para as necessidades de calcário objetivando a elevação do pH do solo para valores entre 5,5 e 6,5. Para a cultura de milho, esse método preconiza o emprego de pH 6,0, para a obtenção de produções satisfatórias (Tabela 5.13).

Tabela 5.13. Quantidades ($t.ha^{-1}$) de calcário recomendado pelo método SMP.

| Índice SMP | *pH* desejado (em água) | | | Índice SMP | *pH* desejado (em água) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5,5 | 6,0 | 6,5 | | 5,5 | 6,0 | 6,5 |
| | Calcário (PRNT=100) | | | | Calcário (PRNT=100) | | |
| 4,4 | 15,0 | 21,0 | 29,0 | 5,6 | 3,3 | 5,1 | 7,0 |
| 4,5 | 12,5 | 17,3 | 24,0 | 5,7 | 2,8 | 4,5 | 6,2 |
| 4,6 | 10,9 | 15,1 | 20,0 | 5,8 | 2,3 | 3,9 | 5,5 |
| 4,7 | 9,6 | 13,3 | 17,5 | 5,9 | 1,9 | 3,3 | 4,8 |
| 4,8 | 8,5 | 11,9 | 15,7 | 6,0 | 1,4 | 2,8 | 4,1 |
| 4,9 | 7,7 | 10,7 | 14,2 | 6,1 | 1,0 | 2,2 | 3,4 |
| 5,0 | 6,9 | 9,7 | 12,9 | 6,2 | 0,6 | 1,7 | 2,7 |
| 5,1 | 6,2 | 8,8 | 11,7 | 6,3 | 0,2 | 1,2 | 2,1 |
| 5,2 | 5,5 | 8,0 | 10,6 | 6,4 | 0,0 | 0,6 | 1,5 |
| 5,3 | 4,9 | 7,2 | 9,6 | 6,5 | 0,0 | 0,2 | 0,7 |
| 5,4 | 4,4 | 6,5 | 8,7 | 6,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 5,5 | 3,8 | 5,8 | 7,9 | | | | |

Ainda, visando a redução dos custos de produção da lavoura, a escolha do calcário deverá considerar o preço por unidade de PRNT e não o valor comercial da tonelada física da produto. O cálculo do preço efetivo do calcário pode ser obtido por:

Preço efetivo (por tonelada) = Preço do calcário ($R\$.t^{-1}$) posto na propriedade/PRNT

Finalmente, cumpre ressaltar que após o cálculo criterioso da quantidade de calcário a ser aplicada, mediante o emprego de metodologia apropriada para a região, a calagem, de forma geral, deverá ser sempre realizada com antecedência mínima de 60 dias (ideal: 90 dias de antecedência, com temperatura superior a 25°C e disponibilidade de água),

em relação à semeadura, objetivando o favorecimento das reações de correção.

### Equilíbrio de bases

A prática da calagem, quando mal empregada, poderá contribuir para o desequilíbrio de bases no solo, dificultando o desempenho do sistema radicular e, consequentemente, da planta. A utilização de quantidades e tipo inadequados de calcário, bem como a negligência de seus efeitos, poderá dificultar a garantia e/ou manutenção das relações favoráveis entre o Cálcio, Magnésio e Potássio, no complexo de troca de cátions do solo.

As participações relativas de Potássio, Cálcio e Magnésio no complexo de troca de cátions (CTC), recomendadas em função da faixa de saturação por bases (V%) disponível ou almejada, podem ser observadas na Tabela 5.14, abaixo apresentada.

Tabela 5.14. Porcentagem de saturação de K, Mg e Ca em relação ao valor do complexo de troca de cátions (CTC ou T), na faixa de V% mais adequada para as plantas. (adaptado de VITTI, 1997).

| V% | K% (na CTC) | Mg% (na CTC) | Ca% (na CTC) |
|---|---|---|---|
| 42 | 3,0 | 9 | 30 |
| 50 | 4,0 | 12 | 34 |
| 60 | 4,0-4,5 | 14 | 42 |
| 72 | 5,0 | 18-19 | 48 |

## GESSAGEM

Em situações particulares, representada pela limitação operacional da incorporação do calcário em profundidades superiores a 30 cm, o gesso constitui-se em uma alternativa viável para a diminuição da saturação de alumínio tóxico e para a elevação do teor de cálcio, nas camadas mais profundas do solo; criando condições para o aprofundamento do sistema radicular e favorecendo o aproveitamento da água disponível pela planta.

O cálculo da quantidade de gesso a ser empregada depende da concentração de alumínio (m>30%) e de cálcio em sub-superfície (inferior a 0,5 $cmol_c.dm^{-3}$), bem como da textura e tipo de argila predominante no solo, conforme observado na Tabela 5.15.

Tabela 5.15. Doses recomendadas de gesso em função da textura do solo (adaptado de VITTI; LUZ, 1998).

| Textura do solo | Argila (%) | Quantidade de gesso ($kg.ha^{-1}$) |
|---|---|---|
| Arenosa | < 15 | 700 |
| Média | 15-35 | 1200 |
| Argilosa | 36-60 | 2200 |
| Muito argilosa | >60 | 3200 |

Todavia, Souza et al. (1996), recomenda para o cálculo da quantidade total de gesso a ser aplicada, o emprego da seguinte expressão matemática:

$$NG\ (kg.ha^{-1}) = 50 \times argila\ (\%)\ ou\ 5 \times argila\ (g.kg^{-1})$$

Da mesma forma, existem outros critérios para o cálculo da necessidade de gesso, conforme apresentados a seguir.

**Critério baseado no teor de argila**

Baseado nesse método, as doses de gesso recomendadas serão: (i) para solos arenosos (inferior a 15% de argila): 0,5 $t.ha^{-1}$; (ii) para solos textura média (15 a 35% de argila): 1,0 $t.ha^{-1}$; (iii) para solos argilosos (36 a 60% de argila): 1,5 $t.ha^{-1}$; e (iv) para solos muito argilosos (superior a 60% de argila): 2,0 $t.ha^{-1}$.

**Critério baseado nos teores de alumínio e/ou cálcio**

Para cada 1 $cmol_c$ por $dm^3$ no solo de $Al^{3+}$, recomenda-se aplicar 2 $t.ha^{-1}$ de gesso.

Para elevar 1 $cmol_c$ por $dm^3$ no teor de cálcio do solo, recomenda-se aplicar 2 $t.ha^{-1}$ de gesso.

**Critério baseado nos teores de cálcio ou alumínio, ou de saturação por alumínio, em amostras de solo coletadas em profundidades superiores a 20 cm**

Nesse método, recomenda-se a aplicação de 1 $t.ha^{-1}$ de gesso quando: (i) O teor de cálcio trocável no solo for igual ou inferior a 0,5 $cmol_c$ por $dm^3$ ou (ii) o teor de alumínio trocável for igual ou superior a 0,5 $cmol_c$ por $dm^3$ ou (iii) a saturação de alumínio (m) for maior que 30%.

**Critério baseado na suplementação de CaO pelo gesso**

Ainda, se a recomendação de calagem for estimada pelo método de saturação por bases sugere-se que 25% do CaO do calcário seja substituído por Ca na forma de gesso. Nos casos em que a dose de calcário é calculada com o propósito de elevar os teores de cálcio e magnésio e neutralizar o alumínio, é sugerida a adição de 25% a mais de Ca, na forma de gesso, com base no CaO do calcário.

Finalmente, cumpre ressaltar que o gesso não neutraliza a acidez do solo, pois não altera significativamente o seu *pH* e, portanto, o mencionado produto não substitui o calcário. Contudo, quando corretamente aplicado, seu efeito residual esperado pode se prolongar por 2 a 5 anos.

## ADUBAÇÃO DE MILHO

O milho por ser uma especie bastante exigente em nutrientes e na fertilidade natural do solo, exige cuidados especiais na elaboração dos programas de manejo químico e físico do solo.

Para o estabelecimento de um programa efetivo e racional de adubação mostra-se fundamental conhecer: (i) finalidade da produção (*milho verde, grãos ou silagem*); (ii) produtividade desejada; (iii) necessidade total de nutrientes absorvidos pela planta (*extração*); (iv) necessidade de nutrientes ao longo do ciclo (*marcha de absorção*); (v) etapas críticas de desenvolvimento da planta (*fenologia*); (vi) quantidade de nutrientes retirada pela colheita (*exportação*); (vii) quantidade de nutrientes disponíveis no solo; (viii) fontes de nutrientes empregadas (*forma química, concentração e eficiência*); (ix) época de semeadura da cultura (*ocorrência de veranicos, nebulosidade, temperatura máxima e temperatura mínima reinantes no período*); (x) sistema de produção adotado (*sistema convencional ou sistema de plantio direto, sistema irrigado ou de sequeiro*); (xi) genótipo escolhido (*tipo, responsividade e ciclo*) e (xii) distribuição e população de plantas adotadas.

Além das considerações acima, o aproveitamento dos nutrientes fornecidos pela adubação recomendada também dependerá da disponibilidade de água no sistema, além da extensão e distribuição do sistema radicular.

Neste contexto, Fancelli (2000) relata que o desenvolvimento, crescimento, arquitetura (*distribuição de raízes individuais no espaço tridimensional*) e funcionamento do sistema radicular poderão ser negativamente afetados por: (i) elevada concentração de nutrientes nas camadas superficiais do solo *(representada por situações onde o V% for superior a 70%, acompanhado de baixa concentração de nutrientes em camadas mais profundas – abaixo de 15 cm);* (ii) revolvimento excessivo do solo *(desestruturação do solo)*; (iii) Baixa aeração *(encrostamento e/ou compactação e/ou encharcamento do solo, resultando na baixa disponibilidade de oxigênio)*; (iv) elevada concentração de alumínio tóxico *(impedimento químico)*; (v) predomínio de altas temperaturas no ambiente radicular (superior a 39°C); (vi) alta concentração de Fósforo nas camadas superficiais do solo *(principalmente em solos altamente intemperizados)*; (vii) baixa disponibilidade de nitrogênio nos estádios iniciais de desenvolvimento das plantas *(principalmente na forma amoniacal)*; (viii) deficiência de boro (solo); (ix) baixa disponibilidade de cálcio nas camadas de solo abaixo de 20 cm da superfície e (x) índices elevados de salinidade de sulco *(proporcionado pelo uso de quantidades superiores a 50 kg.ha$^{-1}$ de $K_2O$, na semeadura).*

As evidências acima mencionadas, além de se constituírem em fatores de estresse, dificultarão o aproveitamento de água e nutrientes por parte da planta, com conseqüente redução de seu potencial produtivo.

Ainda, salienta-se que a variação do balanço de energia e das condições climáticas do local de produção ou região, determinada, principalmente, pela latitude e altitude, aliado à instabilidade do ano agrícola

considerado (dinâmica da atmosfera), confere à recomendação de adubação (semeadura e cobertura) baseada apenas em intervalo de dias transcorridos após a semeadura ou emergência de uma lavoura, caráter eminentemente simplista e impreciso. Tal procedimento poderá contribuir para a redução drástica da eficiência e eficácia do aproveitamento de nutrientes por parte da planta, dificultando a manifestação de seu potencial produtivo.

Assim, o uso de uma escala baseada nas mudanças morfológicas da planta (aspecto visual da planta) e nos eventos fisiológicos que se sucedem no ciclo de vida da planta oferece maior segurança e precisão nas ações de manejo, visto que o vegetal se adapta continuamente às variações de ambiente.

Para a cultura do milho, a escala fenológica mais utilizada é aquela apresentada por Fancelli (1986) e adaptada de Hanaway (1982), conforme apresentado na Figura 5.2 e Tabela 5.16.

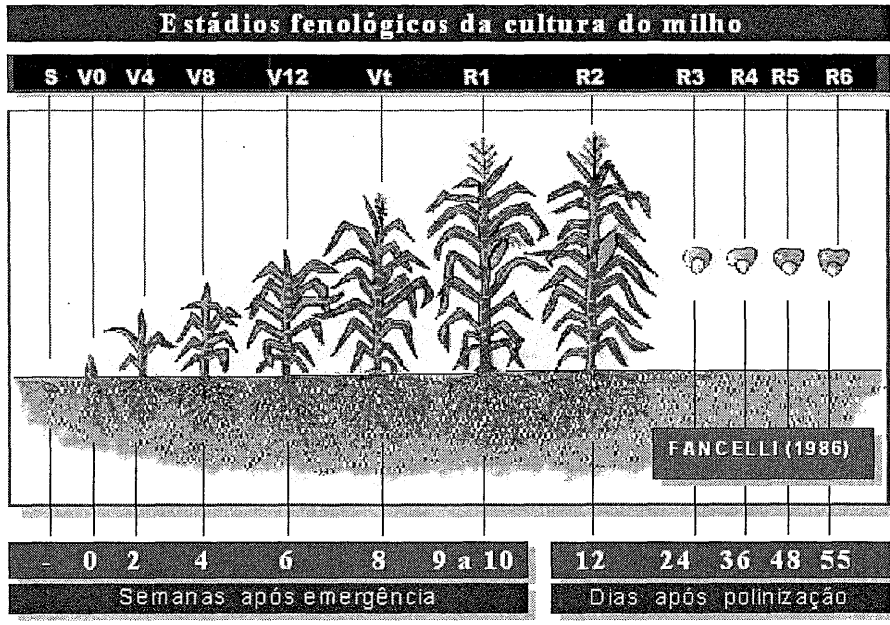



Figura 5.2. Estádios fenológicos da cultura de milho (FANCELLI, 1986).

Na referida escala, os estádios de crescimento e desenvolvimento anteriores ao aparecimento das espigas são identificados mediante a avaliação do número de folhas plenamente expandidas ou desdobradas, enquanto que nos estádios posteriores à emissão da espiga, a identificação deverá ser efetuada com base no desenvolvimento e consistência dos grãos. Assim, a folha do milho pode ser considerada desdobrada (ou aberta) quando a mesma apresentar a linha de união limbo foliar-bainha ("colar") facilmente visível (KINIRY; BONHOMME, 1991).

Tabela 5.16. Escala fenológica de milho (FANCELLI, 1986, adaptada de HANAWAY, 1982).

| Estádio | Caracterização do estádio |
|---|---|
| | Fase Vegetativa |
| $V_0$ | Germinação/emergência |
| $V_2$ | Emissão da 2ª folha |
| $V_4$ | Emissão da 4ª folha (1) |
| $V_6$ | Emissão da 6ª folha (2) |
| $V_8$ | Emissão da 8ª folha (3) |
| $V_{12}$ | Emissão da 12ª folha (4) |
| $V_{14}$ | Emissão da 14ª folha |
| | Fase Reprodutiva |
| *Vt* | Emissão do pendão e abertura das flores masculinas |
| $R_1$ | Florescimento pleno (5) |
| $R_2$ | Grãos leitosos |
| $R_3$ | Grãos pastosos |
| $R_4$ | Grãos farináceos |
| $R_5$ | Grãos farináceos duros |
| $R_6$ | Maturidade fisiológica (6) |

(1) Início da definição do potencial produtivo
(2) Início da definição do número de fileiras na espiga
(3) Início da definição da altura de planta e da espessura do colmo
(4) Início da definição do número e tamanho de espiga
(5) Início da confirmação da produtividade
(6) Máxima produtividade (máximo acúmulo de matéria seca) e máximo vigor da semente (aparecimento do ponto preto na base do grão)

**Adubação de semeadura e de cobertura**

Quanto à adubação da cultura de milho, resumidamente, pode-se propor algumas recomendações de caráter genérico, tais como: (i) distribuir 30 a 50 kg.ha$^{-1}$ de nitrogênio, no sulco de semeadura, acrescido de 60 a 150 kg.ha$^{-1}$, por ocasião da emissão da 3ª/4ª folha; (ii) fornecer, no máximo, 50 kg.ha$^{-1}$ de potássio ($K_2O$), na forma de KCl, na semeadura (posicionado-o com distância mínima de 8 cm da semente) e o restante aplicar em cobertura ou em pré-semeadura; (iii) fornecer 30 a 40 kg.ha$^{-1}$ de enxofre (S) para a obtenção de rendimentos superiores a 8 t.ha$^{-1}$; (iv) adicionar 3 kg.ha$^{-1}$ de Zinco (Zn) quando o teor desse elemento no solo (Zn-EDTA) for menor que 0,6 mg.dm$^{-3}$; (v) aplicar 0,4 a 0,8 kg.ha$^{-1}$ de Boro (B), na semeadura, quando o teor desse elemento no solo (B - água quente) for inferior a 0,50 mg.dm$^{-3}$ e (vi) aplicar 25 a 40 g.ha$^{-1}$ de Molibdênio (Mo), via foliar, entre a emissão da 4ª e 6ª folha, quando a etapa vegetativa da cultura ocorrer em condições de temperaturas altas ou baixas, ou na época da safrinha ou mesmo quando o período inicial da cultura ocorrer sob precipitações freqüentes e intensas.

O detalhamento e a discussão das recomendações específicas para cada nutriente são apresentados a seguir.

## Fósforo

Com relação ao Fósforo (P), pode-se inferir que a resposta a esse elemento, por parte do milho, encontra-se na dependência da produtividade esperada, da disponibilidade de água no sistema, da fertilidade atual do solo e da quantidade de nitrogênio aplicada (ou disponível). Assim, a cultura de milho conduzida em áreas apresentando menos de 7 ppm ou de 7 $mg.dm^{-3}$ de P (resina), dificilmente manifestará potencial de produção superior a 8000 $kg.ha^{-1}$ de grãos. Rendimentos superiores somente serão possíveis com o aumento do teor de fósforo no solo aliado ao fornecimento de quantidade criteriosa de nitrogênio. Salienta-se que, em condições normais, raramente, a cultura do milho, responde, de forma econômica, a quantidades de fósforo superiores a 120 $kg.ha^{-1}$, principalmente quando ofertado apenas no sulco de semeadura.

O aumento do fósforo no solo pode ser obtido com a técnica da fosfatagem que, em algumas situações, pode se constituir em prática inviável e antieconômica. A realização da fosfatagem, principalmente com fontes solúveis de P, somente é recomendável para solos arenosos, com baixa CTC (capacidade de troca de cátions) ou com baixos teores de óxido de ferro e alumínio. Em locais apresentando solos argilosos e com alto potencial de fixação, o aumento do fósforo no solo pode ser alcançado com o emprego do sistema de plantio direto e com o uso de fontes de fósforo com solubilidade gradual como termofosfatos, multifosfatos magnesianos ou fosfatos naturais reativos.

A fosfatagem com os produtos acima mencionados deverá objetivar a correção do fósforo no solo em médio ou em longo prazo e, em hipótese alguma, deverá ser dispensado o fornecimento desse elemento, mediante fontes solúveis, no sulco de semeadura, o qual deverá ser utilizado em quantidades e doses adequadas para o rendimento almejado, conforme constato nas Tabelas 5.17 e 5.18.

Tabela 5.17. Interpretação das classes de teores de fósforo no solo indicadas para a cultura do milho (fósforo extraído pelo método Mehlich 1 e por Resina sintética) (COELHO; FRANÇA 1995).

| Textura do solo | Teor de fósforo (ppm) | | | |
|---|---|---|---|---|
| (argila - %) | Extrator | baixo | médio | Alto |
| Argilosa (36 a 60%) | Mehlich 1 | <5 | 6 a 10 | >10 |
| Média (15 a 35%) | Mehlich 1 | <10 | 11 a 20 | >20 |
| Arenosa (<15%) | Mehlich 1 | <20 | 21 a 30 | >30 |
| Para todas as classes | Resina | <15 | 16 a 40 | >40 |

Tabela 5.18. Interpretação da análise de solo para recomendação de adubação fosfatada (fósforo extraído pelo método Mehlich 1) (CPAC/EMBRAPA, citado por FANCELLI; DOURADO-NETO, 1999).

| Teor de argila (%) | Teor de fósforo ($mg.dm^{-3}$) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | muito baixo | baixo | médio | Adequado[1] |
| 60 Ta 80 | até 1,0 | 1,0 a 2,0 | 2,0 a 3,0 | superior a 3,0 |
| 40 Ta<60 | até 3,0 | 3,0 a 6,0 | 6,0 a 8,0 | superior a 8,0 |
| 20 Ta<40 | até 5,0 | 5,0 a 10,0 | 10,0 a 14,0 | superior a 14,0 |
| Ta<20 | até 6,0 | 6,0 a 12,0 | 12,0 a 18,0 | superior a 18,0 |

Ao atingir nível de P extraído acima de valores estabelecidos nessa classe, recomenda-se utilizar somente a adubação de manutenção.

Na Tabela 5.19, Raij e Cantarella (1995) apresentam as sugestões para a determinação da adubação fosfatada de semeadura para a cultura de milho, em função das produtividades esperadas.

Tabela 5.19. Recomendação de adubação fosfatada na semeadura.

| Rendimento almejado ($t.ha^{-1}$) | P-resina ($mg.dm^{-3}$) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | < 6 | 7 a 15 | 16 a 40 | > 41 |
| | $P_2O_5$ ($kg.ha^{-1}$) | | | |
| 2 a 4 | 60 | 40 | 30 | 20 |
| 4 a 6 | 80 | 60 | 40 | 30 |
| 6 a 8 | 90 | 70 | 50 | 30 |
| 8 a 10 | - | 90 | 60 | 40 |
| 10 a 12 | - | 100 | 70 | 50 |

Fonte: (RAIJ; CANTARELLA, 1995).

Trabalhos recentes têm demonstrado a importância da distribuição do fósforo ao longo do perfil do solo, objetivando garantir a manutenção da taxa adequada de absorção desse nutriente por parte do milho. Elevada concentração e disponibilidade de fósforo em camadas superficiais do solo poderão contribuir para a redução do crescimento do sistema radicular, sobretudo de raízes rastreadoras de 1ª e 2ª ordem (TERUEL et al., 1999), ampliando efeitos de eventuais estresses hídricos. Do mesmo modo, o emprego de adubação fosfatada, a lanço, em áreas com baixo conteúdo de fósforo, em situações de baixa disponibilidade de água poderá favorecer a perda de potencial produtivo da planta. A distribuição do fósforo, em profundidade, poderá ser obtida com a manutenção do potencial biótico do solo, permitindo a proliferação e a diversificação da micro e da mesofauna (principalmente anelídeos) e com o emprego de plantas caracterizadas por sistemas radiculares portentosos e que apresentem menor demanda de fósforo para o desenvolvimento de suas raízes em profundidade. Dentre essas espécies merecem especial destaque as braquiárias, o guandu, o centeio, o nabo forrageiro e as crotalárias. As espécies mencionadas, por ocasião da decomposição de seus sistemas radiculares, posicionarão o fósforo absorvido nas camadas superficiais do solo, em camadas mais

profundas, ao longo do perfil, na forma orgânica e com baixo risco de fixação por parte da argila.

## Potássio

Quanto à adubação potássica (K), recomenda-se muito critério na definição da quantidade a ser aplicada na semeadura, pois a fonte mais comumente usada desse nutriente – o cloreto de potássio (KCl) – pode afetar significativamente a arquitetura e a taxa de crescimento do sistema radicular, além de prejudicar a germinação das sementes, mediante efeito salino, afetando, conseqüentemente, o estande (população) e desempenho inicial da planta.

Tabela 5.20. Adubação potássica na semeadura (RAIJ; CANTARELLA, 1995).

| Rendimento almejado ($t.ha^{-1}$) | K trocável ($mmol_c.dm^{-3}$) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | < 0,7 | 0,7 a 1,5 | 1,5 a 3,0 | > 3,0 |
| | $K_2O$ ($kg.ha^{-1}$) | | | |
| 2 a 4 | 50 | 40 | 30 | 0 |
| 4 a 6 | 50 | 50 | 40 | 20 |
| 6 a 8 | 50 | 50 | 50 | 30 |
| 8 a 10 | 50 | 50 | 50 | 40 |
| 10 a 12 | 50 | 50 | 50 | 50 |

Assim, objetivando evitar os problemas acima mencionados, recomenda-se, por ocasião da semeadura, o fornecimento de quantidades inferiores a 50 $kg.ha^{-1}$ de $K_20$, na forma de KCl, bem como garantir a distância do adubo em relação às sementes, no mínimo, 8 cm. Se a quantidade total exigida ou recomendada exceder 50 $kg.ha^{-1}$, o restante deverá ser aplicado em pré-semeadura ou em cobertura, conforme sugestões apresentadas na Tabela 5.21, apresentada a seguir. Todavia, cumpre salientar que o emprego de espaçamentos mais reduzidos (inferior a 60 cm entre linhas), possibilita o uso de até 70 $kg.ha^{-1}$ de $K_20$, na linha de semeadura, na forma de KCl.

O efeito salino mencionado poderá ser reduzido em função do aumento do teor de argila e de matéria orgânica presente no solo; da ausência de déficit hídrico após a semeadura; do maior conteúdo de lipídios e proteínas presentes nas sementes, bem como do aumento do tamanho e do vigor das sementes utilizadas.

Tabela 5.21. Recomendação de adubação potássica em pré-semeadura, semeadura e cobertura (FANCELLI, 1998).

| Condição | Época de aplicação |
|---|---|
| Solos corrigidos e com mais de 30% de argila, bem como apresentando capacidade de troca catiônica de, pelo menos, 5 $cmol_c.dm^{-3}$ (ou 50 $mmol_c.dm^{-3}$) | pré-semeadura *(1 a 6 semanas antes da semeadura)* |
| Aplicar, no máximo, 50 $kg.ha^{-1}$ de $K_2O$ | semeadura |
| (i) a lanço, *antes das plantas emergirem* ou<br>(ii) na superfície, *em faixa, até a quinta folha* ou<br>(iii) incorporado, *até a oitava folha*. | cobertura[(1)] |

[(1)] A quantidade total a ser aplicada em cobertura dependerá do teor de potássio no solo, da profundidade efetiva do sistema radicular, da produtividade almejada e do teor de potássio presente na parte exportável da planta.

**Nitrogênio**

Na cultura de milho, a recomendação atual de adubação nitrogenada refere-se ao fornecimento de 30 a 50 $kg.ha^{-1}$ desse elemento por ocasião da semeadura (ou em pré-semeadura). Conforme citado por Fancelli e Dourado-Neto (2000), a taxa inicial de demanda por nitrogênio e a atividade das raízes aumentam com o aumento da temperatura, e por essa razão o melhor desempenho inicial de plantas de milho cultivadas em regiões e épocas quentes tem sido obtidos com o uso de 40 a 50 $kg.ha^{-1}$ de nitrogênio, na semeadura. Ainda, nesse particular, Musatenko et al. (2003), em recente trabalho de pesquisa, também demonstraram que plântulas de milho mais tolerante a temperaturas mais altas apresentavam maior conteúdo de *ABA* e *Citocininas* em comparação às plântulas de genótipos mais sensíveis, as quais freqüentemente evidenciavam anormalidades na estrutura lamelar dos cloroplastos.

Contudo, convém salientar que a utilização de doses elevadas de nitrogênio (superior a 60 $kg.ha^{-1}$), no sulco de semeadura, poderá favorecer a salinização e (ou) alcalinização da rizosfera, em função da fonte empregada, afetando o funcionamento das raízes, absorção de nutrientes (Mn e Zn) e a vida do solo.

A adubação de cobertura do milho deverá ser iniciada quando as plantas apresentarem 3 a 4 folhas plenamente expandidas e, finalizadas, impreterivelmente, por ocasião da emissão da 6ª/7ª folha. O parcelamento do nitrogênio, freqüentemente, não é necessário; notadamente se a quantidade aplicada for menor que 150 $kg.ha^{-1}$ de N e o solo apresentar teor de argila superior a 35%. As justificativas para o parcelamento do Nitrogênio, em cobertura, podem ser evidenciadas nas Tabelas 5.22 e 5.23.

Em condições normais, não há necessidade para o fornecimento de nitrogênio em estádios fenológicos mais avançados (além da 10ª/12ª folha), pois a referida prática, além de não contribuir para o aumento de produtividade, conforme constatado na Tabela 5.23, poderá favorecer a

ocorrência de doenças como cercosporiose, helmintosporioses e ferrugens (FANCELLI et al., 2002).

Tabela 5.22. Recomendação de adubação nitrogenada de cobertura (FANCELLI, 1997).

| Condição edafoclimática | Parcelamento | | Época de aplicação |
|---|---|---|---|
| solo argiloso e período de baixa pluviosidade (freqüência e intensidade) | 1 | - | $3^a$ - $4^a$ folha |
| solos arenosos e/ou condição favorável à lixiviação de N | 2 | $1^a$ | $3^a$ - $4^a$ folha |
| | | $2^a$ | $6^a$ - $8^a$ folha |
| Solos corrigidos, intensivamente cultivados ou sistemas de produção sob agricultura irrigada (principalmente pivô central) | 3 | $1^a$ | $3^a$ - $4^a$ folha |
| | | $2^a$ | $6^a$ – $8^a$ folha |
| | | $3^a$ | $10^a$ – $12^a$ folha |

Em trabalho desenvolvido por Uhart e Andrade (1995), no INTA/Argentina, foi constatado que o milho remobilizou entre 28 e 100 $kg.ha^{-1}$ do nitrogênio absorvido nos estádios iniciais, representando 18 a 42 % do nitrogênio presente na biomassa (planta), 15 dias após a floração. Ainda, salienta-se que do total remobilizado, cerca de 46-50% foi proveniente das folhas e 54-60% foi proveniente do colmo.

Ainda, trabalhos desenvolvidos na Universidade de Illinois (EUA), por Billow (2000), demonstraram que o emprego de formas amoniacais de nitrogênio (nitrato e sulfato de amônio) comparado com o uso exclusivo de uréia proporcionou o aumento de produtividade da cultura de milho, principalmente por contribuir para o incremento da taxa de fertilização de óvulos, culminando no maior de número de grãos por espiga. Todavia, por razões edafoclimáticas, esses resultados poderão ser bem mais evidentes nos Estados Unidos do que no Brasil, sobretudo quando, em nossas condições, a temperatura do solo for superior a 28°C e seu *pH* atingir valores superiores a 5,7.

A explicação para tal diferença relaciona-se ao gasto energético de assimilação e metabolismo do nitrogênio em plantas de milho, em seu estágio inicial de desenvolvimentos.

É notório que a assimilação de nutrientes geralmente necessita de grandes quantidades de energia para a conversão dos compostos inorgânicos de baixa energia em compostos de alta energia. Assim, conforme relatado por Bloom (1997) e citado por Taiz e Zeiger (2004), a redução do nitrato para nitrito e este em amônio, requer a transferência de 10 elétrons e responde por, aproximadamente, 25% do total de energia consumida pelas raízes e parte aérea. Assim, conclui-se que o milho pode utilizar um quarto da energia disponível para assimilar o nitrogênio, apesar de se constituir apenas 2 a 3 % do total de matéria seca da planta.

Tabela 5.23. Influência da aplicação (kg.ha$^{-1}$) de nitrogênio (S: Semeadura) e em cobertura (C: Cobertura) em diferentes estádios fenológicos (EF) no índice de área foliar (IAF, m$^2$.m$^{-2}$), no número de grãos por espiga (Ge) e na produtividade (P, sc.ha$^{-1}$) do milho. Piracicaba, SP (FANCELLI; CASADEI, 2002).

| Tratamento | S | C | EF | IAF | Ge | P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 30 | 0 | - | 3,76 | 484,1 | 106,7 |
| 2 | 30 | 120 | 2 folhas | 5,10 | 553,7 | 140,4 |
| 3 | 30 | 120 | 4 folhas | 4,88 | 555,1 | 141,5 |
| 4 | 30 | 120 | 6 folhas | 4,44 | 528,3 | 145,2 |
| 5 | 30 | 120 | 8 folhas | 4,28 | 536.6 | 142,1 |
| 6 | 30 | 120 | 10 folhas | 4,19 | 521,7 | 133,1 |
| 7 | 0 | 0 | - | 3,70 | 455,2 | 87,8 |
| 8 | 0 | 150 | 2 folhas | 5,07 | 545,9 | 142,9 |
| 9 | 0 | 150 | 4 folhas | 4,71 | 532,2 | 143,0 |
| 10 | 0 | 150 | 6 folhas | 4,52 | 505,3 | 136,0 |
| 11 | 0 | 150 | 8 folhas | 4,09 | 488,1 | 130,9 |
| 12 | 0 | 150 | 10 folhas | 3,78 | 495,6 | 121,7 |

Para o milho, o amônio é a fonte preferencial de nitrogênio para sustentar a divisão celular no meristema radicular, pois os tecidos são limitados na disponibilidade de carboidratos e a assimilação de amônio consome menos energia que a de nitrato (BLOOM, 1998, citado por EPSTEIN; BLOOM, 2006). Todavia, como o alongamento celular depende da absorção e do acúmulo de Potássio, Cloro e Nitrato, elementos estes que determinam o aumento da pressão osmótica dentro da célula (LARCHER, 1997), conclui-se que a disponibilidade adequada de nitrogênio (incluindo leguminosas) no início da vida das plantas, associada ao equilíbrio entre as formas de N, amoniacal e nítrica, constituem-se em requisitos básicos para o crescimento e funcionamento do sistema radicular.

Face ao exposto, conclui-se que em condições tropicais e subtropicais a disponibilidade satisfatória de molibdênio (nitrato-redutase), manganês (Nitrito-redutase) e cobre (glutamato-sintetase e cadeia de elétrons), além do fósforo (ADP - ATP) são fundamentais para o incremento da eficiência do aproveitamento e assimilação do nitrogênio pelas plantas.

A quantidade total de nitrogênio destinada à cultura do milho pode ser calculada pelo método proposto por Fancelli (2000), no qual a dose total de Nitrogênio (N) a ser fornecida é determinada pela seguinte expressão matemática:

$$Nt = [(Rm + 10\%)\ 18 - (Cn_1 + Cn_2 + Cn_3)]$$

em que *Nt* se refere à quantidade total de Nitrogênio (semeadura + cobertura) (kg.ha$^{-1}$); *Rm* ao rendimento médio do milho obtido nos últimos 3 anos (t.ha$^{-1}$); e $Cn_{1,2,3...\ n}$ ao crédito de nitrogênio do sistema (Ex: [i] cada tonelada de soja produzida imediatamente antes da cultura do milho, fornece ao sistema cerca

de 12 a 15 kg.ha$^{-1}$ de N; [ii] cada unidade percentual de matéria orgânica do solo, a partir de 4%, contribuirá com 10 a 12 kg.ha$^{-1}$ de N; [iii] adubação verde com leguminosas produzindo 20 a 40 t.ha$^{-1}$ de fitomassa agregará cerca de 30 a 40 kg.ha$^{-1}$ de Nitrogênio ao sistema).

De forma mais rigorosa, Dourado Neto e Fancelli (2000), relatam que a quantidade de nitrogênio ($Q_N$, kg.ha$^{-1}$) é definida em função do rendimento almejado ($R$, kg.ha$^{-1}$); do teor médio de proteína no grão (ou semente) ($P_G$, kg.kg$^{-1}$); do teor médio de nitrogênio na proteína ($N_P$, kg.kg$^{-1}$); do índice de colheita ($IC$, kg.kg$^{-1}$); do teor médio de nitrogênio nas outras partes da planta ($C_N$, kg.kg$^{-1}$); da quantidade relativa de nitrogênio fornecida pelo solo ($S_N$, kg.kg$^{-1}$) e da eficiência de utilização de nitrogênio proveniente do fertilizante ($Ef$, kg.kg$^{-1}$):

$$Q_N = \frac{R\left[P_G . N_P . IC + C_N\left(1 - IC\right)\right]\left(1 - S_N\right)}{Ef . IC}$$

Atualmente, também tem sido amplamente discutida a possibilidade da aplicação antecipada do nitrogênio, em pré-semeadura, objetivando a garantia de maior eficiência no uso do nitrogênio pela planta e maior economicidade e flexibilidade da atividade, além de propiciar maior racionalização do uso de máquinas e mão-de-obra. Todavia muitos fatores podem influenciar em seu pleno sucesso, tais como: (i) baixa disponibilidade de N no solo (imobilização); (ii) espécies antecessoras e espécie alvo; (iii) programa de rotação de culturas empregado; (iv) tempo de adoção do sistema de Plantio Direto; (v) relação C/N da palhada predominante no sistema; (vi) potencial biótico do sistema; (vii) tipo de solo e (viii) regime pluviométrico da região (sobretudo nos períodos iniciais da cultura, até a emissão da 4ª folha).

Como esses fatores não podem ser efetivamente controlados, conclui-se que a adubação nitrogenada em pré-semeadura, ainda constitui-se em uma prática de risco caracterizada por baixo grau de previsibilidade. Contudo, em situações especiais representadas por regiões com regime de chuva regular e com o emprego de programas de rotação de culturas envolvendo leguminosas (fabáceas), como culturas antecessoras ao milho, pode ser recomendado o uso do nitrogênio antecipado, no máximo, 10 a 12 dias antes da semeadura. Para tanto, deve-se dar preferência para a incorporação do fertilizante nitrogenado na profundidade mínima de 3 cm em relação à superfície do solo.

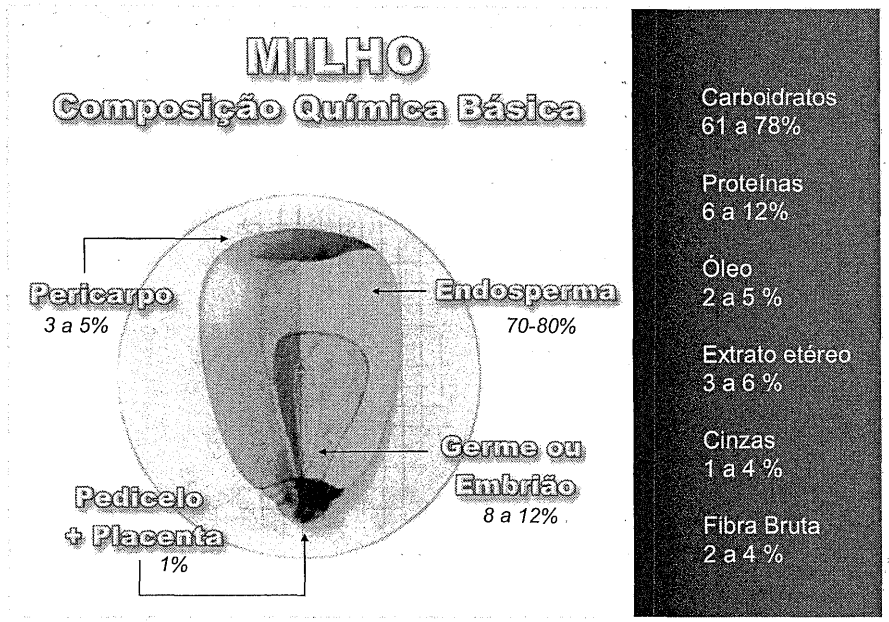



Tabela 5.24. Composição química do grão de milho (função da Nutrição da planta).

**Redução das perdas de nitrogênio**

Os fertilizantes nitrogenados quando aplicados ao solo estão sujeitos a perdas significativas, mediante os processos de desnitrificação, volatilização e lixiviação.

Em condições anaeróbias totais (solos inundados) ou parciais (sítios anaeróbios em um solo predominantemente aeróbio) podem ser produzidos gases como $N_2$ e $N_2O$, em processos conhecidos como desnitrificação. Em condições anaeróbias, praticamente todo o $NO_3^-$ presente no solo pode ser rapidamente perdido por meio das formas gasosas citadas, mas, mesmo em condições aeróbias, acredita-se que entre 5 e 30% do N aplicado como fertilizante possa ter esse destino (CANTARELLA, 2007).

Em condições aeróbias (solos arejados) predomina a forma nítrica ($NO_3^-$) e, mesmo o nitrogênio amoniacal, proveniente da mineralização da matéria orgânica do solo, bem como dos fertilizantes amídicos ou amoniacais, é rapidamente transformado em nitrato, pela ação de microorganismos específicos do solo, resultando no processo denominado de nitrificação.

A nitrificação é favorecida por concentrações adequadas de oxigênio (condições aeróbias), altas temperaturas (superior a 27°C) e *pH* próximo da neutralidade (>6,0), entre outros fatores.

O referido ânion ($NO_3^-$) devido a sua baixa reatividade e a predominância de cargas negativas, características da camada superficial do solo, resultam no processo de lixiviação, acompanhando o movimento descendente da água ao longo do perfil do solo.

Cantarella (2007) reuniu vários trabalhos da literatura brasileira mostrando que, de modo geral, as perdas de $NO_3^-$ por lixiviação, relatadas para a cultura de milho, têm sido relativamente baixas. As explicações mais prováveis para tal fato se relacionam a: (i) Uso de baixas quantidades de nitrogênio na cultura do milho, em comparação a outros países; ii) Predomínio de textura argilosa da maioria das regiões produtoras; iii) Emprego da adubação nitrogenada, no período de maior atividade de absorção de N pelas plantas e iv) Acentuada atividade microbiana favorecendo elevada taxa de imobilização

Todavia, as perdas de N por volatilização de amônia ($NH_3$ – forma gasosa), que ocorre preferencialmente em condições de *pH* alcalino são bastante significativas, oscilando entre 15 e 78% do nutriente fornecido, sobretudo pelo uso da uréia (LARA CABEZAS et al, 2000). A referida fonte de N, contudo, apresenta reação de hidrólise gerando $NH_3$ e $CO_2$, independentemente do *pH* do solo. Tais perdas são maiores em sistemas plantio direto que em convencional, pois a atividade da urease, enzima responsável pela hidrolise da uréia, é maior em plantas e resíduos vegetais do que em solo.

Assim, objetivando reduzir as perdas de nitrogênio em sistemas de produção e, consequentemente, ampliar a eficiência de seu aproveitamento pelas plantas, inúmeras estratégias tem sido propostas, tais como: (i) adequar a quantidade de nitrogênio às necessidades da planta e às etapas de maior demanda; (ii) evitar a aplicação de fertilizantes nitrogenados a lanço; (iii) proceder a Incorporação do nitrogênio ao solo (3 a 5 cm); (iv) utilização de fertilizantes nitrogenados de liberação lenta ou controlada e (v) utilização de fertilizantes nitrogenados portadores de substâncias inibidoras de processos que favoreçam perdas *(tais como: inibidor da atividade da urease e da nitrificação).*

Os fertilizantes de liberação lenta ou controlada são classificados basicamente em dois grupos: (i) Produtos formados por compostos originados da condensação de uréia e uréia-aldeído, apresentando baixa solubilidade e liberação lenta, como o UF (Uréia-Formaldeído – 38% de N); e (ii) produtos encapsulados ou recobertos por enxofre elementar, polímeros orgânicos e resinas, apresentando liberação controlada (TRENKEL,1997).

Esses tipos de produtos, além de propiciarem, muitas vezes, resultados variáveis, apresentam custo elevado e ainda necessitam de aprimoramento tecnológico.

Para Cantarela (2008), o maior potencial de uso de fertilizantes não convencionais, na cultura do milho, recai sobre aqueles que contém aditivos (fertilizantes estabilizados): os inibidores de nitrificação e os inibidores de urease.

Os inibidores de nitrificação reduzem drasticamente a formação de $NO_3^-$ no solo, devido a sua interferência na atividade das bactérias do gênero *Nitrosomonas*, responsáveis pela oxidação do $NH_4^+$ a $NO_2^-$ preservando, dessa forma, o N amoniacal, por mais tempo, reduzindo sua propensão à

lixiviação. No Brasil, o fertilizante que apresenta inibidor de nitrificação em sua composição é o Entec, que é recomendado para solos arenosos e regiões com chuvas freqüentes e intensas, na etapa inicial de desenvolvimento vegetativo.

Os inibidores de urease retardam a hidrólise da uréia, diminuindo as perdas de N por volatilização. O fertilizante denominado de SuperN, é o principal representante de fertilizantes apresentando inibidores de urease, possibilitando a permanência do nitrogênio na superfície do solo por 7 a 10 dias, antes da ocorrência de precipitações pluviais suficientes para promover a incorporação da uréia no solo, sem a evidência de perdas significativas.

Os produtos mais efetivos na inibição da urease são representados pelos análogos de uréia, tais como os fosforodiamidatos e fosforotriamidatos, os quais tem proporcionado forte ação inibidora mesmo em concentrações muito baixas. Dentre os produtos dessa classe, os que têm apresentado melhores resultados são o PPD (fenil-fosforodiamidato) e, principalmente, o NBPT.(CANTARELLA et al., 2005; CANTARELLA; MARCELINO, 2007).

O NBPT, segundo compilação de trabalhos efetuada por Cantarela e Marcelino (2008) é um composto que apresenta características de solubilidade e difusividade similares à da uréia e tem mostrado resultados consistentes dentre os inibidores de uréase disponíveis no mercado. O NBPT não é o inibidor direto da urease, pois necessita ser convertido ao seu análogo de oxigênio (fosfato de N-n-butiltriamida) – NBPTO – que é o verdadeiro inibidor. A mencionada conversão é rápida em solos bem arejados (minutos ou horas), porém lenta em condições de solos inundados, podendo levar vários dias para a sua completa ação.

A viabilidade técnica e econômica do uso de fontes especiais de nitrogênio (SuperN, Entec, NitroMais e Sulfamo) dependerá dos preços relativos dos fertilizantes nitrogenados convencionais, sobretudo uréia, em comparação aos preços praticados para os fertilizantes especiais, das condições de uso do produto, do sistema de produção adotado, do nível tecnológico do empreendimento e do valor estimado do milho por ocasião da colheita.

## Fixadores livres de nitrogênio

Além do aporte de nitrogênio ao sistema, representado pela adubação de semeadura e cobertura, atualmente muito se discute a possibilidade da aquisição de quantidades significativas desse elemento por parte de fixadores biológicos que estabelecem relações íntimas com diferentes espécies de gramíneas.

O nitrogênio atmosférico, além de ser fixado por microrganismos do gênero *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*; que estabelecem simbiose com algumas espécies de leguminosas, tais como feijão e soja, também pode ser transformado em nitrogênio mineral pela ação de fixadores livres, principalmente aqueles pertencentes ao gênero *Azospirillum.*

Estudos realizados em cilindros, sob condições de campo, usando o método de diluição isotópica $^{15}N$, Boddey e Victoria (1986), evidenciaram que a *Brachiaria decumbens* e *B. humidícola,* mediante fixadores livres, obtiveram, em média, 30 a 40% do nitrogênio, proveniente da fixação biológica, correspondendo a 45 e 29 kg.ha$^{-1}$ de N, respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos com trigo e milho, por intermédio da associação das espécies mencionadas com bactérias do gênero *Azospirillum* e *Pseudomonas*, muito comuns em condições de solos brasileiros.

No Brasil, evidências de campo têm demonstrado que a inoculação de sementes com *Azospirillum,* além de incrementar a produtividade do milho, nas mais distintas condições, também poderá contribuir para a economia de 30 a 50 kg.ha$^{-1}$ de nitrogênio, além de favorecer o aumento da viabilidade técnica e econômica da época da safrinha.

Os *Azospirillum* são microrganismos que apresentam a capacidade de fixação de nitrogênio, de forma livre, ao passo que as *Pseudomonas* são excelentes promotoras de crescimento de raízes, pela síntese de substâncias bioestimulantes. A sobrevivência e atividade desses microrganismos, na rizosfera, dependem da disponibilidade de nutrientes (Ca, Mg e, principalmente, S) e do tipo de manejo imposto ao sistema de produção.

## Enxofre

A importância do uso do enxofre na cultura do milho tem aumentado significativamente em decorrência de algumas razões tais como: a) melhoramento genético para alta produtividade; b) emprego de fertilizantes mais concentrados em programas de adubação; c) uso indiscriminado de MAP e DAP; d) redução do uso de sulfato de amônio em cobertura e d) redução significativa do teor de matéria orgânica dos solos.

O milho exige em torno de 3 a 3,5 kg.ha$^{-1}$ de enxofre por tonelada de grãos produzido e o citado nutriente possui menor mobilidade, na planta, que o nitrogênio e, por essa razão, os sintomas de deficiência poderão aparecer em folhas do terço intermediário da planta, além das folhas novas.

A relação adequada de nitrogênio e enxofre, para a cultura do milho corresponde a 8-10:1, sendo que a não observância dessa relação na nutrição da planta, tem acarretado menor produtividade, maior incidência de doenças (raízes e colmo), além de menor valor biológico de proteínas.

O teor de enxofre no solo, na forma de sulfato, é utilizado para a avaliação da necessidade desse nutriente em programas de adubação. Neste contexto, solos com teores de enxofre inferiores a 10 mg.dm$^{-3}$ (ppm), usando como extrator o fosfato de cálcio, é considerado deficiente nesse elemento.

A reposição do enxofre ao solo pode ser garantida pelo emprego das seguintes fontes: (i) gesso (15 a 18% S); (ii) fertilizantes nitrogenados: sulfato de amônio (24% S); Uréia + sulfato de amônio (1:1=12% S); sulfonitrato de amônio (5% S) e sulfamo (10% S); (iii) fertilizantes fosfatados: superfosfato simples (12% S); multifosfato magnesiano (4,5 a 8,0% S) e termofosfato magnesiano (5 a 6% S) e (iv) matéria orgânica (0,5% de S).

Ainda, convém lembrar que o enxofre (S), normalmente, tem sido negligenciado no sistema de produção, o que pode estar contribuindo para a redução da eficiência do processo de fixação biológica de nitrogênio, bem como para a diminuição da população de organismos fixadores (livres ou simbiontes). Resultados experimentais recentes apontam que as exigências mínimas relacionadas às culturas graníferas e aos microrganismos oscilam entre o teor de 12 e 15 $mg.dm^{-3}$ de enxofre, no solo.

## Micronutrientes

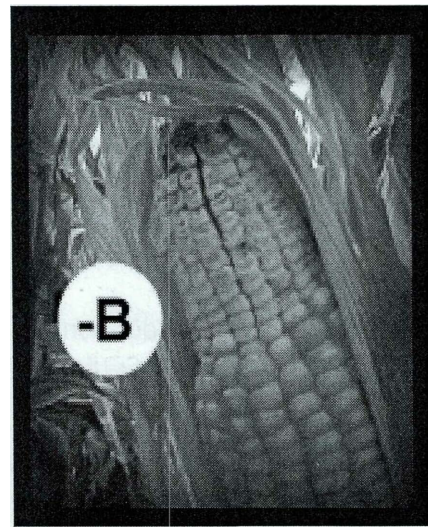
A classificação dos nutrientes de acordo com o papel fisiológico e bioquímico, segundo Mengel e Kirkby (1987), seria mais adequada, pois a denominação de macro e micronutrientes indicam somente a concentração relativa no tecido vegetal, sem qualquer significado ou relevância biológica, visto que todos são essenciais à vida vegetal. Ainda, vale mencionar que muitas vantagens advindas do fornecimento dos micronutrientes não são observadas, às vezes, por simples aumentos lineares de produtividade, mas na qualidade do produto colhido, no vigor das plantas e na tolerância às doenças e pragas (FANCELLI, 2003).

A necessidade de micronutrientes, na cultura do milho, deverá ser fundamentada nos resultados de análise foliar, no histórico da área e na produtividade estimada, sendo desaconselhável a aplicação de micronutrientes de forma indiscriminada. Tal procedimento poderia resultar na redução de rendimento da cultura, por provocar o desequilíbrio de nutrientes na planta (interferência no metabolismo), bem como por configurar situações de fitoxicidade e anomalias fisiológicas.

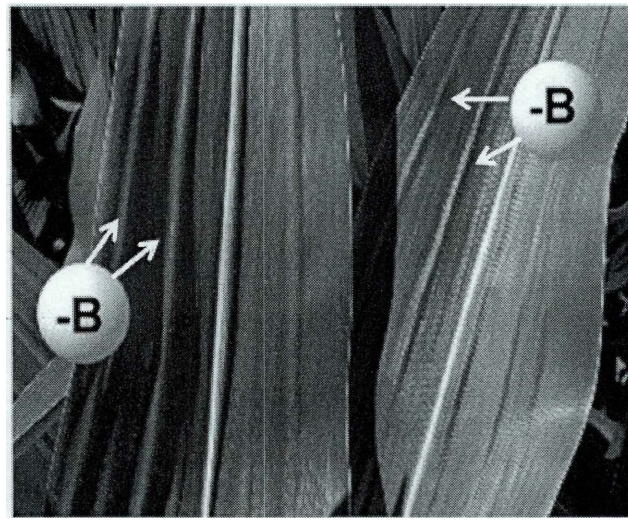
O micronutriente mais exigido pelo milho é o Zinco (2 a 6 $kg.ha^{-1}$), principalmente se a referida cultura estiver sendo conduzida em áreas sob "cerrado", solos arenosos, pobres em matéria orgânica ou que foram submetidos a quantidades elevadas de calcário (superior a 3 $t.ha^{-1}$). Todavia, em função do uso desse elemento juntamente com a adubação de base (semeadura), ao longo do tempo, em grande parte das situações, o zinco pode se apresentar no solo, em nível satisfatório, dispensando seu uso freqüente.

O zinco também pode ser aplicado, via foliar, juntamente com o inseticida para controle da lagarta-do-cartucho (entre a $4^a$ e $6^a$ folha) e, nesse caso, a dosagem recomendada pode variar entre 100 a 400 $g.ha^{-1}$. Contudo, evidências recentes demonstraram que o uso de zinco, via foliar, nas etapas inicias de desenvolvimento de determinados genótipos, principalmente AG-9020 e DKB-240, pode provocar acentuados sintomas de fitotoxicidade, exigindo muito cuidado em sua recomendação.

O excesso de zinco (Zn), na planta, poderá afetar o aproveitamento de outros nutrientes metálicos, principalmente o cobre (Cu), o que poderá predispor a planta à incidência de doenças (FANCELLI, 2008).




(a)




(b)

Figura 5.3. (a) Deficiência de B na espiga e (b) na (folha): vincos salientes.

Outros micronutrientes que têm merecido especial atenção na cultura do milho são: o Boro (B), o Manganês (Mn), o Cobre (Cu) e, mais recentemente, o Molibdênio (Mo).

O boro (B), por apresentar baixa mobilidade na planta, deverá ser aplicado, via solo, preferencialmente na semeadura. As quantidades normalmente exigidas pelo milho, objetivando rendimentos elevados, variam entre 3 e 10 $kg.ha^{-1}$ de boro, como adubação corretiva (a lanço) e 0,2 a 0,8 $kg.ha^{-1}$ de boro, na semeadura, valendo-se de fontes de boro de solubilidade média a baixa (ulexita e seus derivados). Ainda, em trabalhos recentes, Fancelli it al (2008 - no prelo), obteve resultados satisfatórios mediante a aplicação foliar de Boro por ocasião do florescimento do milho (ou no início da

emissão do pendão), quanto à redução da incidência de pulgões e ao aumento do peso de grãos. Tais benefícios poderão ser viabilizados mediante a aplicação conjunta do referido nutriente com fungicidas na época de pré-pendoamento do milho.

O manganês (Mn), em decorrência da baixa capacidade da planta em extraí-lo do solo, na taxa requerida para altos rendimentos de grãos (produtividades superiores a 8.000 $kg.ha^{-1}$), devido à sua significativa interação com o meio, poderá ser fornecido, via foliar, em quantidades variáveis entre 100 e 300 $g.ha^{-1}$, por ocasião da emissão da 4ª folha e da 8ª folha.

A carência de manganês (Mn), principalmente como "fome oculta", além de reduzir significativamente o potencial produtivo do milho, devido a sua efetiva participação no fotossistema II da Fotossíntese (fotólise da água), também contribuirá para a maior incidência de pragas e doenças em função da redução dos mecanismos de defesa da planta, provocado pela sua carência.

Quanto ao molibdênio, cumpre ressaltar que sua utilização, via foliar (20 a 30 $g.ha^{-1}$) entre a emissão da 4ª e 6ª folha, tem sido realizada com sucesso objetivando incrementar a atividade da nitrato-redutase, influenciada por temperaturas extremas (elevadas ou baixas) e/ou por excesso de chuva na fase inicial de desenvolvimento do milho (FANCELLI, 2008 – no prelo).

Finalmente, cumpre ressaltar que em áreas sob sistema plantio direto por mais de 5 anos, apresentando elevado teor de matéria orgânica e/ou elevado teor de zinco no solo, o cuidado com a falta de cobre (Cu) deverá ser redobrada. A carência de cobre tem contribuído para o aumento da predisposição do milho à cercosporiose e ao complexo da mancha branca.

## ADUBAÇÃO VERDE

### Conceituação

A adubação verde consiste na utilização de determinadas espécies de plantas apresentando características peculiares, com a finalidade de melhorar ou preservar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, de forma a contribuir para o incremento da produtividade do sistema. As espécies vegetais empregadas para tal fim deverão ser destruídas e/ou manejadas mecanicamente ou quimicamente, em momento propício, objetivando a manifestação dos benefícios almejados.

### Importância

A adubação verde, prática milenar objetivando o aumento de produtividade das culturas e, equivocadamente, relegada à segundo plano, com o advento dos fertilizantes minerais concentrados, tem despertado novamente elevado interesse por parte dos produtores, em decorrência dos resultados alcançados com a sua plena adoção, tanto em culturas perenes como anuais. Na cultura de milho, o emprego de algumas espécies de

adubos verdes tem contribuído para a redução de patógenos de solo, para a redução de adubos nitrogenados, bem como para o incremento da produtividade do referido cereal.

## Novo enfoque

Por muito tempo, a prática da adubação verde foi empregada apenas como sinônimo de incorporação de nitrogênio ao sistema (50 a 80 $kg.ha^{-1}$) e, sobretudo, de uso exclusivo de leguminosas (fabáceas) para tal fim. Nos dias atuais, com base em alguns estudos, recomenda-se o uso de gramíneas (poáceas), tais como milheto, aveias (preta e branca), braquiárias e centeio, principalmente quando se objetiva a melhoria da estruturação do solo. E, nesse caso, cumpre salientar que, mesmo com o uso de gramíneas, pode-se evidenciar o aporte de nitrogênio ao sistema, até 30 $kg.ha^{-1}$, em função da presença de fixadores livres na rizosfera dessas espécies. Ainda, a condução adequada de braquiárias poderá ampliar significativamente a taxa de aeração do solo e a estabilidade de agregados, favorecendo o enraizamento da cultura subseqüente. Da mesma forma, o uso de leguminosas, além da tradicional contribuição de nitrogênio, também poderá proporcionar o aumento de fósforo no sistema pela capacidade de determinadas espécies solubilizar o fósforo indisponível para a maioria das plantas cultivadas, bem como pela facilidade de associação a fungos micorrízicos, como ocorre com o guandu, leucena e algumas crotalárias. Além dos benefícios provenientes do uso individualizado de espécies de adubos verdes, trabalhos recentes de pesquisa têm demonstrado que a semeadura de duas ou mais espécies associadas, têm propiciado melhores resultados quanto à produção e qualidade de fitomassa, estruturação do solo, redução da população de plantas daninhas e supressão de patógenos e pragas de solo. Todavia, a manifestação dos resultados mencionados será dependente da escolha criteriosa das espécies envolvidas no sistema e da proporção de semeadura utilizada. As associações mais apropriadas para a cultura de milho são: aveia preta + nabo forrageiro; milheto + labe-labe; braquiária + guandu; aveia preta + tremoço; aveia preta + ervilhaca; centeio + ervilhaca e centeio + tremoço, além de outras.

## Principais benefícios da adubação verde

O emprego criterioso da adubação verde, além das vantagens anteriormente mencionadas, também poderá manifestar inúmeros outros benefícios, dentre os quais merecem especial destaque: (i) aumento da CTC; (ii) manutenção da matéria orgânica do solo; (iii) aumento da capacidade de armazenamento de água do solo; (iv) melhoria da condutividade hidráulica; (v) incremento da aeração do solo; (vi) reciclagem (ou recuperação) de nutrientes; (vii) aumento da diversidade e atividade microbiana; (viii) redução da população de plantas daninhas e (ix) controle de determinadas espécies de nematóides.

## Escolha correta de adubos verdes

Apesar do emprego da adubação verde, em sistemas agrícolas de produção sempre resultar em benefícios significativos, a escolha das espécies para tal fim deverá levar em consideração a interação com a cultura principal, pois muitos aspectos relativos à alelopatia, exigências nutricionais e similaridade de patógenos e insetos-praga encontram-se envolvidos no processo. Antigos trabalhos de pesquisa desenvolvidos pelo IAPAR e IAC indicaram que as espécies de adubos verdes mais apropriadas para a cultura de milho são: (i) labe-labe (*Dolichos lablab*); (ii) tremoço branco (*Lupinus albus*); (iii) ervilhaca peluda (*Vicia villosa*) e (iv) nabo forrageiro (*Raphanus sativus*). Dentre os adubos verdes destacados, a ervilhaca peluda e o nabo forrageiro, não deveriam ser utilizados de forma rotineira, por algumas peculiaridades inerentes a cada espécie. A ervilhaca peluda, apesar de apresentar acentuada adaptabilidade a solos de média fertilidade e de produzir quantidade satisfatória de fitomassa e de nitrogênio, é muito exigente em frio, apresenta ciclo longo (difícil manejo) e pode favorecer a proliferação de nematóides de galha. O nabo forrageiro, embora seja um excelente subsolador natural e reciclador de nitrogênio, potássio e fósforo, pode favorecer o aumento de mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*), nematóides de galha (*Meloidogyne javanica*) e, principalmente, percevejo barriga verde (*Dichelops furcatus e Dichelops melacanthus*), importante praga inicial da cultura de milho. O uso do nabo forrageiro no sistema de produção de milho exige manejo (destruição) com antecedência mínima de 15 a 20 dias (efeito alelopático) e o levantamento detalhado da presença de ninfas de percevejo em sua palhada. Ainda, salienta-se, também, a necessidade do uso criterioso de aveia preta e de braquiárias como culturas antecedentes ao milho, pois segundo Reis (2001), o uso contínuo de aveia preta pode aumentar a incidência de podridões de colmo na cultura do milho. Da mesma forma, Fancelli (2003) ressalta que o desenvolvimento inicial de milho poderá ser prejudicado pela presença de palhada de *Brachiaria decumbens*, principalmente em condições de baixa pluviosidade após a semeadura do citado cereal.

## Influência na produtividade de milho

Inúmeros são os exemplos de aumento de produtividade e redução do custo de produção atribuído ao uso de adubos verdes em culturas anuais. Como exemplos recentes podem ser citados os trabalhos de pesquisa realizados por Fancelli (2002), em São Paulo e em Minas Gerais, que demonstraram que o uso de labe-labe antecedente à cultura de milho proporciona ganhos efetivos de produtividade da ordem de 8 a 15%. Outros ensaios conduzidos no Paraná, por Calegari (1999) e, em Goiás, por Fancelli e Nunes (2002), valendo-se do uso de ervilhaca peluda e guandu, respectivamente, resultaram em incrementos de até 10 a 20 sacos por ha de milho. Ainda, evidências práticas relacionadas a lavouras de milho, implantadas após o cultivo de labe-labe e tremoço branco, em Araras/SP,

possibilitaram a redução do uso de 120 kg.ha$^{-1}$ de uréia, sem a alteração significativa da produtividade de silagem (FANCELLI, 2005 - dados não publicados).

## População de plantas *versus* nutrição

O potencial produtivo da espécie está diretamente relacionado ao efetivo aproveitamento da radiação solar incidente na área, que pode ser assegurado pelo adequado número e distribuição espacial de plantas presentes na área.

Como norma geral, Fancelli (2000) afirma que *na ausência de restrição de fatores de produção, o ganho de produtividade é função do aumento da população de plantas*, que por sua vez é dependente da qualidade do colmo, do vigor das sementes e da escolha criteriosa do genótipo. Atualmente, os maiores rendimentos têm sido obtidos com o emprego de população entre 70.000 e 85.000 plantas por ha. Por outro lado, *em meio à restrição de fatores de produção, o ganho de produtividade será dependente da distribuição espacial de plantas*, que por sua vez pode ser influenciada pela qualidade da operação da semeadura. Hoje, em decorrência dos genótipos disponíveis no mercado e das limitações do ambiente de produção, a faixa de espaçamento responsável pelos maiores índices de produtividade corresponde a 50-70 cm, entre linhas.

Todavia, a perda de produtividade em populações abaixo do ideal é, freqüentemente, maior que a quebra de produtividade em populações acima da ideal. Portanto, o uso da população máxima de plantas, em lavouras de milho, em função do genótipo, local, nutrição e manejo, se constituem em fator preponderante de garantia de obtenção de elevados índices de produtividade.

Contudo, conforme relatado por Fancelli (2008), o emprego de populações superiores a 75.000 plantas por ha, na colheita, poderá implicar na ocorrência dos seguintes fenômenos: (i) maior grau de estiolamento de plantas e menor taxa de deposição de lignina e celulose no colmo (implicando em maior quantidade de N e K, cuja relação N:K, não deveria suplantar o valor 1,5); (ii) redução da atividade da Redutase do Nitrato (implicando em maior necessidade de Mo) e da Redutase do Nitrito (implicando em maior necessidade de Mn); (iii) aumento da esterilidade feminina e alteração do sincronismo pendão-espiga (implicando em maior necessidade de B e Ca) (iv) menor eficiência na partição de fotoassimilados (implicando no balanço adequado entre auxina, giberelina e citocinina) e (v) redução da taxa de fertilização de óvulos (implicando em maior necessidade de Citocinina).

## Considerações finais

A espécie *Zea mays* é considerada como uma das plantas mais bem dotadas fisiologicamente que se conhece, bem como de elevada capacidade produtiva. Todavia, a manifestação desses atributos depende das condições presentes no ambiente de produção. Assim, o conhecimento e o respeito às

exigências edafoclimáticas da espécie e a visão sistêmica da atividade, aliado ao estabelecimento de estratégias de manejo racionais e eficientes, assumem caráter imperioso, na garantia de rendimentos lucrativos e sustentáveis.

## BIBLIOGRAFIA

ARGENTA, G. Manejo do nitrogênio em milho implantado em semeadura direta, em dois ambientes. Porto Alegre, 1998.108p. (Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul).

BORTOLINI, C.G.; SILVA, P.R.F. da; ARGENTA, G.; FORSTHOFER, E.L. Rendimento de grãos de milho cultivado após aveia-preta em resposta a adubação nitrogenada e regime hídrico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.9, p.1101-1106, 2001.

BULL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L.T.; CANTARELLA, H. (Ed.). Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, POTAFOS, p.63-145, 1993.

CALEGARI, A. Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná. Circular Técnica IAPAR. n.80, p.5-117. Londrina, 1995.

CANTARELLA, H.; DUARTE, A.P.; ANDRADE, C.A. de. Manejo de nitrogênio e de matéria orgânica em milho no sistema plantio direto. p.59-83. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. (Org.). Milho - Tecnologia e Produção. Piracicaba, 2005.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho. p. 34-47. In: FANCELLI, A. L.(Org.). Milho - Nutrição e Adubação. Piracicaba, 2008.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. O uso de inibidor de urease para aumentar a eficiência da uréia. In. YAMADA, T.; CASTRO, P.R.C. (Coord.) Simpósio sobre Informações Recentes para Otimização da Produção Agrícola. Piracicaba, International Plant Nutrition Institute. Anais. CD Rom, 2007. 19p.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; GALLO, P.B.; BOLONHEZI, D.; ROSSETTO, R.; MARTINS, A.L.M.; PAULINO, V.T.; ALCÂNTARA, P. Ammonia losses of NBPT-treated urea under Brazilian soil conditions. In: International Fertilizer Association International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers, 2005, Frankfurt, Alemanha. IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers. Paris, França: International Fertilizer Industry Association, 2005. v.1. (CDRom).

CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; FLECHA, A.M.T.; PAVINATO, P.S.; VIEIRA, F.C.B.; MAI, M.E.M. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta-milho, no sistema plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 26, 2002. p.163-171.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação.Informações Agronômicas, Piracicaba, n.71, set. 1995. **Arquivo do Agronômico**, Piracicaba, n.2, p.1-9, set. 1995. (Encarte).

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L. Recomendação de adubação para a cultura de milho: teoria e prática. Piracicaba, Departamento de agricultura, 1992.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. Nutrição Mineral de Plantas. Londrina. Editora Planta. 402p. 2006.

FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. Fisiologia de produção e manejo da água e nutrientes na cultura de milho de alta produtividade. Piracicaba, POTAFOS (Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato), Departamento de Agricultura/ESALQ/USP, 1996. p.1-29.

FANCELLI, A.L. ; TUSUMANUMA, G. Nitrogênio e Enxofre nas culturas de milho e feijão. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. IPNI. Piracicaba. p.445-486. 2007.

FANCELLI, A.L. Influência da nutrição na ocorrência de doenças de plantas. In: FANCELLI, A.L. Milho: Nutrição e Adubação. Piracicaba. FEALQ. p.1-35. 2008.

FANCELLI, A.L. Milho e feijão: Elementos para manejo em agricultura irrigada. Departamento de Agricultura/ESALQ/USP. Piracicaba. 14p. 1994.

FANCELLI, A.L. Milho: Nutrição e Adubação. Piracicaba. FEALQ. 2008. 212p.

FANCELLI, A.L. Tabelas de conversão, eficiência, extração e exportação de macronutrientes e micronutrientes relativas á cultura de milho LPV/ESALQ/USP. 2008. 3p. (material didático – Disciplina Plantas Alimentícias).

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Coord.) Tecnologia da produção de Milho. Piracicaba, ESALQ/USP, Departamento de Agricultura, 1997. 174p.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Milho: fatores determinantes da Produtividade. Piracicaba, FEALQ, 2007. 219p.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Produção de Milho. Guaíba, Editora Agropecuária, 2000. 360p.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Tecnologia da produção de Milho. Piracicaba, FEALQ, 1999. 301p.

GALRÃO, E.Z. Métodos de correção da deficiência de zinco para o cultivo de milho num Latossolo Vermelho-Escuro sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, n.2, p.225-260. 1994.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; KORNDORFER, G.H.; PEREIRA, S. Balanço nitrogenado da adubação sólida e fluida de cobertura na cultura de milho em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.2, p.363-376, 2000.

LOHNIS, M.P. Effect of magnesium and calcium supply on the uptake of manganese by various crop plants. **Plant and soil**, The Hague, v.12, p.339-76, 1960.

MAAS, E.V.; MOORE, D.P.; MASON, B.J. Influence of calcium and magnesium on manganese absorption. **Plant Physiology**, v.44, p.796-800, 1969.

MALAVOLTA, E.; VITTI; G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 1989. 201p.

MARSHCHNER, H. Mineral Nutrition of higher plants. San Diego-CA. Academic Press. 2ª. edição. 1993. 889p.

MASCAGNI, J.R.; COX, F.R. Diagnosis and correction of manganese deficiency in corn. **Communications in Science Plant Analysis**. New York. v.15, n.11, p.1323-1333. 1984.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Boletim 100. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1995.

SLACK, A.V. Os produtos fertilizantes. In: Manual de fertilizantes. São Paulo, CEDER/PT, 1976. p.53-72.

TAYZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 3ª edição. Porto Alegre. Artmed. 2004. 719p.

TRENKEL, M.E. Improving fertilizer use efficiency: Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. International Fertilizer Industry Association, Paris, 1997, 151p.

VITTI, G.C.; LUZ, P.H. C. Utilização agronômica de corretivos agrícolas. Piracicaba. FEALQ/ESALQ/USP. 1997. 96p.

VITTI, G.C.; FAVARIN, J. Nutrição e manejo químico do solo para a cultura do milho. In: Tecnologia da produção de milho. FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Ed.). Piracicaba, 1997.

Anexo 1. Fatores de conversão para cálculo com fertilizantes e corretivos, e para interpretação de análise de solo. (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

| Fatores de conversão para fertilizantes e corretivos | | | |
|---|---|---|---|
| Fósforo (P) | | $P_2O_5$ x 0,437 = P | |
| | | P x 2,290 = $P_2O_5$ | |
| Potássio (K) | | $K_2O$ x 0,830 = K | |
| | | K x 1,205 = $K_2O$ | |
| Cálcio (Ca) | | Ca x 1,400 = CaO | |
| | | Ca x 2,500 = $CaCO_3$ | |
| | | CaO x 0,714 = Ca | |
| | | CaO x 1,786 = $CaCO_3$ | |
| Magnésio (Mg) | | Mg x 1,658 = MgO | |
| | | Mg x 3,469 = $MgCO_3$ | |
| | | MgO x 0,603 = Mg | |
| | | MgO x 2,092 = $MgCO_3$ | |
| Fatores de conversão para resultados de análise de solo | | | Obs. |
| P | 1 mg/dm$^3$ P | = 1 g/g de P | |
| | (= 1 ppm P) | = 1 mg.dm$^{-3}$ | |
| | | = 1 mg/kg de P | 2 |
| | | = 2 kg.ha$^{-1}$ de P | 2 |
| | | = 4,5 kg.ha$^{-1}$ de $P_2O_5$ | 2 |
| K | 1 cmol$_c$/dm$^3$ | = 391 ppm de K | 1 |
| | (= meq K/100 cm$^3$) | = 10 mmol $_c$ K.dm$^{-3}$ | |
| | | = 782 kg.ha$^{-1}$ de K | 2 |
| | | = 942 kg.ha$^{-1}$ de $K_2O$ | 2 |
| Ca | 1 cmol$_c$/dm$^3$ | = 200 ppm de Ca | 1 |
| | (= meq Ca/100 cm$^3$) | = 10 mmol$_c$ Ca.dm$^{-3}$ | |
| | | = 400 kg.ha$^{-1}$ de Ca | 2 |
| | | = 560 kg.ha$^{-1}$ de CaO | 2 |
| | | = 1000 kg.ha$^{-1}$ de $CaCO_3$ | 2 |
| Mg | 1 cmol$_c$/dm$^3$ | = 121,5 ppm de Mg | 1 |
| | (= meq Mg/100 cm$^3$) | = 10 mmol$_c$ Mg.dm$^{-3}$ | |
| | | = 243 kg.ha$^{-1}$ de Mg | 2 |
| | | = 403 kg.ha$^{-1}$ de MgO | 2 |
| | | = 843 kg.ha$^{-1}$ de $MgCO_3$ | 2 |
| Carbono | | = % C x 1,72 = % de matéria orgânica | |
| 1 t.ha$^{-1}$ de Gesso (12% de Ca) | | = 5 mmol$_c$ Ca.dm$^{-3}$ *(gesso com 12-17% de umidade)* | |
| Micronutrientes – 1 mg/dm$^3$ | | = 2 kg.ha$^{-1}$ *(válido para todos os micronutrientes)* | |

*Considerando densidade do solo de 1,0 g/cm$^3$ (para obtenção do valor, multiplica-se o valor assinalado pela densidade do solo de interesse);*
*(2) Considerando a profundidade de 20 cm.*

Anexo 2. Valores genéricos de eficiência (Ef) das fontes de nutrientes utilizados em programas e cálculos de recomendação de adubação para as plantas cultivadas (FANCELLI, 2008).

| Nitrogênio (%) | | | Fósforo (%) | | | Potássio (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Incorporado | Superfície | | Teor de argila | | | Pré- | Semeadura |
| Semeadura e Cobertura | Uréia | S.A. | < 20 % | 20-50% | >50 % | semea-dura | e Cobertura |
| 80 | 50-70 | 80 | 60-80 | 50-70 | 20-40 | 85 | 70-80 |

# MANEJO DE POPULAÇÃO DE DE GENÓTIPOS DE MILHO[2]

**Durval Dourado Neto e Antonio Luiz Fancelli**

Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Dr. e Docente do Departamento de Produção Vegetal, ESALQ, Universidade de São Paulo.
C. Postal 9, Piracicaba-SP, 13418-900, +(19)3429.4190 e +(19)3429.4115
dourado@esalq.usp.br e fancelli@esalq.usp.br

**Pedro Abel Vieira Júnior**

Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Dr. e Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Transferência de Tecnologia, Escritório de Sete Lagoas. Caixa Postal 6062, Cidade Universitária.
Campinas, SP 13083-970. +(19)3749.8896
pedro@campinas.snt.embrapa.br

**Paulo Augusto Manfron**

Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Dr. e Docente do Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria, CCR,
Cidade Universitária, Camobi, Santa Maria-RS, 97105-900, +(55)3220.8902, r. 244
manfronp@smail.ufsm.br

## INTRODUÇÃO

A produção dos vegetais depende da disponibilidade de $CO_2$, água, nutrientes e radiação solar, os quais, com exceção da radiação, podem ser manejados pelo homem não se constituindo em empecilho ao aumento de produtividade (MACHADO, 1985; DUVICK, 1992; MACHADO et al., 2001).

A relação entre área foliar e atividade fotossintética é muito conhecida, o que, considerando as dificuldades inerentes à melhoria no processo de fixação do $CO_2$, sugere alterações na arquitetura do dossel, com ênfase na otimização de interceptação da radiação solar (MACHADO, 1995; SACHULZE; CALDWELL, 1995).

Em passado recente as populações de plantas de milho recomendadas para a produção de grãos têm mudado consistentemente em conseqüência de alterações no manejo cultural, avanços no melhoramento de plantas e melhor entendimento das relações entre os parâmetros climáticos e a produção biológica vegetal. O melhoramento alterou a arquitetura da planta de milho variando o ângulo de inserção da folha no colmo, reduzindo a sua

---

[2] Este trabalho foi extraído das seguintes publicações: (i) VIEIRA JÚNIOR, P.A.; DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L.; MANFRON, P.A.; PEREIRA, C.R. População e distribuição espacial de plantas de milho. In: DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L. **Milho**: tecnologia & produção. Piracicaba: ESALQ/USP, 2005, p.34-58; e (ii) PALHARES, M.; VIEIRA, P.A.; DOURADO NETO, D.; MANFRON, P.A.; MEDEIROS,S.P.L.; ROMANO, M.R. Efeito da população de plantas e do espaçamento sobre a produtividade de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, V.2, N.3, p.63-77. 2003.

estatura e o seu comprimento do pendão, diminuindo o número e o tamanho das folhas, entre outros (BORÉM, 2001; ARGENTA et al., 2001). Dessa forma, populações de plantas de milho passaram de 3 pl.m$^{-2}$ (década de 30) para 6,5 pl.m$^{-2}$ (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000), podendo chegar a 9 pl.m$^{-2}$ (ARGENTA et al., 2001).

As alterações nos arranjos espaciais das plantas de milho são realizadas de modo que o dossel das plantas intercepte mais eficientemente a radiação fotossinteticamente ativa, o que irá influenciar positivamente sobre o rendimento de grãos da cultura, quando outros fatores de produção não forem limitantes (OTTMAN; WELCH, 1989). Assim, o estudo da população e do arranjo espacial das plantas é um dos modos mais eficientes de interferir na interceptação da radiação e, conseqüentemente, na variação do rendimento de grãos, o que é verificado por vários autores como Cardwell (1982) e Sangoi (2001).

A arquitetura do dossel é caracterizada, principalmente, pela distribuição vertical e horizontal da área foliar, sendo descrito pelo valor e homogeneidade espacial do índice de área foliar (IAF, m$^2$ de folha por m$^2$ de superfície de solo).

Para determinação do IAF, há necessidade de medição da área foliar, a qual requer procedimentos laboriosos, morosos e, muitas vezes, imprecisos (VARLET GRANCHER et al., 1993). Com o propósito de minimizar essas limitações, foram desenvolvidos modelos matemáticos para estimar a área foliar individual, a exemplo da correção do produto entre o comprimento e a largura da folha por um fator variando entre 0,73 a 0,75 (Montgomery, 1911). Em geral, esses modelos são estudados em genótipos de clima temperado, contudo, Vieira Júnior et al. (2005), corroborando Elings (2000), consideram que o fator 0,75 é o mais indicado para os genótipos de clima tropical ou subtropical, predominantes na atualidade no Brasil.

Considerando a relação entre IAF e atividade fotossintética, teoricamente, a arquitetura do dossel e o conseqüente IAF deve maximizar a produtividade da planta. Entretanto, no caso do milho, a produção em função do IAF apresenta comportamento quadrático, aumentando linearmente até um máximo, denominado ponto crítico, após o qual a produção é limitada pelo sombreamento das folhas superiores sobre as inferiores que, em geral, não é crítico até o estádio fenológico de oito folhas (DWYER et al., 1992; DOURADO NETO et al., 2001; MADDONI et al., 2001; PALHARES et al., 2003). Portanto, é possível inferir que a radiação suficiente para saturar as folhas superiores não é suficiente para saturar a fotossíntese da cultura, havendo necessidade da incidência de maior radiação sobre as folhas inferiores, fluxo de fótons fotossintéticos mínimo de 200 µmol.m$^{-2}$.s$^{-1}$ (DWYER et al., 1992). Através do conhecimento do IAF e área foliar das plantas de milho é possível melhorar a distribuição espacial das plantas a campo bem como a sua população.

A arquitetura do dossel é função, principalmente, das dimensões das folhas e dos ângulos entre os planos das folhas e o plano horizontal, bem

como, dos ângulos entre os eixos dos comprimentos das folhas e o eixo Norte-Sul (azimute). Entretanto, Em geral, as plantas são hábeis em adequar a arquitetura de parte aérea em função do ambiente, característica denominada por plasticidade morfológica (LARCHER, 1995), assim, a manipulação do arranjo de plantas é dada por alterações na densidade de semeadura, na distância entre as linhas de semeadura, distribuição das plantas na linha e na uniformidade de emergência das plantas.

Com a recomendação de novos genótipos e técnicas de manejo para a cultura de milho, vários estudos têm sido realizados para a determinação da melhor população e distribuição espacial de plantas. Em geral, os estudos são morosos, pois, referem-se à avaliação de diferentes distribuições espaciais e populações de plantas de um genótipo em ambientes distintos (DUARTE; PATERNIANI, 2000; MADDONI, 2001). Assim, Fancelli e Dourado Neto (2000) e Molin (2000) consideram essenciais, e ao mesmo tempo escassas, informações para quantificar a interação desses efeitos com a oferta ambiental, notadamente aspectos relacionados à radiação solar.

Considerando o exposto, o objetivo do presente trabalho foi apresentar uma teoria sobre as interações entre a arquitetura do dossel de milho e a radiação solar local e, calcado nessa teoria, propor uma metodologia para a estimativa da população e distribuição espacial de plantas de milho.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foi instalado um experimento na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, em área experimental situada a 22º41'55" de latitude sul, 47º37'47" de longitude oeste e a 509 m de altitude. A semeadura foi realizada no dia 2/03/2004 de modo a distribuir os 44 genótipos (três variedades, oito híbridos duplos, oito híbridos triplos, 10 híbridos simples e 15 linhagens), em quatro repetições. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, sendo que as parcelas compuseram-se de cinco linhas com quatro metros de comprimento espaçadas em 0,80 m. No estádio fenológico de quatro folhas procedeu-se ao desbaste das plantas excedentes com o propósito de obter as populações de plantas recomendadas ($P_{rec}$, pl.ha$^{-1}$) pelos fornecedores das sementes (Tabela 6.1) para o local e época do ano em questão. O experimento foi mantido sob irrigação, sendo adotadas práticas fitotécnicas para maximizar a produção das plantas.

Entre os dias 4/05/2004 e 21/05/2004, ou seja, 10 dias após o florescimento de cada genótipo, foram coletadas as folhas de oito plantas da linha central em cada parcela. Imediatamente antes da coleta foram medidos os ângulos foliares individuais e, após a coleta, foram medidos os comprimentos, as larguras e, com emprego de planímetro, as áreas das folhas, correspondendo o somatório das áreas das folhas de uma planta à área foliar da planta. Após, foram calculados as médias dos ângulos foliares (α, º), dos comprimentos (CF, cm), das larguras (LF, cm) e das áreas foliares (AF, cm$^2$) para cada genótipo.

Considerando o exposto por Elings, 2000 e Vieira Júnior et al. (2005) sobre a arquitetura da planta de milho, notadamente quanto à predominância da orientação do eixo do comprimento das folhas perpendicular à linha de semeadura, é possível inferir que a distribuição espacial ideal de plantas entre linhas (EL, cm) de semeadura e entre plantas (EP, cm) na linha de semeadura é dada pela largura e pela projeção horizontal da folha na planta. Assim, com base nas médias de largura (LF, cm), comprimento (CF, cm) e ângulo foliar (α, º), determinou-se, para cada genótipo, a distribuição espacial de plantas pelas seguintes equações, bem como, a população máxima de plantas ($P_{max}$, pl.ha$^{-1}$).

$$EL = CF.\cos(90 - \alpha)$$

$$EP = LF$$

A despeito da plasticidade morfológica da parte aérea da planta de milho segundo a população e distribuição espacial de plantas, para efeito de estimativa, considerou-se o produto das áreas foliares médias (AF, cm$^2$) pela população máxima de plantas ($P_{max}$, pl.ha$^{-1}$) como o índice de área foliar máximo ($IAF_{max}$, m$^2$.m$^{-2}$) para cada genótipo, assim como, foi denominado por índice de área foliar recomendado ($IAF_{rec}$, m$^2$.m$^{-2}$), o produto da área foliar média (AF, cm$^2$) pelas populações de plantas ($P_{rec}$, pl.ha$^{-1}$) apresentadas na Tabela 6.1.

Considerando a população ($P_{max}$, pl.ha$^{-1}$) e o índice de área foliar ($IAF_{max}$, m$^2$.m$^{-2}$) máximos para cada genótipo, calculou-se, para o período compreendido entre o primeiro (primeiro de janeiro) e o 365 (31 de dezembro) dia do calendário Juliano a radiação fotossinteticamente ativa ($PAR_J$, µmol.m$^{-2}$.s$^{-1}$) incidente sobre a folha inferior no perfil da planta (folha de ordem 1), nas latitudes zero, 10, 20 e 30º S. Para tanto, estimou-se a radiação global diária ($Rg_J$, MJ.m$^{-2}$.dia$^{-1}$) nas localidades citadas considerando seis horas diárias de brilho solar.

Tabela 6.1. Base genética (BG), população de plantas recomendadas, (Prec, $pl.ha^{-1}$), distâncias entre plantas (EP, cm), entre linhas (EL, cm) e população de plantas (Pmax, $pl.ha^{-1}$) considerando as dimensões foliares e ângulo foliar médios, população de plantas (Potm, $pl.ha^{-1}$) considerando a atenuação da radiação pelo dossel, bem como, os respectivos índices de área foliar recomendado (IAFrec, $m^2.m^{-2}$), máximo (IAFmax, $m^2.m^{-2}$) e ótimo (IAFotm, $m^2.m^{-2}$) para 44 genótipos de milho (G).

| G | BG* | EL | EP | $P_{rec}$ | $P_{max}$ | $P_{otm}$ | $IAF_{rec}$ | $IAF_{max}$ | $IAF_{otm}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | L | 88,0 | 7,0 | 80.000 | 162.399 | 98.745 | 2,3 | 4,6 | 2,9 |
| 2 | HT | 72,6 | 7,5 | 75.000 | 183.603 | 91.173 | 2,4 | 6,0 | 2,9 |
| 3 | HD | 83,0 | 9,5 | 60.000 | 126.823 | 63.471 | 2,8 | 5,9 | 2,9 |
| 4 | HS | 77,2 | 8,0 | 65.000 | 162.015 | 70.236 | 2,7 | 6,6 | 3,1 |
| 5 | HT | 70,3 | 6,5 | 80.000 | 218.972 | 98.698 | 2,0 | 5,4 | 2,3 |
| 6 | L | 61,4 | 6,5 | 100.000 | 250.708 | 140.015 | 2,0 | 5,0 | 2,8 |
| 7 | HT | 82,4 | 8,0 | 70.000 | 151.688 | 82.670 | 2,3 | 5,0 | 2,9 |
| 8 | L | 72,0 | 5,0 | 100.000 | 277.808 | 159.128 | 1,8 | 5,1 | 2,7 |
| 9 | L | 53,8 | 5,5 | 100.000 | 337.865 | 167.508 | 1,8 | 6,1 | 3,0 |
| 10 | HS | 90,1 | 6,5 | 75.000 | 170.776 | 94.986 | 2,1 | 4,8 | 2,9 |
| 11 | HD | 107,8 | 9,0 | 50.000 | 103.035 | 57.283 | 2,4 | 4,9 | 2,9 |
| 12 | L | 91,2 | 5,0 | 100.000 | 219.301 | 145.306 | 1,8 | 3,9 | 2,8 |
| 13 | HS | 69,0 | 6,5 | 80.000 | 222.926 | 94.922 | 2,6 | 7,3 | 3,0 |
| 14 | HS | 74,7 | 7,0 | 85.000 | 191.291 | 101.890 | 2,2 | 5,0 | 2,9 |
| 15 | HS | 70,4 | 8,0 | 70.000 | 177.491 | 82.496 | 2,6 | 6,5 | 3,2 |
| 16 | HT | 80,2 | 7,0 | 70.000 | 178.077 | 84.055 | 2,5 | 6,2 | 3,1 |
| 17 | L | 55,6 | 5,0 | 100.000 | 359.444 | 199.773 | 1,2 | 4,8 | 2,8 |
| 18 | HS | 93,0 | 6,0 | 75.000 | 179.211 | 90.197 | 2,5 | 5,9 | 3,0 |
| 19 | HD | 105,5 | 8,0 | 55.000 | 118.441 | 69.899 | 2,1 | 4,5 | 2,8 |
| 20 | L | 46,5 | 7,0 | 100.000 | 307.239 | 148.375 | 2,0 | 6,1 | 2,9 |
| 21 | HD | 102,0 | 9,0 | 50.000 | 108.932 | 54.825 | 2,5 | 5,4 | 3,0 |
| 22 | HS | 63,4 | 6,5 | 90.000 | 242.687 | 107.371 | 2,4 | 6,3 | 3,1 |

Tabela 6.1. Base genética (BG), população de plantas recomendadas, (Prec, pl.ha$^{-1}$), distâncias entre plantas (EP, cm), entre linhas (EL, cm) e população de plantas (Pmax, pl.ha$^{-1}$) considerando as dimensões foliares e ângulo foliar médios, população de plantas (Potm, pl.ha$^{-1}$) considerando a atenuação da radiação pelo dossel, bem como, os respectivos índices de área foliar recomendado (IAFrec, cm$^2$.cm$^{-2}$), máximo (IAFmax, cm$^2$.cm$^{-2}$) e ótimo (IAFotm, cm$^2$.cm$^{-2}$) para 44 genótipos de milho (G). (Continuação)

| G | BG* | EL | EP | $P_{rec}$ | $P_{max}$ | $P_{otm}$ | $IAF_{rec}$ | $IAF_{max}$ | $IAF_{otm}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 23 | HD | 97,5 | 7,5 | 65.000 | 136.745 | 69.466 | 2,5 | 5,3 | 2,9 |
| 24 | HT | 88,5 | 8,0 | 65.000 | 141.243 | 70.783 | 2,7 | 5,8 | 2,9 |
| 25 | L | 56,6 | 5,0 | 100.000 | 353.092 | 199.341 | 1,1 | 4,0 | 2,3 |
| 26 | L | 70,5 | 4,5 | 100.000 | 315.395 | 193.377 | 1,4 | 4,4 | 2,9 |
| 27 | L | 63,2 | 4,5 | 100.000 | 351.680 | 198.712 | 1,1 | 4,0 | 2,3 |
| 28 | L | 85,5 | 4,5 | 100.000 | 260.038 | 167.568 | 1,3 | 4,0 | 2,8 |
| 29 | HT | 96,0 | 8,0 | 65.000 | 130.208 | 75.329 | 2,7 | 5,3 | 2,9 |
| 30 | VC | 141,9 | 8,0 | 45.000 | 88.118 | 50.979 | 2,4 | 4,7 | 2,7 |
| 31 | HD | 109,5 | 8,5 | 55.000 | 107.410 | 60.972 | 2,4 | 4,6 | 2,8 |
| 32 | L | 66,5 | 6,0 | 100.000 | 250.627 | 133.579 | 2,0 | 5,1 | 2,9 |
| 33 | VC | 136,4 | 14,5 | 40.000 | 50.561 | 36.540 | 4,8 | 4,8 | 3,4 |
| 34 | HS | 56,9 | 7,0 | 75.000 | 250.890 | 92.757 | 2,8 | 9,3 | 3,1 |
| 35 | HS | 83,4 | 6,5 | 80.000 | 184.496 | 90.165 | 2,4 | 5,5 | 3,0 |
| 36 | HS | 50,1 | 6,0 | 95.000 | 332.419 | 114.630 | 2,4 | 8,6 | 3,2 |
| 37 | L | 63,8 | 7,0 | 95.000 | 223.745 | 113.737 | 2,4 | 5,7 | 3,0 |
| 38 | HT | 72,4 | 10,0 | 50.000 | 138.123 | 59.286 | 2,5 | 7,0 | 3,1 |
| 39 | HD | 109,3 | 8,3 | 45.000 | 110.870 | 58.701 | 2,4 | 5,8 | 2,8 |
| 40 | HD | 99,5 | 11,0 | 45.000 | 91.340 | 45.516 | 3,1 | 6,4 | 3,0 |
| 41 | HT | 79,5 | 9,5 | 50.000 | 132.486 | 55.432 | 3,0 | 7,9 | 3,1 |
| 42 | L | 68,5 | 6,0 | 100.000 | 243.157 | 116.441 | 2,5 | 6,1 | 3,0 |
| 43 | L | 73,0 | 5,8 | 100.000 | 238.237 | 120.927 | 2,5 | 6,0 | 2,9 |
| 44 | VC | 108,2 | 11,5 | 40.000 | 80.398 | 41.917 | 3,5 | 6,2 | 3,2 |

*L: Linhagem. HS: Híbrido Simples. HT: Híbrido Triplo. HD: Híbrido Duplo. VC: Variedade Cultivada.

Segundo Pereira et al (1997) e Vianello (2000), a radiação solar incidente no topo da atmosfera em um local caracterizado pela latitude (Φ, º), é função da declinação solar ($\delta_J$, º) e do ângulo horário ao nascer do sol ($H_J$, º) diários, apresentados nas seguintes equações, respectivamente.

$$\delta_J = 23{,}45.sen\left[\frac{360}{365}(284+J)\right]$$

$$H_J = \arccos[-\tan(\varphi).\tan(\delta)]$$

Desconsiderando a atenuação pela atmosfera, a radiação global diária ($Ro_J$, MJ.m$^{-2}$.dia$^{-1}$) , pode ser estimada por:

$$Ro_J = 37{,}586.Dr_J.\left[\frac{\pi}{180}.H_J.\text{sen}(\phi).\text{sen}(\delta_J)+\cos(\phi).sen(H_J)\right]$$

em que $Dr_J$ é a distância relativa da terra ao sol no dia Juliano (J, dia), sendo estimado por:

$$Dr_J = 1+0{,}033.\cos\left(\frac{360.J}{365}\right)$$

A radiação global ao passar a atmosfera interage com seus componentes resultando na radiação global incidente sobre uma superfície horizontal na superfície da terra ($Rg_J$, MJ.m$^{-2}$.dia$^{-1}$), que é estimada por:

$$Rg_J = Ro.\left[0{,}29\cos(\phi)+0{,}52.\frac{n_J}{N_J}\right]$$

em que n é a duração do brilho solar medido ($n_J$, horas) e N é o fotoperíodo ($N_J$, horas) diários estimado por:

$$N_J = \frac{2H_J}{15}$$

Para estimativa da radiação incidente no dossel ($Rg_{D_J}$, MJ.m$^{-2}$.dia$^{-1}$), considerou-se o zênite ($Z_J$, º) ao meio do dia, ou seja, o co-seno do ângulo horário (h, º) é igual a 1.

$$Rg_{D_J} = Rg_J.\left[1-0{,}0557.\left(\frac{2}{1+1{,}6.sen(Z_J)}\right)\right]$$

$$\text{sen}(Z_J) = \text{sen}(\varphi).\text{sen}(\delta_J)+\cos(\varphi).\cos(\delta_J).\cos(h)$$

A radiação fotossinteticamente ativa incidente diariamente no dossel ($PAR_J$, µmol.m$^{-2}$.s$^{-1}$) foi considerada como 50% da radiação incidente no dossel, sendo convertida de MJ.m$^{-2}$.dia$^{-1}$ para µmol.m$^{-2}$.s$^{-1}$.

Segundo Spitters et al. (1986), a fração difusa na radiação da superfície terrestre (τdf) pode ser estimada em função da transmitância na atmosfera (τa) por:

| | | |
|---|---|---|
| $\tau df = 1$ | se | τa < 0,07 |
| $\tau df = 1-0{,}23.(\tau a-0{,}07)^2$ | se | 0,07 ≤ τa < 0,35 |
| $\tau df = 1{,}33-1{,}46\tau a$ | se | 0,35 ≤ τa < 0,75 |

$$\tau df = 0{,}23 \qquad \text{se} \quad \tau a \geq 0{,}75$$

A radiação fotossinteticamente ativa ($PAR_J$, $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$), também é composta das frações direta e difusa, sendo a proporção de radiação PAR difusa ($PAR_{df}$, $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$) na radiação PAR total dada por:

$$\mathrm{PAR}_{\mathrm{df}\,J} = PAR_J.\left[1+0{,}3*\left(1-\tau df^{\,2}\right)\right]\left(\frac{\tau df}{(1+1-\tau df^{\,2}).sen^2(Z_J).\cos^3(Z_J)}\right)$$

Considerando a PAR incidente no dossel ($PAR_J$, $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$) e sua fração difusa ($PAR_{df_J}$, $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$) estudou-se a transmissão de ambas no dossel considerando a transmitância das folhas, a área foliar acumulado na profundidade do dossel e o ângulo de incidência da radiação com emprego da seguinte equação:

$$\tau dr = PAR_{dr}.e^{-k.[1-g_{dr}.(1-a).IAF]}$$

em que a é a transmitância da radiação PAR pela folha (0,03) e $g_{dr}$ é função do zênite, dado que:

$$g_{dr} = e^{-1{,}5.ELADP}.(-0{,}2+0{,}7.Z^2)+0{,}2.Z^2+0{,}3$$

em que k é o coeficiente de extinção da radiação representado pela área de sombra em uma superfície horizontal sob o dossel dividida pela IAF (LANGE et al., 1985; WANG; JARVIS, 1988).

Para estimação do coeficiente de extinção da radiação no dossel (k) ao meio do dia, considerou-se o modelo elipsoidal de distribuição do ângulo de inclinação das folhas (CAMPBELL, 1986; WANG; JARVIS, 1988; VARLET-GRANCHER et al., 1993) sendo função das projeções vertical e horizontal das folhas, calculadas em função do ângulo foliar (α, º) e do comprimento (CF, cm) médios.

$$k_{(ELADP,Z)} = \sqrt{ELADP+\tan^2(Z)} \Big/ ELADP+1{,}702.(ELADP+1{,}12)^{-0{,}708}$$

$$ELADP = \tan(a_m.CF)$$

A transmitância da PAR difusa (τdf) pelo dossel considera os parâmetros $A_{ELADP}$, $B_{ELADP}$ e $C_{ELADP}$, além do parâmetro La, que se refere ao IAF quando considerado a transmitância da folha (0,03).

$$\tau df = PAR_{df}.[e^{-La}+A_{ELADP}.La^3.e^{-B_{ELADP}*La^{C_{ELADP}}}$$

$$A_{ELADP} = 1 \Big/ 0{,}15.ELADP^{1{,}38}+0{,}007$$

$$B_{ELADP} = 4{,}32+2{,}6.e^{-2{,}75\,ELADP}$$

$$C_{ELADP} = -0{,}57-0{,}23.e^{-1{,}4\,ELADP}$$

$$C_{ELADP} = -0{,}57-0{,}23.e^{-1{,}4\,ELADP}$$

Considerando o exposto sobre a dinâmica da radiação fotossinteticamente ativa no dossel, a transmitância da radiação pelo dossel ($\tau_{dossel}$) pode ser estimada por:

$$\tau_{dossel} = PAR.e^{-K*[1-g_{dr}*(1-a)*IAF]} - PAR.[e^{-La} + A_{ELADP}.La^3.e^{-B_{ELADP}*La^{C_{ELADP}}}$$

Uma questão a ser considerada é que a população máxima de plantas ($P_{max}$, pl.ha$^{-1}$), estimada pelas duas primeiras equações, possa implicar em índice de área foliar maior que o suportado pela cultura. Vieira Júnior et al. (2005) cita autores os quais sugerem que o índice de área foliar máximo numa cultura seja suficiente para permitir a incidência de radiação solar na última camada de folhas do dossel, no mínimo, igual ao ponto de compensação lumínico da espécie em questão. Assim, considerando que a distância entre linhas é dada pela maior projeção horizontal foliar e, portanto, seu incremento contribui significativamente menos que o incremento na distância entre plantas para a transmissão da radiação no dossel, as distâncias entre plantas foram incrementadas sucessivamente em 1% até que, seguindo os procedimentos descritos nos parágrafos anteriores sobre a dinâmica da radiação no dossel, o índice de área foliar, denominado como índice de área foliar ótimo ($IAF_{otm}$, m$^2$.m$^{-2}$), permitisse sobre a folha inferior no perfil da planta de 200 µmol.m$^{-2}$.s$^{-1}$, considerado como o ponto de compensação lumínico.

A partir das distâncias entre plantas ajustadas para a radiação incidente mínima de 200 µmol.m$^{-2}$.s$^{-1}$ sobre a folha inferior da planta, denominada como distancia entre plantas ótima ($EP_{otm}$, cm), calculou-se a população de plantas ótima ($P_{otm}$, pl.ha$^{-1}$) e o IAF ótimo ($IAF_{otm}$, m$^2$.m$^{-2}$) correspondentes, considerados adequados para cada genótipo por ocasião do estádio fenológico do florescimento.

Da leitura de Palhares et al. (2003) e Vieira Júnior et al. (2003) é possível inferir que são aceitáveis diferenças menores que 10% entre a população de plantas recomendada e a população de plantas efetivamente cultivada quando considerado o rendimento de grãos de milho, sendo esse limite usual nos cultivos brasileiros de milho. Entretanto, quando essas diferenças são maiores que 50% compromete-se significativamente o rendimento de grãos. Assim, considerou-se que as diferenças entre as populações estimadas, população máxima ($P_{max}$, pl.ha$^{-1}$) e população ótima ($P_{otm}$, pl.ha$^{-1}$), com as respectivas populações recomendadas ($P_{rec}$, pl.ha$^{-1}$) não foram significativas quando suas relações foram iguais ou menores que ±10%. Quando as relações entre as populações estimadas e as respectivas populações recomendadas foram maiores que ±50% considerou-se que as diferenças entre as populações estimadas e as populações recomendadas foram significativas, e, nos demais casos pouco significativas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando o exposto por Elings (2000) e Vieira Júnior et al. (2005) sobre a orientação predominantemente perpendicular do comprimento das folhas à linha de semeadura é possível inferir sobre a validade da aplicação da largura e da projeção horizontal foliar, apresentadas nas duas primeiras equações, como determinantes das distâncias mínimas entre plantas na linha de semeadura (EP, cm) e entre linhas de semeadura (EL, cm),

respectivamente, bem como, da população ($P_{max}$, pl.ha$^{-1}$) e IAF ($IAF_{max}$, cm$^2$.cm$^{-2}$) máximos. Entretanto, conforme apresentado na Tabela 6.1, as distâncias entre linhas (EL, cm) e entre plantas (EP, cm) estimadas com base nas dimensões de comprimento (CF, cm), largura (LF, cm) e ângulo foliar médios (α, º), resultaram em populações de plantas ($P_{max}$, pl.ha$^{-1}$),em geral, maiores que o dobro das populações recomendadas e, conseqüentemente, também em IAF ($IAF_{max}$, cm$^2$.cm$^{-2}$) significativamente maiores que os aceitáveis citados por Fancelli e Dourado Neto (2000) e Vieira Júnior et al. (2005).

A exceção foi o genótipo 33 cuja população recomendada foi de 50.000 e a máxima estimada foi de 50.561 pl.ha$^{-1}$ (1,12%), portanto, inferior ao limite de 10%.

Esses resultados contrariam parcialmente a premissa estabelecida por Vieira Júnior et al. (2005) em determinar a população e a distribuição espacial de plantas de milho com base na arquitetura do dossel. A despeito de contrariar parcialmente Vieira Júnior et al. (2005), os resultados não invalidam as relações estabelecidas pelos autores sobre radiação solar incidente, arquitetura do dossel e distribuição espacial de plantas, antes, sugerem a necessidade de considerar a atenuação da radiação no dossel, conforme comentado no item materiais e métodos.

Quando considerada a latitude de Piracicaba/SP (22º40'S), a data de florescimento média de florescimento em 10/05 (130º dia Juliano), o período de insolação (6 horas) e a atenuação da radiação pelo dossel, verificou-se que, para radiações incidentes sobre a folha inferior iguais ao ponto de compensação lumínico (200 µmol.m$^{-2}$.s$^{-1}$), as populações de plantas ($P_{otm}$, pl.ha$^{-1}$) variaram entre 36.540 a 199.773 pl.ha$^{-1}$ (Tabela 6.1), portanto, inferiores às populações ($P_{max}$, pl.ha$^{-1}$) estimadas. e mais coerentes às populações recomendadas ($P_{rec}$, pl.ha$^{-1}$) apresentadas na Tabela 6.1.

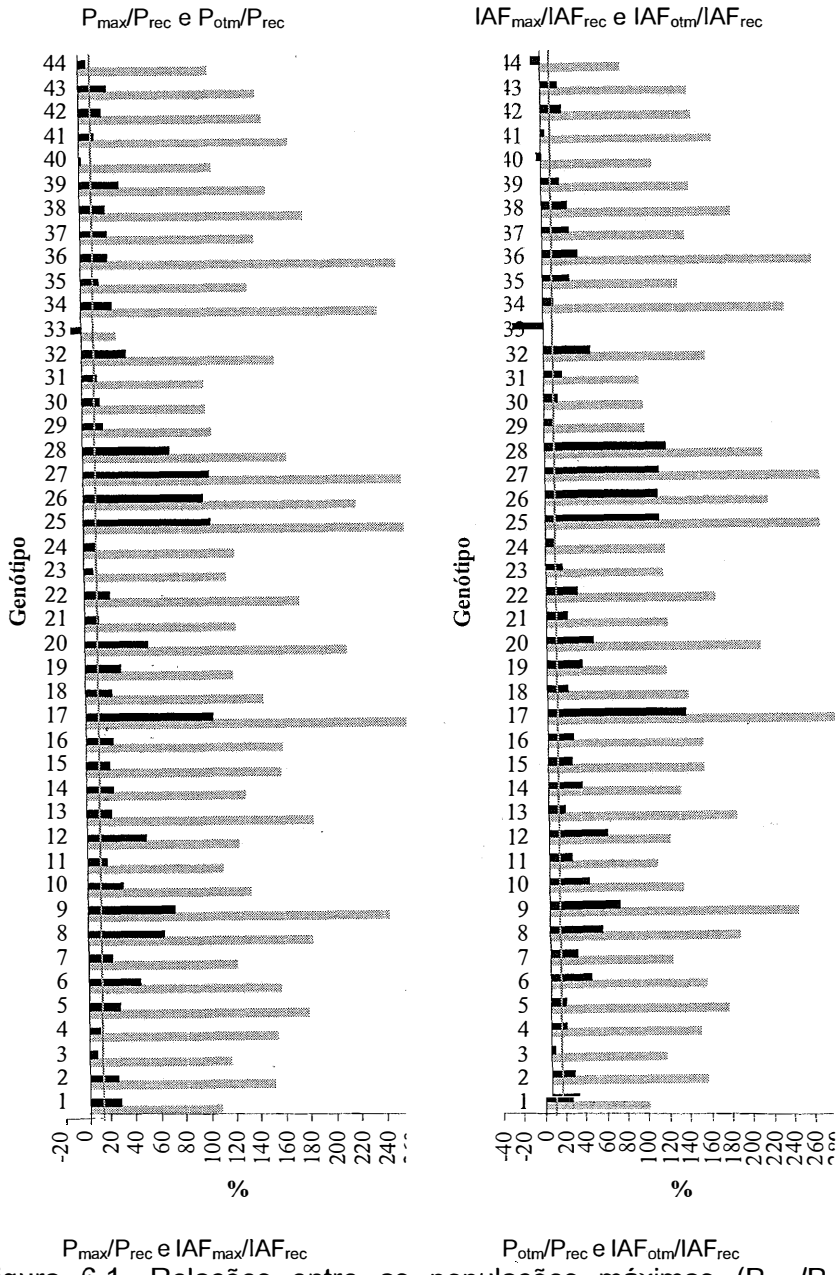



Figura 6.1. Relações entre as populações máximas ($P_{max}/P_{rec}$) e ótima ($P_{otm}/P_{rec}$) com as respectivas populações recomendadas e relações entre $IAF_{max}$ e $IAF_{rec}$ ($IAF_{max}/IAF_{rec}$) e $IAF_{rec}$ e $IAF_{otm}$ ($IAF_{otm}/IAF_{rec}$) para 44 genótipos de milho.

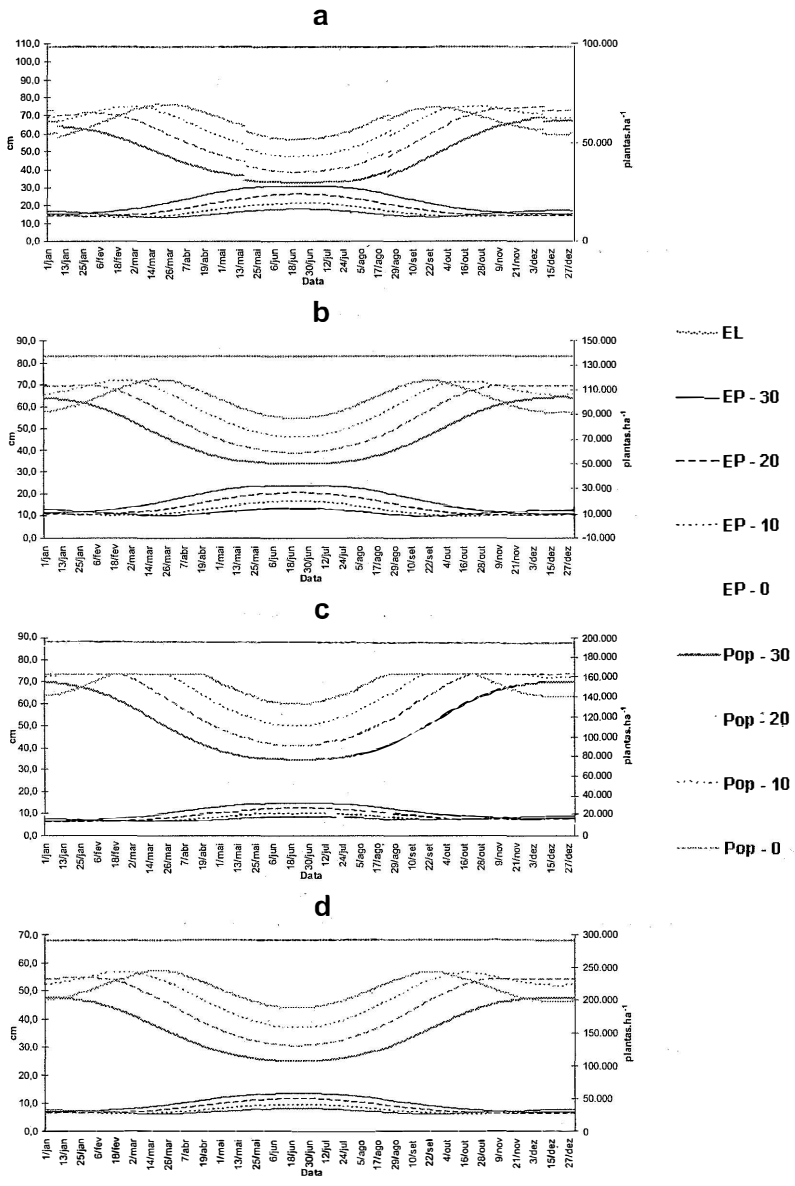



Figura 6.2. Estimativa anual da medida entre linhas (EL, cm), das medidas entre plantas (EP, cm) para as latitudes zero (EP-0, cm), 10 (EP-10, cm), 20 (EP-20, cm) e 30 (EP-30, cm) graus Sul, e das populações de plantas também para as latitudes zero (Pop-0, plantas.ha$^{-1}$), 10 (Pop-10, plantas.ha$^{-1}$), 20 (Pop-20, plantas.ha$^{-1}$) e 30 (Pop-30, plantas.ha$^{-1}$) graus Sul, para 4 genótipos de milho (44, 3, 1 e 6).

Observa-se que as relações entre as populações de plantas estimadas ($P_{otm}$, pl.ha$^{-1}$) com base na atenuação da radiação pelo dossel e as respectivas populações recomendadas ($P_{rec}$, pl.ha$^{-1}$) maiores que 50% ocorreram apenas para os genótipos 8, 9, 17, 25 e 28, todos linhagens. Nesse caso, outros fatores intrínsecos à planta, a exemplo de absorção pelo sistema radicular, transporte no sistema xilema-floema ou temperatura basal, apresentam maior interação com a população de plantas que a radiação, o que é coerente em se tratando de genótipos caracterizados pela sua maior especificidade com o ambiente como linhagens e, portanto, implicando em considerar outros fatores além de radiação solar incidente e arquitetura do dossel na determinação da distribuição e população de plantas de modo a maximizar o rendimento de grãos (SACHULZE; CALDWELL, 1995; VIEIRA JÚNIOR, 1999; DUARTE; PATERNIANI, 2000; FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

Quanto aos demais genótipos, a exceção do genótipo 33 cuja população ótima estimada foi inferior à recomendada (-8,65%), porém, menor que o limite estabelecido como aceitável de ±10%, a população estimada considerando a atenuação da radiação no dossel ($P_{otm}$, pl.ha$^{-1}$) foi superior, no máximo, em 50% à população recomendada, indicando pela possibilidade na utilização da metodologia proposta para estimação da distribuição espacial e população de plantas de milho considerando a arquitetura do dossel e a radiação solar incidente em um dado local. Porém, observa-se que apenas os genótipos 3, 4, 21, 23, 24, 32, 40 e 44 apresentaram relação entre a população estimada considerando a atenuação da radiação no dossel ($P_{otm}$, pl.ha$^{-1}$) e a população recomendada ($P_{rec}$, pl.ha$^{-1}$) inferior à 10%, sugerindo que a metodologia proposta não é acurada e carece de maiores estudos.

Os índices de área foliar ($IAF_{rec}$, cm$^2$.cm$^{-2}$) obtido pelo produto das populações recomendadas ($P_{rec}$, pl.ha$^{-1}$) com as médias das áreas foliares (AF, cm$^2$) medidas com planímetro variaram entre 1,1 a 4,8 cm$^2$.cm$^{-2}$ (Tabela 6.1), portanto, de modo geral foram aquém dos recomendados para cultura de milho, o que é coerente com a época de cultivo adotada denominada por "safrinha"[3]. Fancelli e Dourado Neto (2000), descrevem que o rendimento de grãos de milho aumenta significativamente com os incrementos do índice de área foliar variando de três a cinco. Já para Andrade et al. (1991), e Nickell (1983), valores de IAF entre três a oito são considerados ideais para a cultura do milho.

O índice de área foliar calculado com base na população de plantas estimadas considerando a atenuação da radiação no dossel ($IAF_{otm}$, cm$^2$.cm$^{-2}$) e as médias das áreas foliares (AF, cm$^2$) medidas com planímetro variaram entre 2,3 a 3,4 m$^2$.m$^{-2}$ (Tabela 6.1), portanto, também apresentando valores aquém dos recomendados. A relação entre o IAF ótimo ($IAF_{otm}$, cm$^2$.cm$^{-2}$) e o

[3] Vieira Júnior (1999), Duarte e Paterniani (2000) e Fancelli e Dourado Neto (2000) destacam a restrição hídrica como uma das principais limitações ao cultivo de milho entre os meses de Fevereiro a Julho na região em questão sugerindo genericamente a redução da população de plantas de milho como paliativo. Porém, populações de plantas aquém das suportadas pelo dossel implicam em IAF menores que os recomendados, fato agravado pela menor radiação solar nesse período.

índice de área foliar recomendado ($IAF_{rec}$), excluindo os genótipos 9, 17 e 25 a 28, foi inferior à 50%. Entretanto, além do genótipo 33 (-29,04), os genótipos 42 (-4,11%) e 44 (-7,72%) apresentaram IAF calculados com base na população de plantas estimada considerando a atenuação da radiação no dossel inferiores ao recomendado.

Os resultados de IAF não corroboram as afirmações sobre a possibilidade da estimativa da população ótima de plantas para determinado local e época do ano, pois, as diferenças, possivelmente, são devidas a fatores intrínsecos e, até mesmo extrínsecos, à reação das plantas nessa época de cultivo. Para tanto, sugere-se determinar a arquitetura da parte aérea da planta em condições ótimas de crescimento. Ainda, há que ser considerada a plasticidade morfológica da planta de milho, não considerada nesse estudo, implicando que, além da oferta ambiental, deve-se considerar a competição entre plantas. Para tanto, sugere-se que arquitetura da parte aérea seja determinada em plantas semeadas em linha, pois, deve ser considerada a distribuição azimutal das folhas em relação à linha de semeadura, entretanto, as linhas e as plantas deve ser espaçadas o suficiente para não promover a competição entre plantas.

Outro aspecto que pode contribuir com as diferenças verificadas é a metodologia proposta considerar o meio do dia para o zênite da radiação (Equação 9), componente das equações 8, 11, 12 e 14 para estimativa da radiação no dossel ($Rg_{Dossel}$), da PAR difusa ($PAR_{df}$), da transmitância ($\tau dr$) da radiação fotossinteticamente ativa direta e do coeficiente de extinção da radiação (K), respectivamente. Sugere-se, em trabalhos futuros, considerar o zênite da radiação (Z, º) a intervalos horários, integrando ao final do dia os resultados. Entretanto, esse procedimento requer o desenvolvimento de sistema computacional mais complexo do que o utilizado no presente trabalho.

Considerando o exposto, a despeito das diferenças encontradas, os resultados indicam pela coerência da metodologia proposta em determinar a população de plantas de milho considerando a arquitetura da parte aérea da planta de milho e a transmissão da radiação pelo dossel. A metodologia proposta permite estimar anualmente as distâncias entre linhas e entre plantas, além da população de plantas, para determinado local conforme o exemplo apresentado para os genótipos 44, 3, 1 e 6 (Figura 6.1) cujas populações recomendadas para semeadura entre os meses de janeiro a março na região do Brasil Central são de 40.000, 60.000, 80.000 e 100.000 $pl.ha^{-1}$.

Com relação ao local de semeadura, verifica-se que, em locais com maior latitude, há uma maior população de plantas e, conseqüentemente, o espaçamento entre plantas será reduzido. Essa estimativa é importante para orientar estudos sobre a interação da população e distribuição espacial de plantas de diferentes genótipos de milho com o ambiente, pré-estabelecendo as distâncias ótimas entre linhas e entre plantas, bem como, a população ideal de plantas.

## DISTRIBUIÇÃO E POPULAÇÃO DE PLANTAS E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO

Para avaliar o efeito de população de plantas (30.000, 60.000 e 90.000 plantas.ha$^{-1}$), sob dois espaçamentos (0,40 e 0,80 m), sobre o rendimento de grãos de três genótipos de milho com arquiteturas foliares aberta (AG-1051), semi-ereta (AG-7575) e ereta (DKB-911), foi conduzido experimento em Piracicaba-SP, no período entre 20 de novembro de 2000 e 10 de abril de 2001. Pode-se concluir que: (i) na maior população a redução do espaçamento de 0,80 m para 0,40 m teve efeito positivo no rendimento de grãos no genótipo de arquitetura foliar aberta, e (ii) até 60.000 plantas.ha$^{-1}$, independentemente do genótipo, o rendimento de grãos é crescente com o aumento da população de plantas. Com o aumento da população de plantas de 60.000 para 90.000 plantas.ha$^{-1}$, o rendimento de grãos: (a) aumenta no genótipo de arquitetura foliar ereta, (b) estabiliza no genótipo de arquitetura semi-ereta, e (c) estabiliza sob o menor espaçamento, ou diminui sob espaçamento de 0,80 m no genótipo de arquitetura aberta.

No Brasil, o milho é cultivado em, aproximadamente, 13 milhões de hectares, sendo a concentração de produção e adoção de tecnologia nos Estados da região Sul do país, além de São Paulo, Minas Gerais e Goiás (Conab, 2002). Enquanto o rendimento médio nacional é de 3.341 kg.ha$^{-1}$, a média mundial é de 6.500 kg.ha$^{-1}$, sendo que diversos fatos demonstram a necessidade da intensificação na pesquisa e na adoção de tecnologia na cultura no Brasil.

No caso brasileiro, tradicionalmente o espaçamento entre linhas adotado pela maioria dos produtores concentra-se entre 0,80 e 0,90 m, devido, principalmente, à inadequação das colhedoras em sistemas que adotam espaçamentos inferiores a 0,80 m. Entretanto, atualmente, há disponibilidade no mercado brasileiro de semeadoras e colhedoras que permitem a adoção de espaçamentos entre linhas de até 0,45 m, que viabilizou a utilização de até 72.000 plantas de milho por hectare, sob espaçamento entre linhas de 0,55 m, com aumento de produtividade (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

Em razão do aumento na interceptação de luz e do melhor aproveitamento da água e nutrientes disponíveis, acréscimos na produtividade podem ser obtidos pelo aumento da densidade de semeadura associado à redução do espaçamento entre linhas. A redução da competição inter e intra-específica por esses fatores de produção, obtido pelo melhor arranjo espacial entre as plantas, dá-se pelo aumento da área foliar por unidade de área a partir dos estádios fenológicos iniciais (Johnson et al.,1998; Molin, 2000). Cita-se como exemplo dados relativos a período superior a dez anos em áreas de produção comercial no Estado de Ohio, em que o incremento médio de produtividade de milho alcançado pela redução do espaçamento de 0,76 m para 0,50 m foi de, aproximadamente, 340 kg.hectare$^{-1}$. Ainda, pesquisas de várias regiões daquele país indicam que o uso de espaçamentos entre 0,38 m e 0,50 m entre fileiras proporcionam um

incremento de 5% na produtividade média, quando comparado com espaçamentos de 0,76 m (FARNHAM et al., 2002ab).

Em Lavras/MG, a avaliação de 10 genótipos em três espaçamentos (0,45; 0,70 e 0,90 m), combinados em três populações de plantas (55, 70 e 90.000 plantas.ha$^{-1}$), demonstrou que o espaçamento entre linhas de 0,70 m proporcionou produtividade de grãos 17% superior ao espaçamento de 0,90 m e 33% superior ao espaçamento de 0,45 m. Este último espaçamento, combinado com 70.000 plantas.ha$^{-1}$, proporcionou produção média 4,8% superior à obtida na combinação com 55.000 plantas.ha$^{-1}$, podendo-se considerar que, naquelas condições, a redução do espaçamento permitiu o aumento da população final para incremento em produtividade. Pode-se atribuir os resultados aos diferentes níveis de competição intra-específica estabelecidos para cada arranjo espacial de plantas. Diferenças significativas entre os genótipos também foram observadas, indicando adaptabilidade em função das características fenotípicas, dos espaçamentos e das densidades utilizadas (SÉRGIO et al., 2002).

Em Lages/SC, a comparação de dois híbridos duplos das décadas de 70 e 80, com arquitetura de folha aberta e grande número e comprimento de folhas, com um híbrido simples da década de 90, com folhas mais curtas, eretas e em menor número, submetidos ao mesmo espaçamento e às populações de 25, 50, 75 e 100.000 plantas.ha$^{-1}$, demonstrou que a resposta da produtividade de grãos ao incremento da população foi quadrática para os todos os híbridos testados e o híbrido simples foi mais exigente, requerendo 85.000 plantas.ha$^{-1}$ para maximizar a produtividade de grãos. Na maior densidade, 5% das plantas dos híbridos duplos não produziram espigas, enquanto todas as plantas do híbrido simples produziram, em razão da sincronia no desenvolvimento floral, minimizando a natureza protândrica da planta em altas densidades. Ainda, a arquitetura foliar ereta do híbrido simples favoreceu a interceptação de radiação, minimizando o sombreamento entre folhas, o que aumentou a disponibilidade de carboidratos durante a floração, suportando o desenvolvimento das espigas e grãos em alta densidade (Sangoi et al., 2002).

A resposta dos genótipos à redução de espaçamento é variável em função das condições ambientais, pois, híbridos de milho cultivados, nos Estados Unidos da América, com de 70.000 plantas.ha$^{-1}$ sob dois espaçamentos (0,38 e 0,76 m), durante três safras consecutivas, no mesmo dia e local em cada safra, apresentaram produtividades variáveis em função da oferta ambiental anual, entretanto, o menor espaçamento resultou em produtividade média 3% superior (Farnham et al., 2002b).

Considerando o exposto sobre os efeitos da população e distribuição espacial de plantas de milho, o propósito do presente trabalho foi avaliar o efeito da população e da distribuição espacial de plantas sobre o rendimento de grãos de genótipos de milho com arquiteturas foliares distintas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado entre os dias 20 de novembro de 2000 (Dia 1) e 10 de abril de 2001 (Dia 142), no município de Piracicaba/SP, com altitude de 540 m, sendo apresentados os atributos climáticos do período nas Figuras 6.3 a 6.6.

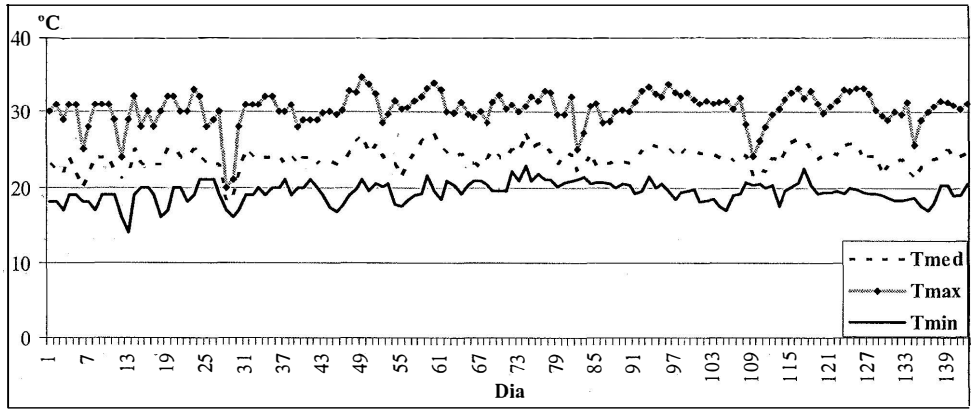



Figura 6.3. Valores diários das temperaturas médias ($T_{med}$), máximas ($T_{max}$) e mínimas ($T_{min}$), em ºC, registradas entre 20 de novembro de 2000 (Dia 1) e 10 de abril de 2001 (Dia 142). Piracicaba, SP.

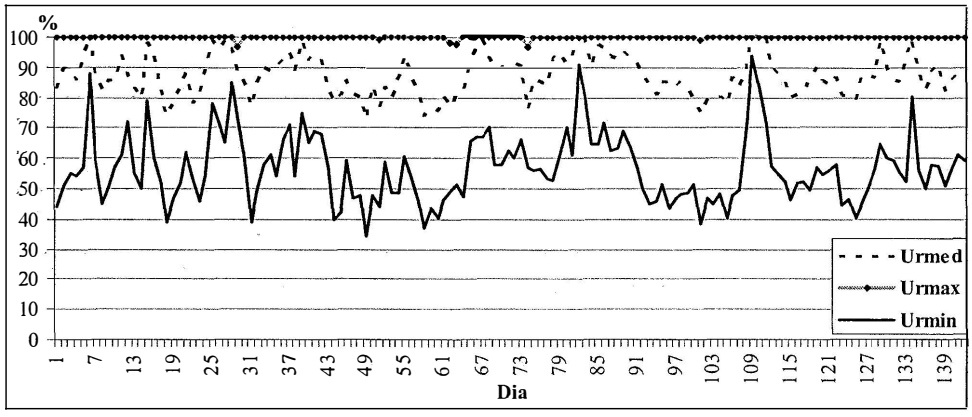



Figura 6.4. Valores diários das Umidades relativas médias ($Ur_{med}$), máximas ($Ur_{max}$) e mínimas ($Ur_{min}$), em %, registradas entre 20 de novembro de 2000 (Dia 1) e 10 de abril de 2001 (Dia 142). Piracicaba, SP.

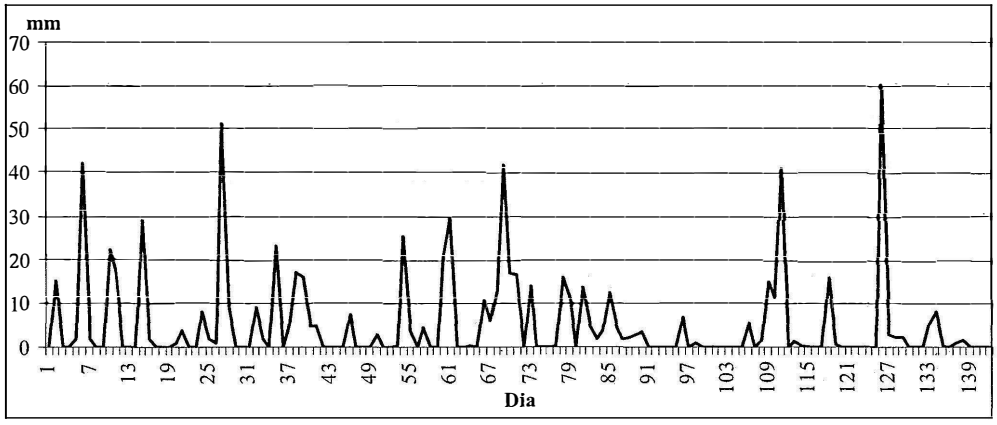



Figura 6.5. Valores diários de precipitação, em mm, registradas entre 20 de novembro de 2000 (Dia 1) e 10 de abril de 2001 (Dia 142). Piracicaba, SP.

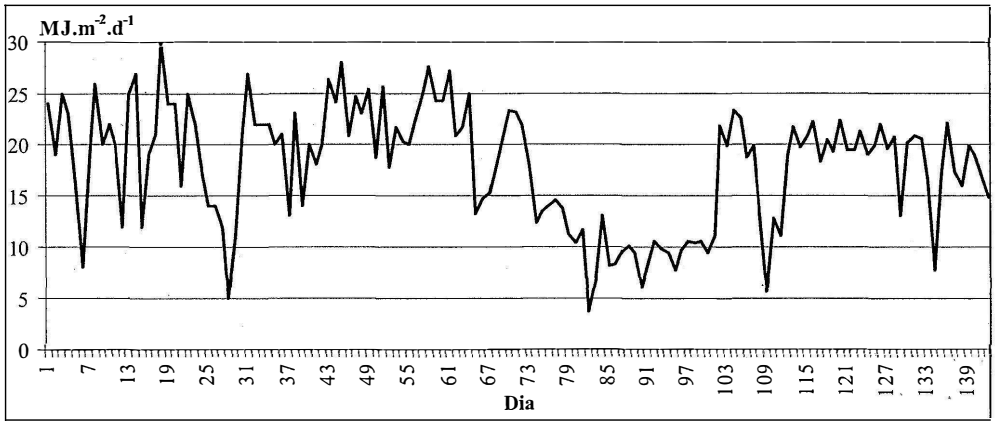



Figura 6.6. Valores diários da radiação global, em $MJ.m^{-2}.d^{-1}$, registradas entre 20 de novembro de 2000 (Dia 1) e 10 de abril de 2001 (Dia 142). Piracicaba, SP.

O solo da área experimental é do tipo NITOSSOLO VERMELHO Eutroférrico Latossólico, textura argilosa.

Foram utilizados os seguintes híbridos, os quais são recomendados para região do experimento e apresentam boa tolerância às doenças de importância econômica para a época de semeadura do experimento: AG-1051: Híbrido Duplo de arquitetura foliar aberta, ciclo semi-precoce (soma térmica 875°C.dia) com recomendação de semeadura entre 15 de outubro a 20 de dezembro e população final de 50.000 plantas.$ha^{-1}$; AG-7575: Híbrido Simples modificado de arquitetura foliar semi-ereta, ciclo precoce (soma térmica 837°C.dia) com recomendação de semeadura entre 20 de setembro e 20 de fevereiro e população final de 55.000 plantas.$ha^{-1}$; e DKB-911: Híbrido Simples de arquitetura foliar ereta, ciclo precoce (soma térmica 830°C.dia)

com recomendação de semeadura entre 1 de outubro a 30 de novembro e população final de 55.000 a 60.000 plantas.ha$^{-1}$.

Foram estabelecidos dezoito tratamentos com três repetições, distribuídas em blocos ao acaso, em fatorial de 2x3x3, resultantes da combinação entre dois espaçamentos (0,40 e 0,80 m), três densidades populacionais (30; 60 e 90 mil plantas por hectare) e três genótipos representados por um híbrido simples com arquitetura foliar ereta (DKB-911), um híbrido simples modificado com arquitetura foliar semi-ereta (AG-7575) e um híbrido duplo com arquitetura foliar aberta (AG-1051).

A semeadura foi realizada manualmente, segundo a densidade de sementes apresentadas na Tabela 6.1, em parcelas com 12 m$^2$. No espaçamento de 0,80 m, cada parcela constituiu de cinco linhas de sete metros de comprimento, sendo consideradas para as avaliações as três linhas centrais excluindo-se um metro de cada extremidade. No espaçamento de 0,40 m, cada parcela constituiu de cinco linhas de doze metros de comprimento, sendo consideradas para as avaliações as três linhas centrais, excluindo-se um metro de cada extremidade.

A adubação de semeadura de 30 kg de nitrogênio, 80 kg de $P_2O_5$ e 50 kg de $K_2O$ por hectare, foi realizada manualmente, objetivando produtividade acima de 8.000 kg por hectare, ajustando-se a distribuição do fertilizante para cada espaçamento utilizado.

O controle de plantas daninhas foi realizado na pré-emergência, com aplicação dos princípios ativos atrazina e metolachlor, logo após a semeadura.

Conduzido sob sistema de irrigação por aspersão convencional, cada tratamento recebeu 90 kg por hectare de nitrogênio em cobertura, divididos em duas aplicações quando as plantas apresentavam quatro e oito folhas totalmente expandidas.

Tabela 6.2. Número de sementes distribuídas por metro linear para obtenção de três populações de plantas em dois espaçamentos no experimento realizado em Piracicaba, SP.

| Populações (plantas.ha$^{-1}$) | Espaçamento entre linhas (m) | |
|---|---|---|
| | 0,4 | 0,8 |
| | Sementes por metro linear | |
| 30.000 | 1,2 | 2,4 |
| 60.000 | 2,4 | 4,8 |
| 90.000 | 3,6 | 7,2 |

Para o controle de *Spodoptera frugiperda*, foi suficiente uma aplicação de clorpirifós.

A partir da emergência das plantas, foi determinado em cada tratamento, o número total de folhas com suas respectivas datas de extensão total, até a emissão da folha bandeira, seguida do florescimento masculino. Baseando-se na consistência dos grãos, foram registradas as datas de

ocorrência das fases de grãos pastosos e grãos farináceos. A data da maturidade fisiológica foi definida pela formação da camada negra dos grãos.

No florescimento foram abertas covas, cujas seções obedeceram aos limites intermediários de área e volume de exploração de solo entre as fileiras e entre as plantas da fileira à profundidade de um (1) metro, para coletada de plantas de cada um dos genótipos, nos espaçamentos de 0,4 e 0,8 m e populações de 30.000 e 90.000 plantas.hectare$^{-1}$. Após a lavagem das raízes, foram determinados os pesos frescos e secos em estufa a 72ºC por 72 horas, do pendão, do colmo, das folhas, das espigas e das raízes.

No florescimento masculino foram medidos o diâmetro dos colmos, a altura das espigas (do solo à base do pedúnculo da espiga) e altura das plantas (do solo à base da folha "bandeira"). Na colheita, foram determinados o número de grãos por fileira e número de fileiras por espigas.

Para todas as determinações descritas, foram consideradas dez plantas representativas de cada parcela.

A colheita foi manual no dia 10/04/2001, recolhendo-se todas as espigas da parcela útil e determinados o teor de água dos grãos por método gravimétrico e a produtividade (kg.ha$^{-1}$) a 13% b.u.

Foi realizada a análise de variância das variáveis produtividade de grãos, altura de plantas, comprimento de espiga, diâmetro de colmo, número de grãos por fileira e número de fileiras por espiga. O efeito do arranjo (espaçamento) das plantas sobre a variável de interesse, em cada material genético, para uma densidade populacional específica de plantas, foi avaliado utilizando testes t para contrastes (Montgomery, 1997). O efeito do genótipo em cada combinação arranjo *versus* população de plantas foi avaliado pelo mesmo procedimento.

Foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson (r) entre as variáveis altura de planta, diâmetro de colmo, comprimento de espiga, número de grãos por fileira e número de fileiras por espiga. A significância dos coeficientes de correlação foi avaliada utilizando teste t.

Resultados e Discussão

Baixa densidade de plantas reduz a interceptação da radiação solar por área, favorecendo a produção de grãos por planta, mas reduzindo a produtividade por área (SANGOI, 2001). Com o aumento da população de plantas há redução no tamanho das espigas, diminuindo também seu índice por planta, entretanto, há compensação na produção, pelo aumento do número de plantas por área. Por outro lado, o adensamento excessivo incrementa a competição intra-específica, o que estimula a dominância apical, aumentando a esterilidade feminina e limitando a produção de grãos por área (FORNASIERI FILHO, 1992; PEREIRA et al., 1993). O comportamento descrito pode ser observado na Figura 6.7, onde a produção de grãos (kg.ha$^{-1}$) aumenta linearmente com o aumento da população de plantas, até um ponto denominado "ponto crítico", o qual varia entre 30 e 90.000 plantas.hectare$^{-1}$, devido à produção de grãos por planta permanecer constante, nessa faixa de população não há competição intra-específica.

Acima da população crítica, devido à competição intra-específica, a produção por planta decresce determinando um ponto de máxima produção por unidade de área (DOURADO NETO et al., 2001).

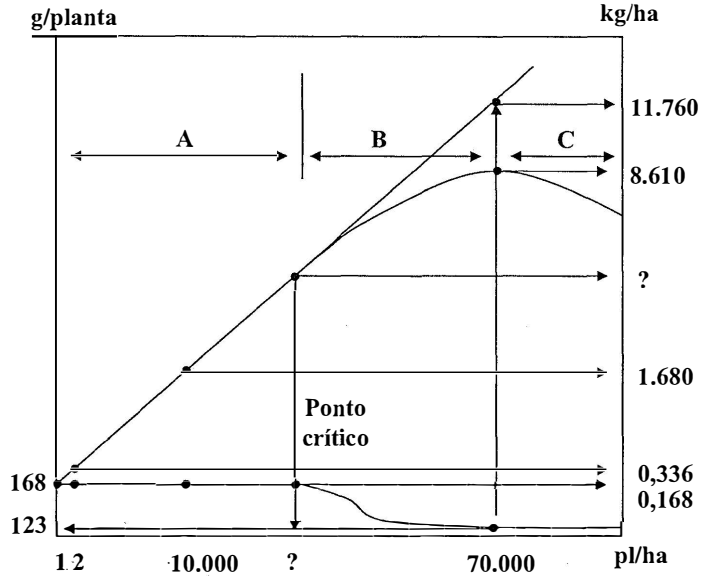



Figura 6.7. Variação da produção por unidade de planta ($g.pl^{-1}$) e por unidade de área ($kg.ha^{-1}$) em função da população (DOURADO NETO et al., 2001).

A descrição dos estádios fenológicos (Figura 6.8) indica que, durante a fase vegetativa, não houve diferença de ciclo. Entretanto, na fase reprodutiva, o híbrido DKB-911 foi mais precoce, apresentando 23 folhas, seguido dos híbridos AG-7575, com 23 folhas, e AG-1051, com 24 folhas.

Observou-se pequeno aumento na manifestação da natureza protândrica nos arranjos espaciais que proporcionaram maior competição intra-específica, de maneira que o início do florescimento para cada genótipo, sob os diferentes arranjos, variou exclusivamente em função do genótipo, em acordo com o observado por Sangoi et al. (2002).

As alturas de plantas (Figura 6.9) apresentam diferenças significativas entre espaçamentos (E), genótipos (G), e populações (P), bem como para suas interações: GxE, ExP, GxP e GxExP, sendo o erro padrão da diferença entre médias de 0,653 cm.

A altura do genótipo AG-1051 foi superior à dos genótipos AG-7575 e DKB-911, independente dos espaçamentos e populações utilizadas. A altura do genótipo DKB-911 foi superior à do genótipo AG-7575, sob todos os arranjos espaciais, sendo essas diferenças associadas à genética dos híbridos.

O DKB-911 apresentou maior altura de plantas na população mais elevada e no menor espaçamento, pois, o espaçamento de 0,40 m, quando

comparado com o de 0,80 m, propicia menor competição intra-específica por água e nutrientes. Nas menores populações (30.000 e 60.000 plantas.ha$^{-1}$) não se observou o efeito do arranjo espacial entre plantas para altura da planta.

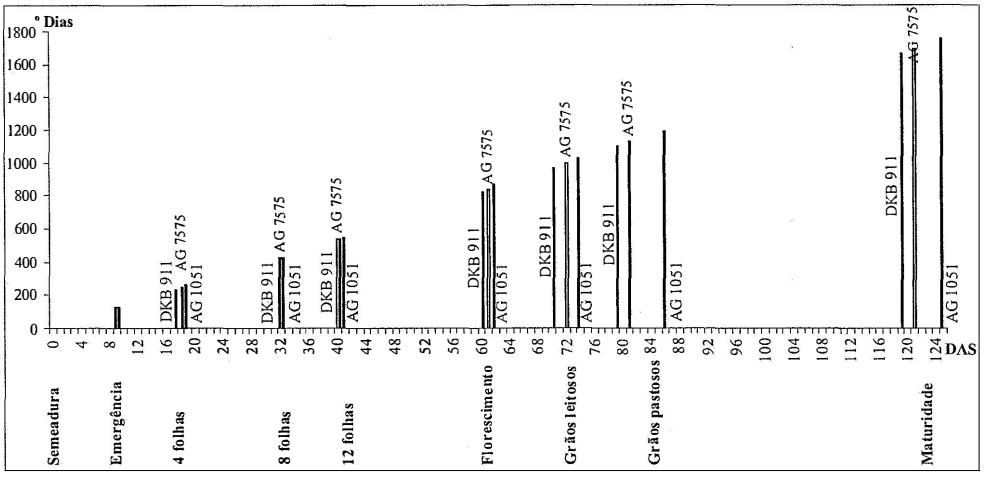



Figura 6.8. Dias após a semeadura (DAS), fenologia e graus-dia (GD, considerando Temperatura basal 10ºC) referentes aos três genótipos (AG-1051, AG-7575 e DKB-911).

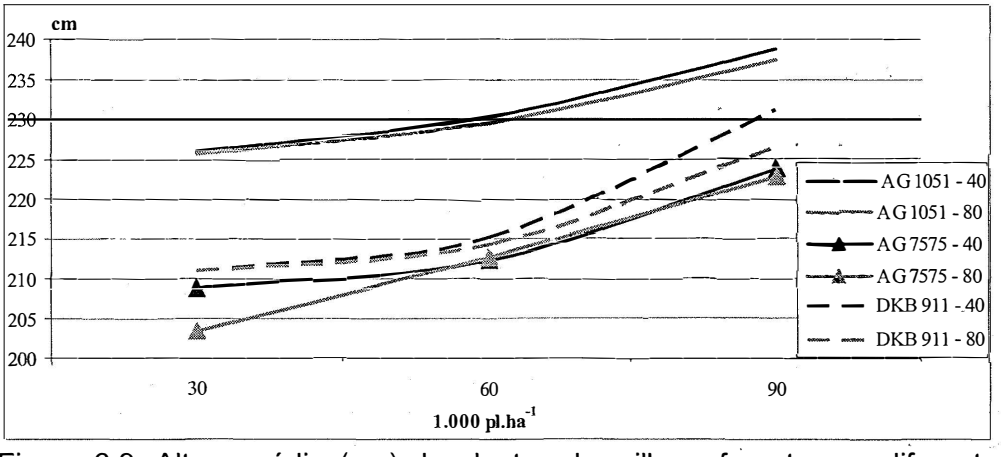



Figura 6.9. Altura média (cm) de plantas de milho referente aos diferentes tratamentos. $r^2$ =0,996; CV=0,36%; Altura média da planta = 220,39 cm.

O AG-1051 e o AG-7575 apresentaram comportamento semelhante ao DKB-911 em alta população, porém, em populações menores não houve resultado consistente, provavelmente por se tratarem de genótipos heterogêneos.

De maneira geral, exceto para o AG-1051, no espaçamento de 0,80 m, no contraste de 30.000x60.000 plantas.ha$^{-1}$, a altura de planta foi tanto maior

quanto maior foi a população para os três genótipos, nos dois espaçamentos utilizados, devido ao efeito combinado da competição intra-específica por luz, com conseqüente estímulo da dominância apical das plantas, conforme relata Sangoi (2001).

Para o diâmetro de colmos (Figura 6.10), o erro padrão da diferença entre médias foi 0,019 cm. Independentemente da população e do espaçamento entre plantas, o AG-7575 foi o que apresentou o menor diâmetro de colmo, enquanto que o maior diâmetro foi observado no AG-1051.

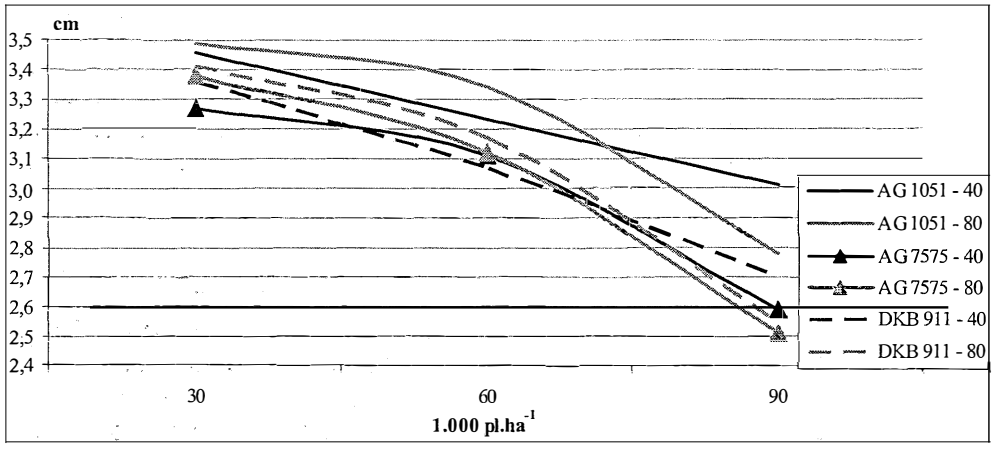



Figura 6.10. Diâmetro médio de colmo (cm) de plantas de milho referente aos diferentes tratamentos. $r^2$ = 0,997; CV = 0,74%; Diâmetro médio do Colmo = 3,08 cm.

Em altas populações, independentemente do genótipo, o diâmetro do colmo aumentou com a redução do espaçamento, mas, para populações menores, foi observada redução do diâmetro de colmo sob a redução do espaçamento. Por outro lado, a redução da população de plantas, independentemente dos genótipos e espaçamentos utilizados, resultou em aumento no diâmetro do colmo.

Para o comprimento de espiga (Figura 6.11), o erro padrão da diferença entre médias foi 0,070 cm. O AG-1051 apresentou maior comprimento de espiga nas menores populações, independentemente da distribuição, mas, em alta população, ocorreu o inverso quando comparado ao AG-7575. Com 90.000 plantas.ha$^{-1}$, o AG-1051 apresentou maior comprimento quando comparado com o DKB-911, no espaçamento de 0,80 m. No espaçamento de 0,40 m não apresentou diferença significativa.

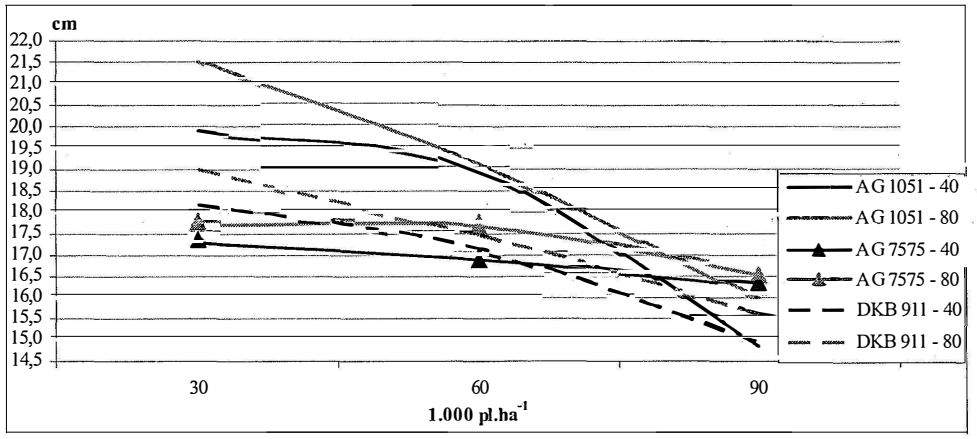



Figura 6.11. Comprimento (cm) médio de espiga de plantas de milho referente aos diferentes tratamentos. $r^2$ = 0,998; CV = 0,49%; Comprimento médio da Espiga = 17,46 cm.

O AG-7575, em 30.000 plantas.ha$^{-1}$, apresentou menor comprimento de espiga, quando comparado com o DKB-911, independentemente do espaçamento. O inverso ocorreu em 90.000 plantas.ha$^{-1}$. Já em 60.000 plantas.ha$^{-1}$, o AG-7575 apresentou menor comprimento de espiga no espaçamento de 0,40 m. O inverso aconteceu no espaçamento de 0,80 m.

Nas populações de 30.000 e 60.000 plantas.ha$^{-1}$, para todos os genótipos, houve aumento do comprimento de espigas pela redução do espaçamento de 0,80 m para 0,40 m, provavelmente devido aos efeitos da distribuição de plantas. Por outro lado, ocorreu o inverso a todos os genótipos sob a população de 90.000 plantas.ha$^{-1}$, condição em que a competição intra-específica por água, nutrientes e luz superou os efeitos do melhor arranjo espacial entre as plantas.

À exceção do AG-575, no espaçamento de 0,80 m e contraste 30.000x60.000 plantas.ha$^{-1}$, houve aumento significativo no comprimento de espigas para todos os genótipos e espaçamentos, para as menores populações de plantas.

Considerando-se os três genótipos e os dois arranjos (0,40 e 0,80 m), observa-se uma tendência geral de diminuição da massa de matéria seca de raiz por unidade de planta com o aumento da população de 30.000 para 90.000 plantas.hectare$^{-1}$ (Figura 6.12), sendo a mesma tendência observada para as massas de matéria seca de parte aérea (Figura 6.13) e total (Figura 6.14).

A quantidade relativa de raiz no florescimento, em relação à massa de matéria seca total, diminui de 26% para 19% com o aumento da população de 30.000 para 90.000 plantas por hectare (Figuras 6.14 e 6.15). Já a parte aérea aumenta de 74% para 81% (Figura 6.16), o que explica, parcialmente, porque populações elevadas apresentam maior porcentagem de quebra e de tombamento de plantas.

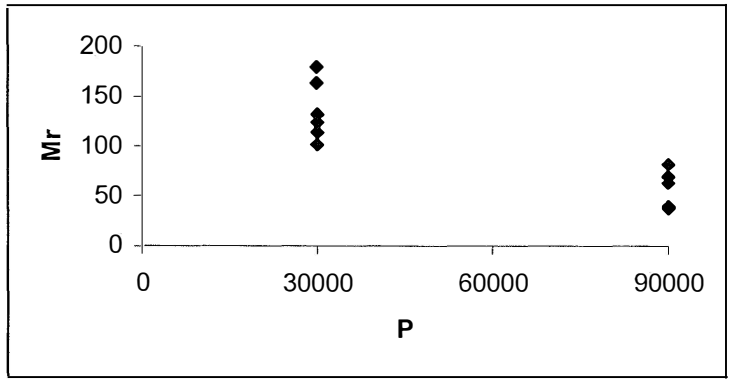



Figura 6.12. Relação entre massa de matéria seca de raiz (Mr, g.pl$^{-1}$) e população de plantas (plantas.ha$^{-1}$) no florescimento.

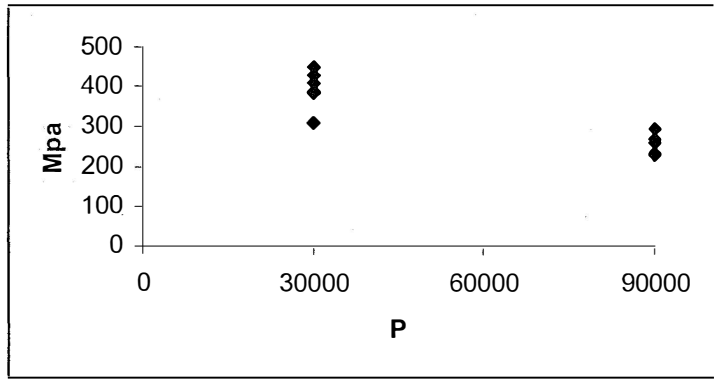



Figura 6.13. Relação entre massa de matéria seca de parte aérea (Mpa, g.pl$^{-1}$) e população de plantas (plantas.ha$^{-1}$) no florescimento.

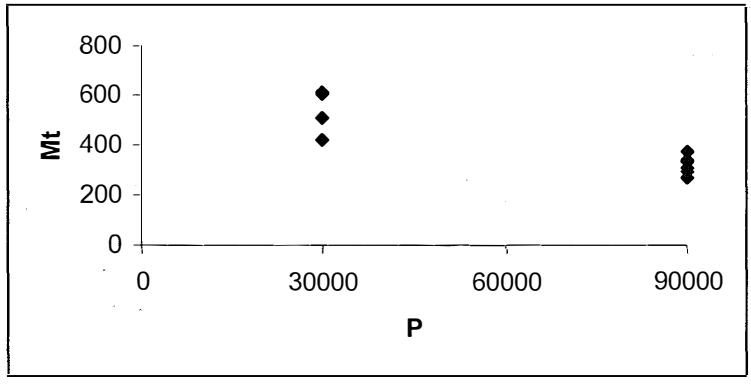



Figura 6.14. Relação entre massa de matéria seca total (Mt, g.pl$^{-1}$) e população de plantas (plantas.ha$^{-1}$) no florescimento.

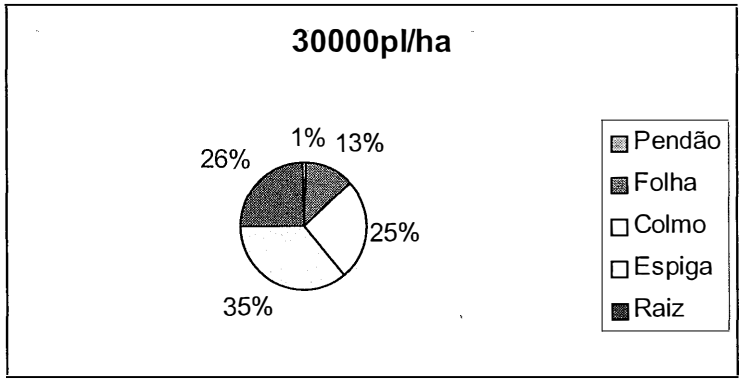



Figura 6.15. Quantidade relativa de massa de matéria seca de raiz e de parte aérea na colheita da cultura de milho referente à menor população.

Se computados todos os genótipos e arranjos, pode-se verificar que quando a população é triplicada, a produção de massa de matéria seca total da parte aérea por unidade de planta reduz 1,6 vezes, ou seja, a produção, por unidade de área, para esse caso específico aumenta 82%. Analogamente, pode-se explicar o fato da população ser um dos principais fatores de produção na cultura do milho, pois, a produção de grãos por unidade de área aumenta devido o aumento da população ocorrer numa proporção superior à queda de produção por unidade de planta.

Em termos relativos, o aumento de população alterou a produção dos diferentes órgãos, variando, respectivamente, para pendão, folha, colmo, espiga e raiz de 1%, 13%, 25%, 35% e 26% (Figura 6.15) para 1%, 17%, 27%, 36% e 19% (Figura 6.16). Em valores absolutos, observa-se a mesma tendência de diminuição de produção de massa de matéria seca por unidade de planta com o aumento da população (Figura 6.17).

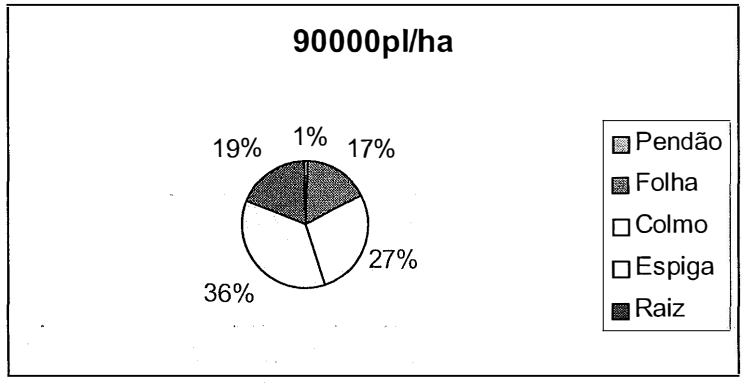



Figura 6.16. Quantidade relativa de massa de matéria seca de raiz e de parte aérea na colheita da cultura de milho referente à maior população.

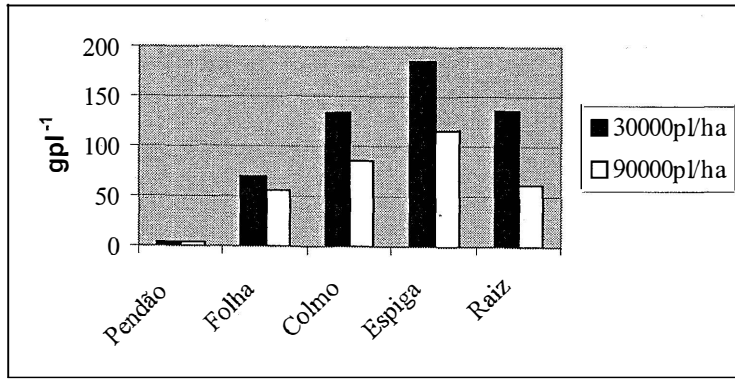



Figura 6.17. Massa de matéria seca ($g.pl^{-1}$) de pendão, folha, colmo, espiga e raiz para a combinação dos diferentes genótipos (AG-1051, AG-7575 e DKB-911) e espaçamentos (0,40 e 0,80 m) para alta (30.000 $plantas.ha^{-1}$) e baixa (90.000 $plantas.ha^{-1}$) população.

O erro padrão da diferença entre médias para o número de grãos por fileira (Figura 6.18) foi 0,959, sendo que o AG-1051 apresentou maior número de grãos por fileira em relação ao AG-7575 somente nas combinações entre 30.000 e 60.000 $plantas.ha^{-1}$ e 0,40 m e 0,80 m, respectivamente. Na população de 90.000 $plantas.ha^{-1}$, nos dois espaçamentos, ocorreu o inverso.

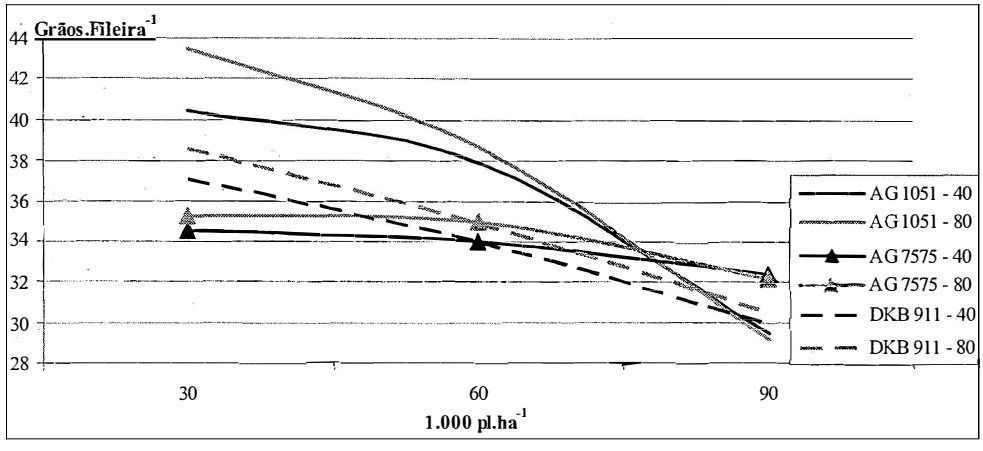



Figura 6.18. Número médio de grãos por fileira referente aos diferentes tratamentos. $r^2$ = 0,945, CV = 3,37%; Número médio de grãos por fileira = 34,87.

Em relação ao DKB-911, o AG-1051 comportou-se de maneira semelhante, porém, não havendo diferenças na maior população, nos dois espaçamentos. Em geral, o número de grãos por fileira no AG-7575 foi menor que no DKB-911, independentemente do espaçamento e da população.

A redução do espaçamento de 0,80 m para 0,40 m, de maneira geral, não influenciou o número de grãos por fileira dos três genótipos, nas três populações, exceto para o AG-1051, em que houve redução desse componente, provavelmente devido à variabilidade genética do híbrido.

As menores populações de plantas proporcionaram aumento significativo no número de grãos por fileira para todos os genótipos e espaçamentos, exceto nos contrastes de 30.000x60.000 do AG-7575, nos dois espaçamentos.

O erro padrão da diferença entre médias para fileiras de grãos por espiga foi 0,361. De maneira geral, o AG-1051 apresentou maior número de fileiras do que o AG-7575, em todas as combinações. Em relação ao DKB-911, comportou-se de maneira semelhante somente nas combinações de 0,40 m x 60.000 plantas.ha$^{-1}$ e 0,80 m x 90.000 plantas.ha$^{-1}$. Por outro lado, houve uma tendência de ocorrer maior número de fileiras no DKB-911 em relação ao AG-7575, em todos os tratamentos.

A redução do espaçamento promoveu aumento significativo do número de fileiras por espigas para o DKB-911 sob 30.000 plantas.ha$^{-1}$, bem como para o AG-1051 à população de 60.000 plantas.ha$^{-1}$. Por outro lado, este último teve seu número de fileiras reduzido na combinação de 0,40 m x 90.000 plantas.ha$^{-1}$. Observou-se que a natureza tropical do AG-1051, que lhe confere porte alto, folhas largas, compridas e angulação com o colmo próxima de 90º, propiciou a intensificação da competição intra-específica por luz, a partir da décima segunda folha, principalmente na condição de espaçamento reduzido, fato que pode explicar a redução do número de fileiras por espiga, observada no experimento, nesta condição.

A análise de correlação entre os componentes de produção demonstrou que, para o AG-1051, quanto maior a altura das plantas menor foi o diâmetro do colmo, o comprimento da espiga e menor o número de grãos por fileira. O aumento no diâmetro de colmo, por sua vez, proporcionou aumento no comprimento da espiga e no número de grãos por fileira, bem como o comprimento da espiga correlacionou-se positivamente com número de grãos por fileira. Por outro lado, altura de planta, diâmetro de colmo, comprimento de espiga e grãos por fileira não influenciaram o número de fileiras por espiga.

Análise de correlação entre os componentes de produção referente ao AG-7575 demonstra, da mesma forma, que o aumento de altura de planta correlacionou-se positivamente com maiores diâmetros de colmo, comprimentos de espiga e grãos por fileira. Ainda, maiores diâmetros de colmo influenciaram o aumento do comprimento de espiga, grãos por fileira e fileiras por espiga, enquanto que espigas mais compridas apresentaram maior número de grãos por fileira e fileiras por espiga. Não houve correlação entre número de grãos por fileira e número fileiras por espiga.

O DKB-911 foi o que apresentou todas as correlações positivas entre os componentes de produção mencionados, possivelmente devido à sua uniformidade genética.

A maior altura de plantas e o menor diâmetro de colmo ocorreram sob a maior população, relação esta que inverteu-se à medida em que a população diminuiu.

Não houve aumento do número de fileiras por espiga em função do aumento do número de grãos por fileira, embora este tenha sido maior nas menores populações.

Em todos os genótipos, a maior altura de planta e o maior comprimento de espiga ocorreram sob a maior população, relação esta que inverteu-se à medida em que a população diminuiu.

Para todos os genótipos, o maior diâmetro de colmo e o maior comprimento de espiga ocorreram sob a menor população, relação esta que inverteu-se à medida em que a população aumentou.

O erro padrão da diferença entre médias de produtividade de grãos (Figura 6.20) foi 0,59258 t.ha$^{-1}$, sendo o AG-1051 superior ao AG-7575 pela combinação do espaçamento de 0,40 m e 90.000 plantas.ha$^{-1}$, enquanto o AG-7575 e o AG-1051 foram superiores ao DKB-911 na combinação entre o espaçamento de 0,80 m e 90.000 plantas.ha$^{-1}$. Para os demais contrastes entre genótipos, sob diferentes combinações entre espaçamento e população, não houve diferença.

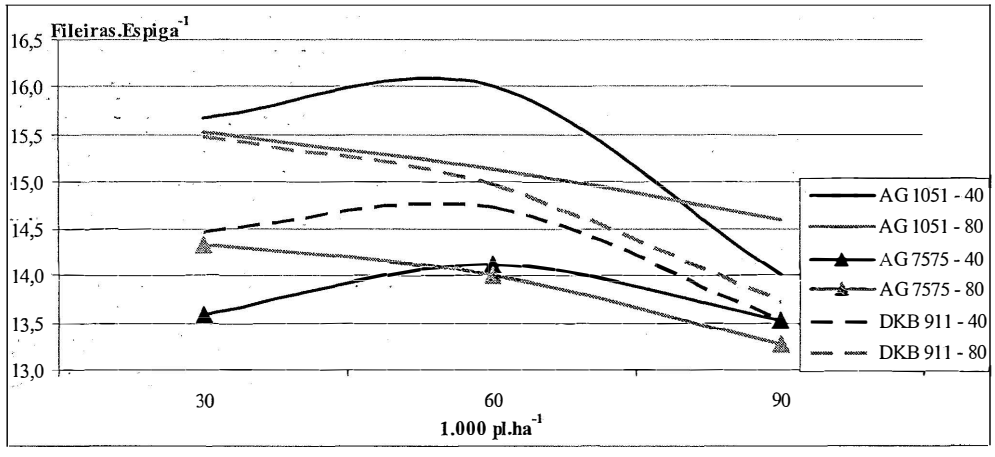



Figura 6.19. Número médio de fileiras de grãos por espiga de milho referente aos diferentes tratamentos. $r^2$ = 0,867; CV = 3,04%; Número médio de fileiras de grãos por espiga de milho = 14,54.

A redução do espaçamento de 0,80 m para 0,40 m, afetou a produtividade de grãos somente para o AG-1051 (folhas abertas), sob alta população. Por outro lado, a redução do espaçamento não proporcionou diferenças significativas na produtividade dos híbridos de arquiteturas foliares semi-ereta e ereta, em nenhuma das populações avaliadas.

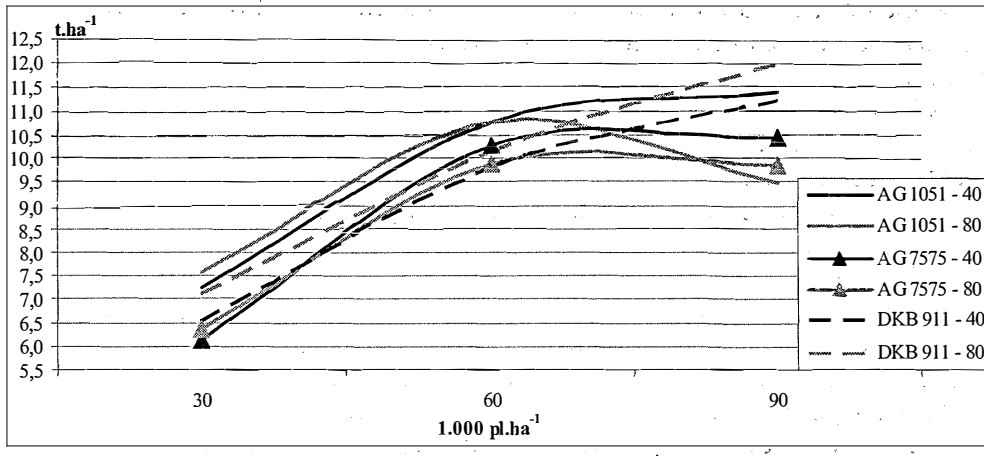



Figura 6.20. Produtividade média de grãos (t.ha$^{-1}$) referente aos diferentes tratamentos. $r^2$ = 0,912. CV = 7,83. produtividade média de grãos = 9.270,92 t.ha$^{-1}$.

A produtividade do genótipo DKB-911 foi crescente à medida em que a população eleva-se, independentemente do espaçamento utilizado. O mesmo ocorre com outros genótipos, exceto para o AG-1051 com espaçamento de 0,40 m e para o AG-7575 no espaçamento de 0,80 m, em que a produtividade sob 60.000 plantas.ha$^{-1}$ foi maior que à população de 90.000 plantas.ha$^{-1}$.

Os resultados foram obtidos para a faixa de população de 30.000 a 90.000 plantas.ha$^{-1}$ em ambiente onde não houve limitação de água e nutrientes, e sugerem que o decréscimo de produtividade poderia ser obtido em população superior a 90.000 plantas.ha$^{-1}$ no caso genótipo de arquitetura foliar ereta (DKB-911), principalmente.

O menor espaçamento entre fileiras de plantas, para a maior população, propicia aumenta na produtividade de grãos no genótipo de arquitetura aberta (AG-1051) devido à minimização da competição intra-específica por luz, assumindo que não houve limitação na disponibilidade de água e de nutrientes.

O aumento de população ocasiona o aumento da altura de planta e a diminuição do número de fileiras por espiga, grãos por fileira, grãos por espiga, diâmetro de colmo e comprimento da espiga., mas, considerando o objetivo do trabalho, optou-se por n ao considerar os índices de acamamento e de quebra de colmo.

Para os genótipos AG-7575 e DKB-911 não houve efeito significativo do espaçamento sobre a produtividade de grãos e, para o AG-1051, houve diferença entre as produtividades na população mais elevada. Isso permite inferir, a ser comprovado em estudos futuros, que, devido a otimização de interceptação de luz, a redução do espaçamento entre fileiras de plantas tem efeito positivo na produtividade de grãos em alta população, obedecendo a seguinte ordem: 1) genótipo de arquitetura foliar ereta, 2) genótipo de

arquitetura foliar semi-ereta, e 3) genótipo de arquitetura foliar aberta, desde que não haja limitação de água e nutrientes.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos não permitem concluir pela possibilidade de aplicação da metodologia proposta para estimar a distribuição espacial e população de plantas de milho considerando a arquitetura da parte aérea da planta e a atenuação pelo dossel da radiação solar incidente em um determinado local. Porém, a metodologia proposta apresenta resultados coerentes com as populações recomendadas, indicando que a teoria apresentada de atenuação da radiação solar incidente pelo dossel pode ser um instrumento adequado para estudos sobre distribuição e população espacial de plantas de milho.

Quanto ao efeito do espaçamento de plantas na produtividade de grãos de milho, na maior população, a redução do espaçamento (de 0,80 m para 0,40 m) entre fileiras de plantas teve efeito positivo na produtividade de grãos no genótipo de arquitetura foliar aberta (AG-1051), devido a otimização de interceptação de luz.

Quanto ao efeito da população de plantas na produtividade de grãos de milho, até 60.000 plantas.ha$^{-1}$, independentemente do genótipo, a produtividade de grãos é crescente com o aumento da população de plantas, mas, o aumento de 60.000 para 90.000 plantas.ha$^{-1}$ provocou: (a) incremento no genótipo de arquitetura ereta (DKB-911), (b) estabilidade no genótipo de arquitetura semi-ereta (AG-7575), e (c) estabilidade sob espaçamento de 0,40 m e redução sob espaçamento de 0,80 m no genótipo de arquitetura aberta (AG-1051).

## BIBLIOGRAFIA

ANDRADE, F.H.; UART, S.; ARGUISSAIN, G. Rendimiento potencial de maíz en Balcarce: análisis de los factores que lo determinan. Balcarce: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuária, 11p. (Boletim Técnico, 101), 1991.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Revista Ciência Rural**, v.31, n.6, p.1075-1084, 2001.

BORÉM, A. Melhoramento de plantas. 3ª. edição. UFV. 2001.

CAMPBELL, G.S. Extinction coefficients for radiation in plant canopies calculated using an ellipsoidal inclination angle distribution. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.36, p.317-321, 1986.

CARDWELL, V.B. Fifty years of Minnesota corn production: sources of yield increase. **Agronomy Journal**, v.74, p.984-990, 1982.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Safras 2000/01 e 2001/2002. Milho 1a. Safra: Comparativo de Área, Produção e Produtividade. Quadro 11. http://www.conab.gov.br. (12 dez 2002).

DOURADO NETO, D., FANCELLI, A.L.; LOPES, P.P. Milho: população e distribuição de plantas. In: FFANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Ed.) **Milho**: tecnologia da produtividade. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Produção Vegetal, 2001. p.120-125.

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L.; LOPES, P.P. Milho: população e distribuição de plantas. In: MILHO: TECNOLOGIA E PRODUTIVIDADE. p.120-125. 2001.

DUARTE, A.P; PATERNIANI, M.E.A.G.Z. **Fatores bióticos e abióticos em cultivares de milho e estratificação ambiental**: avaliação IAC/CATI/Empresas – 1999/2000. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2000. 150p.

DUVICK, D.N. Genetic contributions to advances in yield of U.S. maize. Maydica: **Bergamo**, v.37, p.69-79, 1992.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho. Guaíba: **Agropecuária**, 2000. 360p.

FARNHAM, D.E.; MYLI, J.; HADEN, D. Row width and effects on corn yield in Iowa. http://www.reimangardens.org/ farms/ 2000reports/ NW/ RowWidthanHybridEff - My.pdf. (14 nov. 2002a).

FARNHAM, D. E.; MYLI, J.; HADEN, D. Row width effects on corn yield at varying plant densities. http: // www.reimangardens.org/ farms/ 2000reports/ mcnay/ RowWidthEffectsonCornY.pdf. (14 nov. 2002b).

FORNASIERI FILHO, D. A cultura do milho. Jaboticabal: Funep, 1992. 273p.

JOHNSON, G. A.; HOVERSTAD, T. R.; GREENWALD, R. E. Integrated weed management using narrow corn row spacing, herbicides, and cultivation. Agronomy Journal, Madison, v.90, n.1, p.40-46, 1998.

LANG, A.R.G.; XIANG YUEQNIN, NORMAM, J.M. Crop structure and the penetration of direct sunlight. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.35, p.83-101, 1985.

LARCHER, W. Carbon utilization and dry matter production. In: LARCHER, W. **Physiological plant ecology**. Berlin: Springer-Verlag, 1995, p.57-166.

MACHADO, E.C. Eficiência fotossintética. In: SEMINÁRIO DE BIOTECNOLOGIA AGRÍCOLA, Piracicaba, 1985. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1985. p.175-200.

MACHADO, S.; BYNUM, E.D.; ARCHER, T. L.; LASCANO, R.J.; BORDOVSKY, J.; BRONSON, K.; NESMITH, D.M.; SEGARRA, E.; ROSENOW, D.T. ; PETERSON, G.C.; XU, W. Spatial and temporal variability of sorghum and corn yield: interactions of biotic and abiotic factors. In: International conference on precision agriculture and other resource management, 5, 2000, Minnesota. **Proceedings**. ASA, CSSA, SSSA, 2001, 10p. CD-ROM.

MADDONI, G.A.; OTEGUI, M.E.; Andrieu, B.; Chelle, M.; Casal, J.J. Maize Leaves Turn Away from Neighbors. **Plant Physiology**, v.130, n.3, p.1181-1189, 2002.

MADDONI, G.A.; OTEGUI, M.E.; CIRILO, A.G. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation. **Fields Crops Research**, v.71, p.183-193. 2001.

MOLIN, R. Espaçamento entre linhas de semeadura na cultura de milho. Castro: Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária. 2000. 72p.

MONTGOMERY, D.C., Design and Analysis of Experiments, John Wiley & Sons, New York, NY, 1997.

NICKELL, L.G. Plant growth regulating chemicals. Boca Raton: CRC Press, v.2, p.131-137, 1983.

OTTMAN, M.J., WELCH, L.F. Planting patterns and radiation interception, plant nutrient concentration, and yield in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, n.2, p.167-174, 1989.

PALHARES, M.; VIEIRA, P.A.; DOURADO NETO, D.; MANFRON, P.A.; MEDEIROS,S.P.L.; ROMANO, M.R. Efeito da população de plantas e do espaçamento sobre a produtividade de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, V.2, N.3, p.63-77. 2003.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

SACHULZE, E.D.; CALDWELL, M.M. **Ecophysiology of photosynthesis**. Berlin: Spring-Verlag, 1995. 576p.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, v. 31, n.1, p.159-168, 2001.

SANGOI, L.; GRACIETTI, M. A.; BIANCHET, P. Híbridos contemporâneos são mais exigentes em população de plantas para maximizarem o rendimento de grãos. (compact disc). In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., Florianópolis, 2002. Anais. Florianópolis: ABMS, 2002.

SPITTERS, C.J.T.; TOUSSAINT, H.A.J.M.; GOUDRIAAN, J. Separating the diffuse and direct component of global radiation and its implication for modeling canopy photosynthesis. Part I components of incoming radiation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.38, p.217-229, 1986.

STWART, D.W.; DWYER, L.M. Mathematical characterization of leaf shape and area of maize hybrids. **Crop Science**, v.39, p.422-427, 1999.

VARLET-GRANCHER, C.; BONHOMME, R.; SINOQUET, H (Ed.). **Crop structure and light microclimate**. Paris: INRA Editions, 1993. 518p.

VIANELLO, R.L. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV, 2000. 448p.

VIEIRA JÚNIOR, P.A. Milho. In: CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A. (Ed.). **Ecofisiologia dos cultivos anuais**. São Paulo: Nobel, 1999. p.41-72.

VIEIRA JÚNIOR, P.A.; DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L.; MANFRON, P.A.; PEREIRA, C.R. População e distribuição espacial de plantas de milho. In: DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L. **Milho**: tecnologia & produção. Piracicaba: ESALQ/USP, 2005, p.34-58.

VIEIRA JÚNIOR, P.A.; MOLIN, J.P.; DOURADO NETO, D.; MANFRON, P.A.; MASCARI, L.; FAOLIN, G. Relações entre população, distribuição espacial de plantas e atributos do solo sobre o rendimento de grãos de milho. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - CONBAP, 5, 2004, Piracicaba, **Anais**. ESALQ, 2004, 5p. CD-ROM.

WANG, Y.P.; JARVIS, P.G. Mean leaf angles for the ellipsoidal inclination angle distribution. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.43, p.319-321, 1988.

# DOENÇAS DE MILHO: IMPORTÂNCIA E ASPECTOS PRÁTICOS DE MANEJO

**Marcos Massamitsu Iamamoto**

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Produção Vegetal com ênfase em Fitopatologia, Pesquisador, MCI Planejamento, Pesquisa, Desenvolvimento, Perícia e Assistência Técnica S/S, Av. Elpídio Pereira, 51. Jd. Morumbi, Jaboticabal-SP, 14890-236.
marcosiamamoto@terra.com.br

## INTRODUÇÃO

Atualmente, as doenças foliares da cultura do milho vêm apresentando grande importância no cenário brasileiro, devido à suscetibilidade dos materiais comerciais disponíveis no mercado e ao atual sistema produtivo que condicionam ao aumento da incidência de doenças em milho e são caracterizadas por ausência de entressafra, falta de rotação de culturas, decorrente da sucessão de culturas, aumento de população de plantas, desequilíbrio nutricional (excessos e falta), aplicação de nitrogênio tardio, introgressão exagerada de linhagens temperadas nos híbridos atuais, melhoramento genético priorizando ganho de produtividade e a não observância da interação genótipo-ambiente (favorecendo a planta a alto nível de estresse), devido ao desrespeito às épocas adequadas de semeadura nas diversas regiões produtoras associado às recomendações equivocadas de genótipos (FANCELLI; DOURADO NETO, 2008).

A cultura do milho era considerada uma planta tolerante, todavia, como está submetida à ação de fatores bióticos (organismos vivos ou infecciosos como fungos, bactérias, vírus, micoplasmas e nematóides) e abióticos (clima ou não infecciosos como temperatura, umidade, deficiência nutricional, fitotoxicidez, estresse hídrico) que alteram a morfologia e a fisiologia da planta, influenciando no rendimento e na qualidade do produto final.

Foi relatado que até 1970, por se considerar o milho uma planta rústica, pouca importância era dada às doenças, no entanto, após a epidemia de *Bipolaris maydis* raça T, em 1970, as doenças passaram a serem incluídas entre os fatores que influem no rendimento. A partir de 1990, com a intensificação do uso de tecnologia na cultura, verificou-se o aumento da incidência e severidade das doenças decorrentes dos fatores descritos no parágrafo anterior (FORNASIERI, 2007).

Tal fato tem despertado o interesse do produtor em buscar alternativas para solucionar o problema, através de manejo de doenças na cultura do milho com o uso de fungicidas no controle da doença. Todavia, é importante salientar que na natureza, para que haja a ocorrência de doenças, é necessária a relação íntima de três componentes básicos como o patógeno (agente causal da doença), o hospedeiro (planta suscetível) e o ambiente (Tabela 7.1). E no agroecossistema devemos incluir o homem como um quarto elemento. Portanto, o termo manejo é melhor aplicado ao invés de

falarmos em controle, que na área fitopatológica, o termo controle significa destruição e/ou erradicação do patógeno, e no manejo integrado, a idéia é admitir que os patógenos fazem parte do agroecossistema e devem ser tratados como tal, mantendo a sua incidência num patamar abaixo do limiar de dano econômico.

Tabela 7.1. Principais condições climáticas favoráveis às doenças foliares do milho.

| Doenças | Patógeno | Condições climáticas favoráveis | |
|---|---|---|---|
| | | Temperatura (°C) | Umidade |
| Cercosporiose | *Cercospora zea-maydis* | 22 a 30 | Alta |
| Ferrugem comum | *Puccinia sorghi* | 16 a 24 | Alta |
| Ferrugem polisora | *Puccinia polysora* | 27 a 35 | Alta |
| Ferrugem tropical | *Physopella zeae* | 22 a 35 | Alta |
| Mancha branca | *Phaeosphaeria maydis* | 24 a 35 | Alta |
| Mancha de diplódia | *Stenocarpella macrospora* | 26 a 30 | Alta |
| Helmintosporiose | *Exserohilum turcicum* | 18 a 24 | Alta |

Fonte: adaptado de Fantin et al. (2005)

## DOENÇAS FOLIARES DE MILHO NO CERRADO BRASILEIRO

Analisando o sistema produtivo, dividimos as doenças foliares do milho em causadoras de tombamento de plântulas, manchas foliares, ferrugens e podridões de espigas. Todavia, existem agentes como vírus bactérias, micoplasmas, molicutes e fitotoxicidez que causam alterações nas folhas e causam sérios prejuízos à cultura do milho.

### Tombamento de plântulas

No caso do tombamento de plântulas, as sementes em germinação podem ser atacadas por vários fungos patogênicos que sobrevivem no solo ou são disseminados via semente e que irão causar apodrecimento e/ou a destruição das plântulas. Sob condições brasileiras, o milho é atacado por *Fusarium verticillioides* (sin. *Fusarium moniliforme*), *F. graminearum, Stenocarpella spp* (sin. *Diplodia maydis*), *Cephalosporium acremonium, Pythium* spp., *Rhizoctonia zeae*, *Bipolaris maydis (sin. Drechslera maydis), Aspergilllus* spp., *Penicillium* spp., *Colletotrichum graminicola*, etc.

Para o manejo inicial da cultura do milho, recomenda-se utilizar sementes de cultivares resistentes, semente de boa qualidade, ou seja, com pureza física, genética, sanitária e elevados atributos fisiológicos, adequadas práticas de semeadura e de manejo da cultura, associado a sementes tratadas com fungicidas tais como a base de captan, quintozene (PCNB), tolylfluanid, fludioxonil, thiabendazole, carboxin + thiram, carbendazim + thiram, fludioxonil + metalaxyl, etc.

## Mancha foliar de Phaeosphaeria ou mancha branca

A mancha foliar ou mancha branca é causada por *Phaeosphaeria maydis*, *Phyllosticta* spp., *Phoma sorguina*, *Sclerophthora* spp. E a bactéria *Pantoea ananas*, é a principal doença na atualidade na cultura do milho, devido a sua distribuição generalizada pelas regiões produtoras, e ocorrendo mais na fase final do ciclo da cultura causando sérios prejuízos nos cultivares suscetíveis. A incidência e severidade desta doença no Brasil têm aumentado significativamente e pode afetar a produção de grãos em até 60%.

O patógeno sobrevive em restos culturais e é disseminado através de estruturas denominadas ascósporo, os quais sob condições climáticas favoráveis, podem germinar e infectar folhas novas ou maduras. É de fácil disseminação e de rápida velocidade de colonização dos tecidos, sendo que o seu desenvolvimento é favorecido por temperatura diurna entre 24°C e 30°C, com temperaturas noturnas em torno de 14°C a 16°C e umidade relativa do ar superior a 60%. Ainda, regiões com abundante formação de orvalho e baixa luminosidade podem favorecer sua incidência, assim como em regiões com altitude superior a 700 metros, favorece a maior ocorrência da doença.

Os sintomas típicos nas folhas são lesões necróticas de cor palha (ou esbranquiçada), em número variável, com formas variando de circulares a elípticas com diâmetro oscilando de 0,3 a 1,0 cm (semelhante a lesões causadas por deriva de paraquat). No início, as lesões são aquosas de cor verde-clara, e com a evolução da doença, a frutificação do fungo pode ser observada no centro das lesões. Em geral, os sintomas aparecem primeiro nas folhas inferiores (de baixeiro), progredindo rapidamente em direção ao ápice da planta, sendo mais severos após o pendoamento. Quando em condições favoráveis, pode causar seca prematura das folhas e redução do ciclo da planta, bem como provocar redução drástica no tamanho e densidade dos grãos.

As principais medida de controle são o uso de híbridos resistentes à doença (quando possível), evitar semeaduras tardias onde coincide com a maior incidência da doença, incorporar os restos culturais ao solo, uso de fungicidas à base de estrobilurinas mais triazóis associados a ditiocarbamatos, cúpricos e antibióticos no início dos sintomas a partir de $V_8$ até o início do pendoamento.

## Mancha de Helmintosporium ou helmintosporiose

A helmintosporiose (*Exserohilum turcicum* [sin. *Helminthosporium turcicum*]) inclui-se entre as doenças mais antigas e importantes relacionadas à cultura do milho no Brasil, causando perdas de produção, particularmente em condições de alta umidade relativa do ar e temperaturas amenas. Em regiões onde predominam temperaturas moderadas e períodos intermitentes de tempo nublado, o desenvolvimento da lesão é acentuado pela baixa luminosidade. A maior severidade da doença ocorre nas épocas de

semeadura de agosto/setembro e de safrinha, sendo que o baixo nível de adubação potássica pode favorecer o seu desenvolvimento.

A sua disseminação é pelo vento ou por água de chuvas, causando rápida disseminação da doença pela cultura. Sobrevive em restos de cultura sob a forma de conídios e ou clamidósporos, favorecendo o aumento de inoculo onde não ocorre a incorporação dos restos culturais. O sorgo, capim massambará, capim Sudão, teosinto e plantas voluntárias de milho são hospedeiros.

O desenvolvimento da doença é favorecido por temperaturas entre 18°C a 24°C (ideal 20°C) e forte orvalho na superfície foliar e por condições em que ocorrem fotoperíodos curtos e baixa intensidade luminosa.

Os sintomas característicos da mancha foliar de turcicum são lesões necróticas alongadas e de forma elíptica, que podem variar de 2,5 a 15 cm de comprimento, de coloração palha e bordas bem definidas e irregularmente distribuídas na superfície foliar e que em casos severos, coalescem, podendo-se tornar escuras devido à frutificação do fungo. Cultivares que possuem o gene Ht1 para resistência a *H. turcicum*, em geral, apresentam lesões alongadas e cloróticas, circundadas por um halo amarelado. Os sintomas são mais severos após o pendoamento, sendo essa época a mais adequada para a realização de avaliações da severidade da doença ou da resistência de cultivares. Em genótipos suscetíveis, essa doença pode causar seca precoce da planta e redução do tamanho dos grãos. Sob temperaturas superiores a 20°C, as lesões apresentam conídios marrons, curvos, septados e caracterizados pela presença de um hilo na extremidade. Sob temperaturas inferiores a 20°C, os conídios são marrons, menores e retos, e com algum ou nenhum septo.

Para o seu manejo, recomendam-se utilizar híbridos resistentes à doença, adubação balanceada, principalmente N e K, rotação de culturas, eliminar restos de cultura e plantas voluntárias, e utilizar fungicidas visando o controle químico da doença através de triazóis e estrobilurinas como azoxistrobina, piraclostrobina, picoxistrobina e trifloxistrobina associados a ciproconazol, epoxiconazol, tebuconazol, tetraconazol, propiconazol, prothioconazol, etc.

### Mancha foliar de *Bipolaris maydis*

Esta doença, denominada de mancha foliar de *Bipolaris maydis* (sin. *H. maydis*, *Drechslera maydis*), foi muito importante na década de 70 e é comum em regiões com temperaturas entre 20°C e 32°C e úmidas, disseminando-se pelo vento e por respingos de chuva. O patógeno sobrevive em restos culturais na forma de micélio ou de clamidósporos, sendo que os conídios são marrons, longos e tipicamente curvos e com as extremidades afiladas não havendo formação de hilo e as lesões foliares são necróticas de bordos paralelos medindo de 0,6 a 1,2 por 0,6 a 2,7 cm, geralmente são de coloração palha e aparecem primeiro nas folhas de baixeiro. Nas bainhas e brácteas

das espigas, aparecem circundadas por um halo avermelhado e no interior das brácteas e nos grãos, as lesões apresentam cor preta.

O manejo de controle da doença é efetuado através de utilização de híbridos resistentes, rotação de culturas, eliminação dos restos culturais e uso de fungicidas visando o controle da doença.

## Ferrugem comum

A ferrugem comum é a mais antiga e a mais estudada no Brasil podendo ser encontrada em todas as regiões onde o milho é cultivado, embora ocorra com maior intensidade na região sul, devido à temperatura mais amena. Assim como as outras ferrugens, sob condições favoráveis, pode causar seca prematura da planta, comprometendo significativamente a produção. A maior severidade da doença é obtida nos meses de agosto a outubro nas regiões subtropicais altas e baixas e de agosto a setembro nas regiões tropicais altas.

O agente causal é *Puccinia sorghi* e apresenta ciclo completo, tendo como hospedeiro alternativo o trevo silvestre (*Oxalis* sp.). É uma doença favorecida por temperaturas entre 16°C e 23°C e alta umidade relativa do ar. A disseminação ocorre através de uredosporos formados no próprio milho ou pro aeciosporos produzidos no hospedeiro alternativo (trevo), cuja disseminação ocorre, principalmente, através do vento. O trevo é infectado pelo micélio proveniente da germinação dos basidiósporos que são formados após a germinação dos teliosporos, no solo.

A ferrugem comum caracteriza-se pela presença de pústulas elípticas e alongadas, localizadas nas duas faces da folha. Inicialmente apresentam coloração marrom claro que se intensifica, adquirindo cor negra à medida que amadurecem e se rompem as pústulas formando uma fenda característica. A diferença em relação à *Puccinia polysora* está na coloração mais escura e no formato mais alongado das pústulas.

O seu manejo consiste na utilização de híbridos resistentes, uso de rotação de culturas, eliminação de plantas voluntárias de milho e trevo, evitar o uso excessivo de adubação nitrogenada e uso de fungicidas à base de triazóis e estrobilurinas como azoxistrobina, piraclostrobina, picoxistrobina e trifloxistrobina associados a ciproconazol, epoxiconazol, tebuconazol, tetraconazol, propiconazol, prothioconazol, etc., logo no início dos sintomas ou no aparecimento das primeiras pústulas, no período compreendido do V8 até o pendoamento.

## Ferrugem de polisora

A ferrugem de polisora é a mais agressiva e destrutiva das ferrugens em milho. Sua ocorrência é comum nas regiões do Brasil Central, podendo causar seca prematura das plantas com redução acentuada do tamanho das espigas e na taxa de enchimento dos grãos.

A disseminação do agente causal *Puccinia polysora* é realizada principalmente pelo vento. Após o aparecimento das primeiras pústulas nas

plantas de milho, ocorre rápida multiplicação do potencial de inoculo do patógeno que transportado pelo vento, causa acelerada disseminação da doença no campo, enquanto as condições climáticas permanecerem favoráveis. Quando a doença incide nas fases iniciais de desenvolvimento das plantas, a redução na produção é significativa, porém quando ocorre na fase final de desenvolvimento, praticamente não afeta a produção. As fontes primárias e secundárias de inoculo para o milho são constituídas pelo próprio milho. A severidade da ferrugem de polisora é favorecida por temperaturas entre 27°C e 34°C e umidade relativa do ar alta (condições predominantes em altitudes inferiores a 700 metros)

As pústulas produzidas por *P. polysora* são menores que as causadas pela ferrugem comum (*P. sorghi*), tem formato circular a elíptico, e sua coloração varia do amarelo ao dourado. As pústulas podem ocorrem densamente distribuídas em ambas as faces do limbo foliar, na bainha, nas brácteas das espigas e em condições de alta severidade, no pendão das plantas. Podem ser observadas cobertas pela epiderme, sendo que quando rompem, apresentam aspecto pulverulento. Sob condições severas de ocorrência pode causar o quebramento do colmo.

As principais medidas de controle são o uso de híbridos resistentes à doença, uso de rotação de culturas, evitar híbridos superprecoces em regiões de baixa altitude e semeaduras tardias, realizar a semeadura em épocas com condições desfavoráveis ao desenvolvimento da doença, evitar o uso excessivo de adubação nitrogenada e uso de fungicidas à base de triazóis e estrobilurinas como azoxistrobina, piraclostrobina, picoxistrobina e trifloxistrobina associados a ciproconazol, epoxiconazol, tebuconazol, tetraconazol, propiconazol, prothioconazol, etc., logo no início dos sintomas ou no aparecimento das primeiras pústulas, no período compreendido do $V_8$ até o pendoamento.

**Ferrugem tropical**

A ferrugem tropical ou branca é causada por *Physopella zeae* e é uma das mais novas doenças da cultura do milho no Brasil, tendo sido relatada somente em 1985. A partir do início da década de 90, a ferrugem tropical tem se destacado devido à severidade de ocorrência em vários municípios do sudoeste goiano. Assim como a ferrugem polysora, pode causar a seca prematura das plantas, reduzindo drasticamente o tamanho das espigas e dos grãos. Pode ocorrer em qualquer fase do desenvolvimento das plantas, sendo mais prejudicial à produção quando ocorre em plantas jovens e em condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento do patógeno. Atualmente, pode ser observada nas mesmas condições climáticas e que futuramente poderá ser encontrada em todas as regiões de ocorrência da referida doença.

O agente causal *Physopella zeae* é favorecido por condições climáticas muito parecidas às citadas para *Puccinia polysora*, apesar de sua maior incidência estar relacionada a temperaturas mais elevadas. Assim, locais

onde predominem temperaturas na faixa entre 24°C e 35°C e alta umidade relativa do ar pode apresentar a doença, caracterizando a maior incidência da doença, em regiões de produção de milho com altitude inferior a 500 metros. Os uredosporos da *P. zeae* são transportados principalmente pelo vento, o que permite uma rápida disseminação da doença no campo. Pode também ser disseminada através de massa vegetal. Até o momento não é conhecido hospedeiro alternativo para este patógeno.

A ferrugem tropical pode ser facilmente identificada pela coloração creme de suas pústulas, as quais apresentam tamanho pequeno, e ocorrem tipicamente em grupos e possuem formato circular ou oblongo e coloração clara, podendo variar de amarelas a castanhas, na face superior da folha. Com o desenvolvimento da doença pode ser observado o aparecimento de um bordo (halo) escuro e avermelhado ao redor do grupo de pústulas. As pústulas podem aparecer em várias partes da planta e sob condições de alta incidência, pode ocorrer a coalescência de grupos de pústulas com conseqüente enrugamento e seca prematura das folhas.

As principais medidas de controle são a utilização de híbridos resistentes à doença, rotação de culturas, evitar semeadura de milho em regiões baixas (inferior a 500 m) entre novembro e janeiro, e evitar o uso excessivo de adubação nitrogenada.

## Mancha de diplódia

No Brasil, a doença tem sido denominada de mancha foliar de diplódia macrospora, ou mancha de diplódia ou mancha de macrospora, onde seu primeiro relato foi por Johann (1935) no estado de São Paulo, causando podridão em sementes, todavia, os sintomas de manchas foliar somente foram relatados em 1973 na Bahia (RAM et al., 1973).

A mancha de diplódia tem ocorrido freqüentemente nas lavouras de milho conduzidas em monocultura. Apesar de infectar as folhas e em muitos casos dilacerar o tecido foliar necrosado, o dano torna-se mais grave em virtude da grande produção de inoculo sobre as lesões, o qual contribui para a infecção do colmo e da espiga do milho. No Brasil, o fungo tem contribuído para a produção de grãos ardidos e dificuldades na colheita pelo tombamento de colmo da planta.

As manchas de diplódia macrospora têm como agente causal a *Stenocarpella macrospora* (sin. *Diplodia macrospora*) que apresenta no campo somente a forma anamórfica (imperfeita ou assexuada), tem picnídios imersos, globosos com coloração marrom-escura a preta paredes grossas e os conídios apresentam de 1 a 2 septos.

As lesões iniciais em alguns híbridos apresentam-se na forma de tecido clorótico seguido de necrose. As lesões são de forma irregular com 1 a 3 cm de comprimento, de cor parda, apresentando anéis concêntricos mais escuros a partir do ponto inicial de infecção. As primeiras lesões também podem ser visualizadas na forma de pequenas estrias avermelhadas ou pardas. Mais tarde aumentam de tamanho estendendo-se no sentido do comprimento total

da folha, podendo dilacerar o tecido vegetal infectado. Sobre os tecidos necrosados, predominando no lado superior da folha, são observados pequenos pontos negros, subepidérmicos, isolados ou agrupados, constituídos pelos picnídios do fungo. Sob clima úmido, e com auxílio de lupa de mão, podem ser observados os cirros longos extrudando dos picnídios. Os esporos produzidos sobre as lesões podem ser transportados pela água até a bainha foliar onde posteriormente, germinam e iniciam a infecção do colmo ou da base da espiga (REIS et al., 2004).

Algumas vezes as lesões necróticas de *H. turcicum* são confundidas com aquelas causadas por *Diplodia macrospora*. Todavia, podem ser facilmente diferenciadas através do ponto de infecção caracterizando as lesões de *D. macrospora* por um pequeno círculo no centro da lesão, claramente visível quando observado contra luz.

O fungo *S. macrospora* causa podridão de sementes, morte de plântulas, podridão de raízes, do colmo e da espiga e mancha foliar. É um fungo parasita necrótico, apresentando a fase parasitária na planta viva e a fase saprofítica nos restos de cultura.

Os restos culturais de milho são a principal fonte de inoculo primário para as podridões de colmo, da espiga e para mancha foliar de diplodia. Na palha o fungo sobrevive formando picnídios, produzindo e liberando cirros de conídios, que constituem o inoculo primário para as plantas do novo cultivo.

Ventos e respingos de d'água que são os principais agentes de disseminação dos conídios do fungo, sendo que a semente é o veículo primário de expansão para novas áreas. A temperatura ótima para a germinação dos conídios de *S. macrospora* está na faixa de 26°C a 29°C.

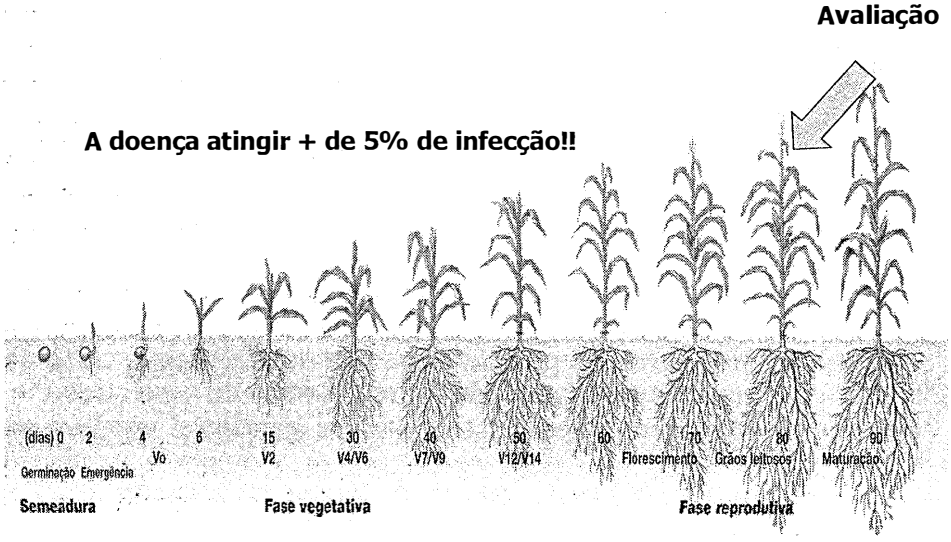
## ASPECTOS PRÁTICOS DE MANEJO

O manejo de doenças de milho é um conjunto complexo de fatores que interferem diretamente no rendimento e qualidade do milho tanto para consumo animal como humano, e baseando-se nisto, por exemplo, devemos verificar a incidência de doenças nos diversos híbridos de milho no período denominado de "ponto de pamonha" ou estádio "seis" (fase de grãos leitosos), fase em que ocorre a máxima transferência de nitrogênio e fósforo pela planta, presente nas folhas da espiga, e se as mesmas apresentarem incidência acima de 5% de doença, deveremos recomendar a aplicação de fungicidas para o manejo de doenças foliares do milho, pois tal prática, em média, propicia uma melhor sanidade das folhas, colmo e espigas da planta de milho, favorecendo o incremento e a estabilidade produtiva, onde possibilita a equalização entre o produto aplicado, a aplicação e mais o incremento produtivo.

Os incrementos produtivos observados sob condições de campo no cerrado brasileiro notadamente em Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Bahia, fazem com que a utilização de fungicidas, seja mais uma ferramenta importante no trato cultural e do manejo integrado de doenças da cultura do milho. Tal fato está intimamente relacionado com a capacidade do híbrido de

milho, ou seja, quanto mais responsivo o milho, em termos de produtividade, maior a sua resposta ao uso de fungicidas, possibilitando em muitos casos serem efetuadas não somente uma aplicação, mas duas e até três aplicações para manter o nível baixo de incidência e severidade do patógeno na cultura do milho.

# Estádios de Desenvolvimento do Milho




**Ponto de pamonha** – avaliar 2 folhas na espiga e acima, pois 2 folhas abaixo e Acima da espiga são responsáveis por até 80% do potencial produtivo do milho

## CONTROLE QUÍMICO DE DOENÇAS FOLIARES DE MILHO

A eficiência do controle químico é função das características do patógeno, das condições climáticas reinantes no período, do tipo de produto químico a ser utilizado, de seu modo de ação e da forma, época e intervalo de aplicação, e no caso do milho, do material genético utilizado (híbrido), pois o resultado será melhor se houver a interação dos fatores acima citados.

Conforme descrito no quadro abaixo, as aplicações de produtos químicos poderão apresentar manejo preventivo (uso de produtos protetores ou de contato) ou erradicantes (uso de produtos sistêmicos e translaminares).

De acordo com Azevedo (1997), os fungicidas protetores formam uma barreira química sobre as folhas e brotações novas e atuam, preferencialmente, na germinação dos esporos fúngicos, devendo ser aplicados, preventivamente, no início da epidemia, quando o inoculo ainda é baixo. Por outro lado, os fungicidas sistêmicos, devido as suas características de penetração, translocação e efeito erradicante (curativo), apresentam maior flexibilidade de aplicação, atuando nos processos de pós-infecção (colonização, reprodução e esporulação). A ação erradicante e curativa

desses compostos está diretamente ligada ao grupo químico e a estabilidade metabólica da molécula empregada.

| Preventivo | Curativo | Erradicante |
|---|---|---|
| Aplicar antes do fungo depositar o esporos sobre o hospedeiro | Aplicar nos 1° esporos depositados sobre o hospedeiro | Aplicar nos 1° sintomas da doença no hospedeiro |
| Pré-penetração | Pós-penetração<br>Pré-sintoma /sinal | Pós-sintoma/sinal |
| Modo de ação dos fungicidas | | |
| Contato | Contato, antiesporulante | Translaminar, sistêmico |

Uma vez conhecido o modo de ação dos fungicidas e bactericidas visando o manejo das doenças citados neste capítulo, devemos nos ater a forma de como vamos aplicá-los, sendo que para obtermos o resultado positivo na ação a ser efetuada é necessário que saibamos fazer a correta diagnose ou identificação e de acordo com Azevedo (1997), apresenta como principais objetivos: (i) avaliar a evolução da doença ou da epidemia; (ii) comparar a eficiência de fungicida no controle da doença; (iii) avaliar a resistência de cultivares provenientes de melhoramento genético a patógenos; (iv) auxiliar na determinação do momento de aplicação de fungicidas visando ao controle de doenças em plantas; (v) determinar a porcentagem de perdas no rendimento de grãos em função da intensidade da doença e (vi) avaliar a influência de práticas agrícolas no controle e na intensidade de doenças.

Quando falamos em diagnose, devemos quantificar a **incidência** da doença na área, ou seja, a porcentagem de plantas atacadas com determinada doença e a **severidade** que é a quantidade de sintomas na planta ou o grau de infecção da área lesionada que em geral, irá expressar o nível de dano na folha, colmo ou espiga, e conseqüentemente, o rendimento e a qualidade do produto a ser colhido. A forma com que realizamos a avaliação do grau de dano é baseada em escalas diagramáticas através de notas que irão expressar a porcentagem de área lesionada ou afetada. Sendo que a comparação e avaliação da doença na cultura através de escala diagramática está atrelado ao estádio fisiológico da cultura, aonde irá expressar a real situação daquela lavoura.

Um exemplo disto é observado no campo, aonde o produtor não obtém os resultados esperados devido a erro de diagnose da doença e a hora da aplicação (*timming*) e o intervalo entre uma aplicação e outra, como acontece quando o complexo de mancha branca ou phaeosphaeria, mais cercospora e turcicum, aparece por volta de V8 (oito folhas) e se espera para efetuar uma aplicação em pré-pendoamento com uso apenas de fungicidas, ou seja, o que acontece neste caso, é que ocorre um controle abaixo do esperado sobre os patógenos citados acima, decorrente da hora da aplicação, mais a falta de um

produto que tenha uma ação bacteriostática sobre a bactéria Pantoea que está no complexo de mancha branca.

Outro fator determinante na cultura do milho para o manejo de doenças em milho é forma com que se vai aplicar, via terrestre ou aérea, por exemplo, pois além do fator amassamento da aplicação terrestre que temos que analisar a relação de quanto vai perder por amassamento em função do nível de dano da doença e o investimento na aplicação aérea versus a condição climática do período. Aliado ao fato de que a forma de aplicação tem que ser efetuadas na hora correta de aplicação, e de açodo com o clima, cobertura de alvo, e em tempo hábil para cobrir toda a área plantada, ou seja, independente da cultura, a logística de máquinas da propriedade tem condições de aplicar, logo após a determinação da diagnose, em até 24 horas fitohormônios, em até 48 horas inseticidas e em até 72 horas, fungicidas e reaplicar toda a área em até 7 dias no período de pico da propriedade. Se não tem esta condição, pode redimensionar sua logística de máquinas, pois terá problemas se houver uma epidemia de doenças em milho, soja ou algodão. Este é um fator crucial dentro do manejo de doenças, pois atualmente temos vários produtos à disposição para o controle e sabemos efetuar a diagnose, todavia, em geral, pecamos hora de aplicar e na reaplicação. Não podemos admitir em uma cultura de alto investimento tecnológico errarmos nisto.

A seguir alguns artigos publicados sobre manejo do complexo de doenças de milho com uma e duas aplicações são apresentados para análise.

*Artigo 1 - O intuito do presente trabalho foi de avaliar a eficiência de uma aplicação de fungicidas no controle das doenças foliares da cultura do milho através da análise da porcentagem de incidência das doenças foliares, produtividade e peso de mil sementes*.

A aplicação iniciou no período de pré-pendoamento, na safra 2007/2008 em Costa Rica, Mato Grosso do Sul, com uso de um pulverizador costal pressurizado a $CO_2$, com bico leque 11002, na vazão de 200 $L.ha^{-1}$. O híbrido utilizado foi o Pioneer 30K75, e foi avaliada a porcentagem de incidência das doenças foliares 20 dias após a aplicação do fungicida, produtividade em sacas de 60 $kg.ha^{-1}$ e peso de mil sementes em gramas.

Os tratamentos utilizados (Tabela 7.2) foram: (a) testemunha sem fungicidas; (b) trifloxistrobina + tebuconazole + OMS (600 mL de p.c. por ha + 600 mL de p.c. por ha); (c) azoxistrobina + ciproconazol + óleo mineral (300 mL de p.c. por ha + 500 mL de p.c. por ha); (d) picoxistrobina + ciproconazol + óleo mineral (250 mL de p.c. por ha + 250 mL de p.c. por ha + 500 mL de p.c. por ha); (e) trifloxistrobina + tebuconazol + OMS (750 mL de p.c. por ha + 1.000 mL de p.c. por ha); (f) prothioconazol (400 mL de p.c. por ha) e (g) piraclostrobina + epoxiconazol (750 mL de p.c. por ha).

Analisando os resultados, verificou-se que todos os tratamentos foram eficientes para a redução do potencial de inoculo das doenças foliares da cultura do milho, assim como na produtividade, onde os tratamentos (e) trifloxistrobina + tebuconazole + OMS (750 mL de p.c. por ha + 1.000 mL de p.c. por ha); (d) picoxistrobina + ciproconazol + óleo mineral (250 mL de p.c.

por ha + 250 mL de p.c. por ha + 500 mL de p.c. por ha); (f) prothioconazol (400 mL de p.c. por ha); (c) azoxistrobina + ciproconazol + óleo mineral (300 mL de p.c. por ha + 500 mL de p.c. por ha; (b) e (g) piraclostrobina + epoxiconazol (750 mL de p.c. por ha), diferiram estatisticamente da testemunha e propiciaram incrementos produtivos de até 22,66 $sc.ha^{-1}$ e/ou até 15,73% a mais. Quanto ao peso de mil sementes, somente o tratamento (b) diferiu estatisticamente da testemunha sem fungicidas.

No decorrer do experimento, não foi observado sintoma de fitotoxicidez aparente nas parcelas com e sem tratamentos.

*No artigo 2 - O intuito do presente trabalho foi de avaliar a eficiência de duas aplicações de fungicidas no controle das doenças foliares da cultura do milho através da análise da porcentagem de incidência das doenças foliares, produtividade e peso de mil sementes.*

Tabela 7.2. Efeito de uma aplicação de fungicidas no controle de doenças foliares de milho, avaliado mediante a porcentagem de incidência da doença (%), no híbrido Pioneer 30K75, na Fazenda Celema, Costa Rica, MS, safra 2007/2008, sob condições de infecção natural.

| Tratamento | Média | S-K | D | T |
|---|---|---|---|---|
| 1. Testemunha | 48,75 | a | a | a |
| 2. Trifloxistrobina + tebuconazole + OMS (0,6 + 0,6) | 36,75 | b | b | b |
| 3. Azoxistrobina+ciproconazol + óleo mineral (0,3 + 0,5) | 36,25 | b | b | b |
| 4. Picoxistrobina + ciproconazol + óleo mineral (0,25 + 0,25 + 0,5) | 39,50 | b | b | b |
| 5. Trifloxistrobina + tebuconazole + OMS (0,75 + 1,0) | 37,5 | b | b | b |
| 6. Prothioconazol (0,4) | 34,75 | b | b | b |
| 7. Piraclostrobina + epoxiconazol (0,75) | 39,5 | b | b | b |
| Coeficiente de variação (%) | 9,83 | | | |

Médias seguidas por mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si (Duncan $\alpha \geq 0,05$). S-K: Scott-Knott; D: Duncan e T: Tukey.

Tabela 7.3. Efeito de uma aplicação de fungicidas no controle de doenças foliares de milho, avaliado mediante a produtividade (sacos de 60 kg.ha$^{-1}$) e incremento produtivo (em %), no híbrido Pioneer 30K75, na Fazenda Celema, Costa Rica, MS, safra 2007/2008, sob condições de infecção natural.

| Tratamento | Média | Dif. | % | S-K | D | T |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Testemunha | 144,11 | 0,00 | 0,00 | b | b | b |
| 2. Trifloxistrobina + tebuconazol + OMS (0,6 + 0,6) | 161,31 | 17,20 | 11,94 | a | a | a |
| 3. Azoxistrobina + ciproconazol + óleo mineral (0,3 + 0,5) | 161,74 | 17,63 | 12,23 | a | a | a |
| 4. Picoxistrobina + ciproconazol + óleo mineral (0,25 + 0,25 + 0,5) | 165,29 | 21,18 | 14,70 | a | a | a |
| 5. Trifloxistrobina + tebuconazol + OMS (0,75 + 1,0) | 166,77 | 22,66 | 15,73 | a | a | a |
| 6. Prothioconazol (0,4) | 162,88 | 18,77 | 13,03 | a | a | a |
| 7. Piraclostrobina + epoxiconazol (0,75) | 159,41 | 15,29 | 10,61 | a | a | a |
| Coeficiente de variação (%) | 2,7895 | | | | | |

[1] Médias seguidas por mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si (Duncan $\alpha \geq 0,05$). S-K: Scott-Knott; D: Duncan e T: Tukey.

As aplicações iniciaram no período de pré-pendoamento e dez dias após a primeira aplicação, na safra 2007/2008 em Costa Rica, Mato Grosso do Sul, com uso de um pulverizador costal pressurizado a $CO_2$, com bico leque 1 1002, na vazão de 200 L.ha$^{-1}$. O híbrido utilizado foi o Pioneer 30K75, e foi avaliada a porcentagem de incidência das doenças foliares 20 dias após a aplicação do fungicida, produtividade em sacas de 60 kg.ha$^{-1}$ e peso de mil sementes em gramas.

Os tratamentos utilizados (Tabela 7.5) foram: (a) testemunha sem fungicidas; (b) trifloxistrobina + tebuconazole + OMS (600 mL de p.c. por ha + 600 mL de p.c. por ha); (c) azoxistrobina + ciproconazol + óleo mineral (300 mL de p.c. por ha + 500 mL de p.c. por ha); (d) picoxistrobina + ciproconazol + óleo mineral (250 mL de p.c. por ha + 250 mL de p.c. por ha + 500 mL de p.c. por ha); (e) trifloxistrobina + tebuconazole + OMS (750 mL de p.c. por ha + 1.000 mL de p.c. por ha); (f) prothioconazol (400 mL de p.c. por ha) e (g) piraclostrobina + epoxiconazol (750 mL de p.c. por ha).

Tabela 7.4. Efeito de uma aplicação de fungicidas no controle de doenças foliares de milho, avaliado mediante ao peso de mil sementes (pms), no híbrido Pioneer 30K75, na Fazenda Celema, Costa Rica, MS, safra 2007/2008, sob condições de infecção natural.

| Tratamento | Média | S-K | D | T |
|---|---|---|---|---|
| 1. Testemunha | 364,38 | a | b | a |
| 2. trifloxistrobina + tebuconazole + OMS (0,6 + 0,6) | 381,25 | a | a | a |
| 3. azoxistrobina + ciproconazol + óleo mineral (0,3 + 0,5) | 375,00 | a | ab | a |
| 4. picoxistrobina+ciproconazol + óleo mineral (0,25 + 0,25 + 0,5) | 362,50 | a | b | a |
| 5. Trifloxistrobina + tebuconazole + OMS (0,75 + 1,0) | 376,25 | a | ab | a |
| 6. Prothioconazol (0,4) | 370,00 | a | ab | a |
| 7. Piraclostrobina + epoxiconazol (0,75) | 376,88 | a | ab | a |
| Coeficiente de variação (%) | 2,41 | | | |

[1] Médias seguidas por mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si (Duncan α≥0,05). S-K: Scott-Knott; D: Duncan e T: Tukey

Analisando os resultados, verificou-se que todos os tratamentos foram eficientes para a redução do potencial de inoculo das doenças foliares da cultura do milho, peso de mil grãos (pmg em g), assim como na produtividade, onde destacaram os tratamentos (c) azoxistrobina + ciproconazol + óleo mineral (300 mL de p.c. por ha + 500 mL de p.c. por ha); (b) trifloxistrobina + tebuconazole + OMS (600 mL de p.c. por ha + 600 mL de p.c. por ha); (d) picoxistrobina + ciproconazol + óleo mineral (250 mL de p.c. por ha + 250 mL de p.c. por ha + 500 mL de p.c. por ha); (e) trifloxistrobina + tebuconazole + OMS (750 mL de p.c. por ha + 1.000 mL de p.c. por ha); (f) prothioconazol (400 mL de p.c. por ha) e (g) piraclostrobina + epoxiconazol (750 mL de p.c. por ha), diferiram estatisticamente da testemunha e propiciaram incrementos produtivos de até 37,97 sc.ha$^{-1}$ e/ou até 26,34% a mais.

No decorrer do experimento, não foi observado sintoma de fitotoxicidez aparente nas parcelas com e sem tratamentos.

Tabela 7.5. Efeito de duas aplicações de fungicidas no controle de doenças foliares de milho, avaliado mediante a porcentagem de incidência da doença (%), no híbrido Pioneer 30K75, na Fazenda Celema, Costa Rica, MS, safra 2007/2008, sob condições de infecção natural.

| Tratamento | Média | S-K | D | T |
|---|---|---|---|---|
| 1. Testemunha | 50,00 | a | a | a |
| 2. Trifloxistrobina + tebuconazole + OMS (0,6 + 0,6) | 32,75 | b | b | b |
| 3. Azoxistrobina + ciproconazol + óleo mineral (0,3 + 0,5) | 30,00 | b | b | b |
| 4. Picoxistrobina + ciproconazol + óleo mineral (0,25 + 0,25 + 0,5) | 28,00 | b | b | b |
| 5. Trifloxistrobina + tebuconazol + OMS (0,75 + 1,0) | 28,50 | b | b | b |
| 6. Prothioconazol (0,4) | 33,00 | b | b | b |
| 7. Piraclostrobina + epoxiconazol (0,75) | 33,00 | b | b | b |
| Coeficiente de variação (%) | 11,9686 | | | |

[1] Médias seguidas por mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si (Duncan α≥0,05). S-K: Scott-Knott; D: Duncan e T: Tukey.

Tabela 7.6. Efeito de duas aplicações de fungicidas no controle de doenças foliares de milho, avaliado mediante a produtividade (sacos de 60 $kg.ha^{-1}$) e incremento produtivo (em %), no híbrido Pioneer 30K75, na Fazenda Celema, Costa Rica, MS, safra 2007/2008, sob condições de infecção natural.

| Tratamento | Média | Dif | % | S-K | D | T |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Testemunha | 144,11 | 0,00 | 0,00 | b | b | b |
| 2. Trifloxistrobina + tebuconazole + OMS (0,6 + 0,6) | 178,82 | 34,71 | 24,09 | a | a | a |
| 3. Azoxistrobina + ciproconazol + óleo mineral (0,3 + 0,5) | 182,08 | 37,97 | 26,34 | a | a | a |
| 4. Picoxistrobina + ciproconazol + óleo mineral (0,25 + 0,25 + 0,5) | 175,95 | 31,84 | 22,09 | a | a | a |
| 5. Trifloxistrobina + tebuconazol + OMS (0,75 + 1,0) | 174,15 | 30,04 | 20,84 | a | a | a |
| 6. Prothioconazol (0,4) | 171,91 | 27,79 | 19,29 | a | a | a |
| 7. Piraclostrobina + epoxiconazol (0,75) | 173,75 | 29,63 | 20,56 | a | a | a |
| Coeficiente de variação (%) | 3,906 | | | | | |

[1] Médias seguidas por mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si (Duncan α≥0,05). S-K: Scott-Knott; D: Duncan e T: Tukey.

Tabela 7.7. Efeito de duas aplicações de fungicidas no controle de doenças foliares de milho, avaliado mediante ao peso de mil sementes (pms), no híbrido Pioneer 30K75, na Fazenda Celema, Costa Rica, MS, safra 2007/2008, sob condições de infecção natural.

| Tratamento | Média | S-K | D | T |
|---|---|---|---|---|
| 1. Testemunha | 364,38 | b | b | b |
| 2. Trifloxistrobina + tebuconazol + OMS (0,6 + 0,6) | 385,63 | a | a | ab |
| 3. Azoxistrobina + ciproconazol + óleo mineral (0,3 + 0,5) | 395,63 | a | a | a |
| 4. Picoxistrobina + ciproconazol + óleo mineral (0,25 + 0,25 + 0,5) | 395,00 | a | a | a |
| 5. Trifloxistrobina + tebuconazol + OMS (0,75 + 1,0) | 388,13 | a | a | ab |
| 6. Prothioconazol (0,4) | 390,00 | a | a | a |
| 7. Piraclostrobina + epoxiconazol (0,75) | 381,25 | a | a | ab |
| Coeficiente de variação (%) | 2,6674 | | | |

[1] Médias seguidas por mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si (Duncan α≥0,05). S-K: Scott-Knott; D: Duncan e T: Tukey.

## BIBLIOGRAFIA

AZEVEDO, L.A.S. Manual de quantificação de doenças de plantas. São Paulo, 1997. 114p.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho. Piracicaba, 2008. 360p.

FANTIN, G.M.; DUARTE, A.P.; SAWAZAKI, E. Controle químico de doenças foliares de milho. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 8., Campinas, 2005. **Anais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2005. p.195-218.

FERNANDES, F.T.; OLIVEIRA, E. Principais doenças na cultura do milho. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 2000. 80p. (Circular Técnica).

FORNASIERI FILHO, D. Manual da cultura do milho. Jaboticabal, 2007. 576p.

KIMATI, H. Controle químico. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.) **Manual de Fitopatologia:** princípios e conceitos. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1995. v.1, cap.38, p.761-85.

REIS, E.M.; CASA, R.T.; BRESOLIN, A.C.R. Manual de diagnose e controle de doenças do milho. Lages, 2004. 144p.

WHITE, D.G. Compendium of corn diseases. St. Paul, Minnesota, 1999. 78p.

# ALTERNATIVAS DE CULTURAS PARA ROTAÇÃO EM PLANTIO DIRETO

**Antonio Luiz Fancelli**

Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Dr. e Docente do Departamento de Produção Vegetal, ESALQ, Universidade de São Paulo.
Caixa Postal 9, Piracicaba-SP, 13418-900, +(19)3429.4115
fancelli@esalq.usp.br

## INTRODUÇÃO

A intensiva exploração das áreas agrícolas de forma abusiva e sem critérios definidos, aliada à ausência de preocupação conservacionista, tem resultado na exaustão intensa e gradativa dos recursos naturais, notadamente solo e água, bem como tem contribuído para a poluição de mananciais hídricos, assoreamento de rios e lagos e, sobretudo para a redução da biodiversidade dos diferentes ecossistemas.

Em nosso país, ainda, grande parte das áreas agrícolas é preparada mediante o uso de arado e grade, com porte e freqüência de uso, cada vez maiores, ocasionando acentuada deterioração do solo, de natureza química, física e biológica, que pode ser representada por: (i) predominância de extensas áreas em monocultivo com procedimentos de manejo padronizados; (ii) utilização indiscriminada de defensivos, em geral; (iii) desrespeito à capacidade de uso da terra e de sua aptidão agrícola; (iv) correção e fertilização do solo de maneira simplista e desequilibrada; (v) ritmo acelerado das operações de preparo do solo e de semeadura; (vi) desrespeito à umidade correta para esse fim; (vii) despreocupação contínua quanto à necessidade de manutenção de resíduos na superfície do terreno; e (viii) ausência do emprego de programas de rotação de culturas.

Assim, diante desses fatos, torna-se premente o estabelecimento e o emprego de alternativas de manejo mais racionais e adequadas às condições de ambiente tropical e sub-tropical.

Portanto, nesse contexto, o Sistema Plantio Direto (ou semeadura direta) desponta como alternativa de destaque por se constituir em um sistema de produção de caráter conservacionista, por excelência, e por apresentar significativo grau de sustentabilidade.

O Plantio Direto constitui-se em um sistema de implantação de culturas fundamentado no revolvimento mínimo do solo protegido por cobertura morta (resíduos) proveniente de restos de cultura, plantas daninhas ou de espécies cultivadas para tal fim, através do uso de máquinas especializadas (FANCELLI, 2000). Todavia, todas as vantagens inerentes ao referido sistema implica no observância de um conjunto de requisitos básicos e na adoção de procedimentos racionais e ordenados, que quando devidamente contemplados, poderão contribuir para o incremento significativo da

rentabilidade e da sustentabilidade do processo produtivo, do ambiente e do agronegócio.

Dentre os requisitos básicos mencionados para o sucesso do plantio direto, ressalta-se a necessidade do uso efetivo de programas de rotação de culturas e da produção (e manutenção) de resíduos vegetais, em qualidade e abundância, objetivando a minimização da erosão; a conservação de água no sistema; a redução do gradiente de temperatura; a redução de insetos-praga e patógenos, bem como a manutenção do potencial biótico do solo.

## ROTAÇÃO DE CULTURAS

A rotação de culturas consiste na alternância de espécies ou culturas, em um mesmo terreno, mediante seqüência racional e não arbitrária, de forma a assegurar ou restabelecer o equilíbrio biológico e a produtividade do sistema depauperada pelo monocultivo, bem como possibilitar o aproveitamento dos efeitos de complementaridade entre as plantas envolvidas no programa (FANCELLI, 1987).

O conceito de rotação de culturas não implica no emprego de determinado número de espécies e, nem mesmo, no número de anos relativos à repetição de uma dada espécie. Um programa adequado de rotação de culturas está relacionado à possibilidade de repetição de uma espécie, somente quando seus restos culturais não mais estiverem presentes no local considerado.

Os princípios básicos que determinam a eficiência e o sucesso de programas de rotação de culturas são: (i) alternância de espécies vegetais apresentando exigências nutricionais distintas; (ii) alternância de espécies vegetais apresentando diferentes sistemas radiculares, quanto à arquitetura, distribuição e profundidade de exploração; (iii) alternância de espécies não apresentando suscetibilidade a patógenos e insetos-praga comuns; e (iv) uso de uma ou mais espécies com elevada capacidade de produção de resíduos, preferencialmente com alto valor da relação C/N.

O uso efetivo de programas adequados de rotação de culturas, além de assegurar a viabilidade técnica do sistema plantio direto, principalmente pela redução da população de patógenos necrotróficos específicos e de insetos-praga residentes, poderá também evidenciar outros benefícios tais como: (i) Preservação dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo; (ii) Manutenção da fertilidade do solo; (iii) Redução de plantas daninhas; (iv) otimização do uso de máquinas e de mão-de-obra; (v) Diversificação biológica do sistema e (vi) Contribuição para o incremento da produtividade das culturas.

### Espécies para rotação de culturas em Plantio Direto

O programa de rotação de culturas poderá ser composto por espécies comerciais e por espécies de cobertura (adubos verdes), objetivando a manifestação das vantagens relacionadas ao emprego da referida prática agrícola, bem como contribuir para a estabilidade do sistema.

A escolha ou eleição das espécies componentes do programa de rotação deverá ser fundamentada na: (i) época de semeadura; (ii) condições climáticas da região; (iii) finalidade da produção; e (iv) disponibilidade de sementes.

As espécies comerciais e de cobertura (adubos verdes) que poderão compor o programa de rotação de culturas, aliado às restrições e complementaridade entre os diferentes tipos de plantas associadas, podem ser observadas na Tabela 8.3.

## Quebrando paradigmas

Por muito tempo, a prática da adubação verde ou do emprego de espécies melhoradoras de solo foi empregada apenas como sinônimo de incorporação de nitrogênio ao sistema (50 a 80 $kg.ha^{-1}$) e, sobretudo, mediante o uso exclusivo de leguminosas (fabáceas) para tal fim. Nos dias atuais, com base em inúmeros estudos, recomenda-se o uso de gramíneas (poáceas), tais como milheto, aveias (preta e branca), centeio e, principalmente, braquiárias, quando se objetiva a melhoria da estruturação do solo, a adição de matéria orgânica persistente, bem como a supressão de alguns patógenos e nematóides. E, nesse caso, cumpre salientar que, mesmo com o uso de gramíneas, pode-se evidenciar o aporte de nitrogênio ao sistema, de até 45 $kg.ha^{-1}$, em função da presença de fixadores livres na rizosfera dessas espécies, com ênfase para as bactérias do gênero *Azospirillum.* Ainda, a condução adequada de braquiárias, em condições tropicais e de centeio, em condições mais amenas, poderá ampliar significativamente a taxa de aeração do solo e a estabilidade de agregados, favorecendo o enraizamento e o desempenho das culturas subseqüentes. Da mesma forma, o uso de leguminosas, além do tradicional aporte de nitrogênio, também poderá proporcionar o aumento de fósforo no ambiente de produção pela capacidade de determinadas espécies solubilizar o fósforo indisponível para a maioria das plantas cultivadas, bem como pela facilidade do estabelecimento de associação com fungos micorrízicos, tal como ocorre com o guandu, leucinas e algumas crotalárias (FANCELLI, 2000).

Os adubos verdes ou as espécies de cobertura poderão ser cultivados em sistema singular (solteiro), após a colheita da cultura principal, ou associados com a cultura comercial, conforme apregoado no Sistema Santa Fé, no qual a braquiária é semeada em lavouras de milho, de forma concomitante ou após a emissão da 3ª folha do referido cereal, resultando em benefícios significativos ao processo produtivo do milho e da espécie sucessora. Modalidade semelhante também pode ser evidenciada no Paraná, onde é utilizado o consórcio milho + guandu anão, antecedendo as lavouras de trigo. Com relação ao cultivo exclusivo de adubos verdes, recomenda-se, preferencialmente a associação de duas ou mais espécies, no mesmo local, em comparação ao cultivo individualizado, pois tal procedimento contribuirá para o incremento da eficácia da proteção do solo, redução da população de

plantas daninhas, além de propiciar a produção de resíduos de melhor qualidade.

Tabela 8.1. Produção de fitomassa e permanência dos resíduos na superfície do solo aos 60, 120 e 180 dias após a semeadura (DAS) da soja. Passo Fundo, Rio Grande do Sul (ROMAN, 1990).

| Espécie | Massa seca (palha - kg.ha$^{-1}$) | Permanência dos resíduos (%) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 60 DAS | 120 DAS | 180 DAS |
| Aveia preta | 8231a | 51 b | 42 e | 36 de |
| Aveia branca | 7400 b | 52 fg | 39 e | 34 e |
| Centeio | 4062 e | 74 b | 73 a | 61a |
| Azevém | 4007 e | 40 g | 31 f | 21 g |
| Cevada | 3239 f | 59 de | 51 d | 41 c |
| Triticale | 3025 f | 61 cde | 50 d | 40 cd |
| Trigo | 2965 f | 66 c | 59 c | 58 a |

A associação de espécies de cobertura também favorecerá o aumento da população de organismos antagonistas (benéficos) e maior acúmulo de carbono no perfil do solo. Todavia, a manifestação dos resultados mencionados será dependente da escolha criteriosa das espécies envolvidas no sistema e da proporção de sementes utilizada. As associações mais apropriadas para a cultura de grãos são: aveia preta + nabo forrageiro; milheto + labe-labe; milheto + crotalárias; braquiária + guandu; aveia preta + tremoço; aveia preta + ervilhaca; centeio + ervilhaca; centeio + tremoço branco ou azul; milheto + labe-labe + nabo forrageiro; aveias + nabo forrageiro + girassol, além de outras.

Tabela 8.2. Redução da massa seca de diferentes coberturas verdes de primavera/verão aos 73 dias após manejo (PELÁ et al., 1999).

| Espécie | Redução da massa seca (%) - 73 DAM |
|---|---|
| Milheto | 44,44 |
| Guandu anão | 49,36 |
| Guandu indiano | 49,36 |
| *Crotalaria paulina* | 50,41 |
| Capim Moha (*Setaria italica*) | 53,24 |
| *Crotalaria juncea* | 53,51 |
| *Crotalaria spectabilis* | 60,21 |
| Feijão bravo do Ceará | 64,49 |

**Incrementando a produtividade e a lucratividade das culturas**

Inúmeros são os exemplos de aumento de produtividade e redução do custo de produção atribuído ao uso de adubos verdes e espécies de cobertura, em programas de rotação de culturas em plantio direto. No caso da cultura de milho, resultados de pesquisas evidenciaram ganhos de

produtividade da ordem de 8 a 15% e a possibilidade de redução do uso de 40 a 80 kg.ha$^{-1}$ de nitrogênio, quando foram utilizados labe-labe, tremoço branco e *Crotalaria juncea*, na entressafra da cultura. Da mesma forma, o uso de milheto e braquiárias, como espécies antecessoras à lavoura de feijão têm proporcionado melhor desempenho da referida leguminosa, representado pela supressão de algumas espécies de plantas daninhas, sobretudo trapoeraba, e pelo maior desenvolvimento do sistema radicular do feijoeiro, ampliando sua tolerância a períodos curtos de estiagem. No caso específico da braquiária, sua utilização como cobertura morta em plantio direto, tem contribuído para a redução considerável da população de *Fusarium* e de nematóides de galha (*Meloidogyne* sp.), além de minimizar a ocorrência de mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*). Para a soja, a utilização de aveia preta, centeio e ou *Crotalaria juncea* têm proporcionado ganhos de produtividade significativos, além de reduzir a incidência de doenças de final de ciclo.

## BIBLIOGRAFIA

CALEGARI, A. Plantas de cobertura e rotação de culturas no Sistema Plantio direto. In: Fancelli, A.L. Milho: Nutrição e adubação. Piracicaba. ESALQ/USP/LPV. 2008. p.142-163.

FANCELLI, A.L. Manejo do solo em Plantio Direto. In: Guia para o plantio direto. Grupo Plantio Direto. São Paulo, p.16-30, 2000.

FANCELLI, A.L. Plantio Direto no Estado de São Paulo. Departamento de Agricultura/ESALQ/USP. Publique. Piracicaba.1985. 190p.

FANCELLI, A.L. Plantio Direto. Departamento de Agricultura/ESALQ/USP. Publique. Piracicaba. 1987. 89p.

PELÁ, A.; SILVA, M.S.; COSTA; L.A. de M.; SILVA; C.J. da ; ZUCARELLI, C.; DECARLI, L.D.; MATTER, U.F. Avaliação da resistência a decomposição de dez espécies de plantas de cobertura visando o plantio direto. Passo Fundo, **Revista Plantio Direto**, 53, 1999.

ROMAN, E.R. Effect of cover on the new development of weeds. In: International Workshop on Conservation Tillage Systems, 1990. Passo Fundo, RS. Conservation tillage for subtropical area. Passo Fundo, CIDA-Embrapa-CNPT, 1990. p.258-262.

Tabela 8.3. Recomendações básicas para a composição de programas de rotação de culturas para soja, milho, trigo e feijão em plantio direto.

| Espécies com restrição para anteceder a cultura principal | Espécie antecessora recomendável | Espécie Principal | Espécie sucessora recomendável | Espécie com restrição para suceder a cultura principal |
|---|---|---|---|---|
| Feijão; girassol; tremoços; guandu; mucuna preta ou labe-labe | Milho; trigo; cevada; aveia preta; aveia branca; centeio; arroz; nabo forrageiro (com restrições); girassol; milho + mucuna preta; milho + braquiária; aveia preta + nabo forrageiro | Soja | Milho; trigo; cevada; aveia preta; aveia branca ou sorgo | Girassol; tremoços e feijão |
| Aveia preta; aveia branca ou sorgo | Soja; guandu; mucunas; crotalárias; labe-labe; ervilhaca; nabo forrageiro (com restrições); girassol; chícharo; milheto + labe-labe; milheto + nabo forrageiro ou milheto + guandu | Milho | Soja; trigo; cevada; aveia branca ou adubos verdes para sementes | Girassol ou tremoço |
| Cevada; aveia preta; aveia branca ou sorgo | Soja; mucunas; crotalárias; labe-labe; ervilhaca; nabo forrageiro (com restrições); chícharo; tremoços | Trigo | Soja; cevada; aveia branca ou adubos verdes para sementes | Milho |
| Soja; guandu; tremoços; nabo forrageiro; Labe-labe; girassol; ervilhaca ou mucunas. | Milho; milheto; cevada; aveia preta; aveia branca; nabo forrageiro (com restrições); girassol; milho + mucuna preta; milho+ braquiária; aveia preta + nabo forrageiro | Feijão | Soja; trigo; cevada; aveia branca; arroz ou adubos verdes e milheto para sementes | Girassol; tremoços; soja ou nabo forrageiro |

Observações: Em glebas apresentando nematóides de galha utilizar, preferencialmente, espécies de crotalárias como culturas antecessora. Muito cuidado com o cultivo indiscriminado de nabo forrageiro e girassol, pois podem contribuir significativamente para o aumento de *Sclerotinia sp*. A presença de nematóide migrador (*Pratylenchus brachyurus*) exige o emprego de *Crotalaria spectabilis*, sobretudo antecedente à lavoura de soja.

# USO EFICIENTE DA ÁGUA

**Paulo Augusto Manfron**

Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Dr. e Docente do Departamento de Fitotecnia,
Universidade Federal de Santa Maria, CCR,
Cidade Universitária, Camobi, Santa Maria-RS, 97105-900, +(55)3220.8902, r. 244
manfronp@smail.ufsm.br

**Durval Dourado Neto**

Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Dr. e Docente do Departamento de Produção Vegetal,
ESALQ, Universidade de São Paulo.
Caixa Postal 9, Piracicaba-SP, 13418-900, +(19)3429.4190
dourado@esalq.usp.br

## INTRODUÇÃO

Em uma planta verde, cerca de 90 % de sua massa é constituído por água. Na massa de matéria seca, obtida por pesagem em estufa de ventilação forçada ( 75°C), 96% é constituída por C, H e O, restando apenas 4% para os demais elementos. Isto vale dizer que os elementos C, H e O compõe, em geral 99% do total de tecido de uma planta verde e os demais elementos apenas 1%. São três os meios que fornecem elementos para a composição das plantas: (i) ar: $CO_2$; $N_2$: $O_2$; (ii) água: H e O e (iii) solo: todos os demais elementos minerais (M).

O solo como fornecedor de nutrientes, sob o ponto de vista quantitativo, é o meio de menor importância, pois contribui com apenas 4% da massa de matéria seca, iou cerca de 1% da planta verde total. Contudo, esta contribuição é tão importante para a vida vegetal quanto a do ar e da água.

A água é o fator fundamental para a produção agrícola. Sua falta e seu excesso causam efeitos desastrosos para o desenvolvimento das plantas. Existem limites ótimos de umidade para o desenvolvimento das plantas, da mesma forma que existem limites térmico ótimos.

A retirada da água pelo sistema radicular da planta pressupõe que no equilíbrio hídrico do sistema solo-raiz reside um dos problemas fundamentais da agricultura. A água em excesso no solo altera processos químicos e biológicos, limitando a quantidade de oxigênio acelerando a formação de compostos tóxicos à raiz. Por outro lado, a percolação intensa de água provoca remoção de nutrientes e inibição do crescimento da planta.

Embora importantes, os excedentes hídricos não apresentam a mesma ordem de grandeza de problemas quando comparados à seca. A deficiência hídrica, que se caracteriza por diferentes formas e intensidades, corresponde à causa principal de decréscimos de produtividade.

As culturas consomem durante o seu ciclo de desenvolvimento um volume enorme de água, sendo que cerca de 98% deste volume apenas passa pela planta, perdendo-se posteriormente na atmosfera pelo processo de transpiração (REICHARDT, 1978).

O papel da água na planta, em princípio, pode ser comparado ao dos nutrientes $NO_3^-$ e $CO_2$ fornecedores de elementos essenciais N e C.

De modo similar a água é a fonte de átomos de H, elemento essencial a todas as moléculas orgânicas. Além deste aspecto, a água é o solvente de muitas substâncias, tais como sais inorgânicos, açúcares e ânions orgânicos.

A água é também o meio que ocorre uma série de reações bioquímicas, bem como a difusão e o fluxo de massa de solutos, processos fundamentais na translocação e redistribuição de elementos essenciais às plantas.

A água é a principal responsável pela manutenção da turgidez dos diversos órgãos das plantas como resultado da pressão que os vacúolos exercem sobre o protoplasma. É essencial à fotossíntese, mas a quantidade de água envolvida neste processo é muito pequena, cerca de 0,01% da quantidade total usada pela planta.

## ABSORÇÃO

Absorção é o processo de entrada do elemento (M), na forma iônica ou molecular, nos espaços intercelulares ou em qualquer outra parte ou organela celular (parede, membrana, citoplasma, vacúolo ou cloroplasto, principalmente). Em outras palavras, é o processo de entrada dos nutrientes no simplasto após passar pelo apoplasto.

## TRANSPORTE OU TRANSLOCAÇÃO

Transporte ou translocação é o processo de transferência do elemento (M), em qualquer forma, igual ou diferente à forma absorvida, de um órgão ou região de absorção para qualquer outra parte no interior da planta. Em outras palavras, é o movimento do elemento do local de absorção para outra qualquer, dentro ou fora da raiz.

O exemplo mais comum é a transferência de M da raiz para a parte aérea da planta.

## REDISTRIBUIÇÃO

Redistribuição ó processo de transferência do elemento (M) de um órgão ou região de residência para qualquer outra parte no interior da planta, de forma igual ou diferente à forma absorvida, como por exemplo: de uma folha para a espiga, ou de uma folhá velha para uma folha nova.

## CONTATO ÍON-RAIZ

Para que o elemento (M), existente na solução, possa ser absorvido pela raiz é necessário, em primeiro lugar, que se estabeleça o contato entre os mesmos. Para isso, existem três processos a partir dos quais vai se estabelecer o contato: (i) interceptação radicular, (ii) fluxo de massa e (iii) difusão.

### Interceptação radicular

A interceptação radicular (IR) se refere ao encontro da raiz absorvente com o elemento (M) em forma disponível no solo. A quantidade de elemento que entra em contato com o sistema radicular por este processo é proporcional a relação:

$$IR \cong \frac{\text{superficie da raiz}}{\text{superficie do solo}} \cong 2,5x10^{-5}$$

### Fluxo de massa

O fluxo de massa se refere ao movimento do elemento (M) numa fase aquosa móvel. Esse processo é semelhante ao que ocorre quando se tem uma solução numa bureta: ao abrir-se a torneira, a solução escoa; isso é, o solvente e o soluto caminham com a mesma velocidade.

No solo, à medida que as plantas absorvem a solução do solo, proporcionada pelo processo transpiratório, estabelece-se um gradiente de pressão (tensão) de água no perfil e a solução se move para a raiz. A quantidade do elemento M que pode atingir as raízes, por esse processo, é proporcional ao volume de água absorvida e a concentração do elemento na solução do solo.

$$Qmf = [M]\ v$$

em que *Qmf* se refere à quantidade do elemento que entra em contato com a raiz da planta, [M] à concentração do elemento na solução do solo e V ao volume de água absorvida.

### Difusão

A difusão é o movimento do elemento (M) numa fase aquosa estacionária (ou imóvel). Esse processo ocorre à curtas distâncias, e é proporcional ao gradiente de concentração. Portanto, a difusão obedece a Lei de Fick:

$$\frac{s}{t} = D.a.\frac{C_1 - C_2}{\Delta x}$$

em que *s* se refere à quantidade de substância que se difunde (moles), *t* ao tempo (s), *D* ao coeficiente de difusividade da substância ou velocidade específica de difusão, *a* à área ($cm^2$), $C_1$ à maior concentração ($mol.L^{-1}$), $C_2$ à menor concentração ($mol.L^{-1}$), $\Delta x$ à distância (cm) entre os pontos considerados (1 e 2) com as concentrações $C_1$ e $C_2$, respectivamente.

Como:

$$\frac{\wp}{t} = F \quad \therefore \quad D.a = D \quad \therefore \quad \Delta c = C_1 - C_2$$

$$\Delta x = X_2 - X_1$$

tem-se que:

$$F = -D.\frac{dC}{dx}$$

em que F se refere à velocidade de difusão, D ao coeficiente de difusão e $dc/dx$ ao gradiente de concentração.

A absorção do elemento M pela raiz faz com que caia sua concentração junto a mesma, criando assim, um gradiente de concentração (ΔC/Δx) ao longo do qual o elemento se difunde. Como é difícil de medir a difusão de íons em uma solução, é costume estimar a quantidade do elemento M absorvido por esse processo por intermédio da diferença entre o total absorvido e as quantidades absorvidas por interceptação radicular e fluxo de massa, ou seja:

$$q_d = Qtotal - \left(q_{ir} + q_{fm}\right)$$

em que $q_d$ se refere à quantidade de M absorvida por difusão, $Q_{total}$ à quantidade total absorvida, $q_{ir}$ à quantidade absorvida por interceptação radicular e $q_{fm}$ à quantidade absorvida por fluxo de massa.

**Contato íon-raiz: considerações gerais**

O processo de interceptação radicular ocorre com todos os elementos absorvidos pelas plantas, porém, é de pouco importância quantitativa.

O processo de fluxo de massa é o principal na absorção de N, Ca, Mg, S e micronutrientes, além de contribuir com quantidades razoáveis de K.

O processo de difusão é dominante para os nutrientes P e K (Fe e Zn, podem ter expressão).

A dominância de um ou outro processo que põe os nutrientes em contato com as raízes absorventes é um dos fatores que determinam a localização dos fertilizantes em relação à semente ou à planta.

O fertilizante nitrogenado tem que ser colocado de tal modo que a água possa conduzi-lo até a raiz, em função da predominância do fluxo de massa no processo de sua absorção.

Os adubos fosfatados e potássicos devem ser colocados de modo a garantir o maior contato com a raiz, uma vez que o processo predominante de absorção destes é por difusão, e seu movimento é limitado à curtas distâncias.

As necessidades da planta poderão não serem satisfeitas se apenas uma fração do sistema radicular recebe P ou K. Porém, por outro lado, um maior contato com as raízes pode significar maior contato com o solo e, conseqüentemente, maior fixação de P. É, pois, necessário buscar uma forma de colocar o adubo fosfatado no solo que proporcione um contato razoável entre o elemento P e as raízes, e não condicione uma fixação demasiadamente grande de P no solo.

## ABSORÇÃO

Como regra geral existe uma discrepância entre a concentração do elemento no substrato e a sua concentração na planta. Por outro lado, este substrato pode conter elementos não necessários à planta em concentração elevada. Outro aspecto importante é que existe uma grande variabilidade entre espécies no que diz respeito a capacidade de absorção. Assim a absorção dos elementos pelas plantas tem as seguintes características: (i) seletividade: certos minerais são preferencialmente absorvidos e outros podem ser inclusive eliminados do processo, (ii) acúmulo: a concentração do mineral pode ser muito menor no substrato do que no suco celular. No caso do P, por exemplo, essa relação é da ordem de 1.000:1, isto é 0,1 ppm na solução do solo e 100 ppm na célula, e (iii) genótipo: existem diferenças entre espécies quanto a absorção de nutrientes.

Além desses aspectos, considera-se que o caminho percorrido pelo nutriente desde a solução do solo até o interior da célula não é totalmente livre. Após ser absorvido pela EPIDERME (é, em geral, uma única camada de células compactas com pêlos absorventes, visíveis num corte de raiz), o nutriente pode seguir duas vias: (i) o apoplasto (conjunto de espaços intercelulares) ou deslocar-se através das paredes celulares, de uma célula para outra até chegar a ENDODERME (é uma única camada de células compactas que apresentam um reforço com suberina que bloqueia a passagem de íons pelas paredes e espaços intercelulares) (Reforço de suberina ou Estria de Gaspary); e (ii) o simplasto (é o volume percorrido), ou seja, o "continuum citoplasmático" formado pelas ligações entre uma célula e outra através do PLASMALEMA (são ligações citoplasmáticas entre as células). É, pois, em geral, o simplasto o caminho obrigatório do elemento M além da endoderme.

Estes dois caminhos definem dois processos de absorção de nutrientes pelas células das raízes: os processo passivos e ativos.

## MECANISMO DE ABSORÇÃO IÔNICA

Durante muito tempo, admitiu-se que a absorção ocorria por simples difusão com os elementos da solução do solo caminhando a favor de um gradiente, isto é, deslocando-se de uma região de maior concentração para outra de menor concentração.

Entretanto, quando se comparam as quantidades existentes no suco celular com as do meio em que viviam diferentes espécies, verificou-se que, de modo geral, a concentração interna dos elementos na planta era muito maior que a encontrada para o mesmo meio externo.

Para o caso particular do P, verificou-se que sua concentração no meio externo era de 0,1 ppm ao passo que no suco celular era de 100 ppm, isto é, 1000 vezes superior no suco celular. Assim, concluiu-se que o P foi absorvido contra um gradiente de concentração. Além disso, a variação de energia livre do sistema foi da ordem de +4000 $cal.mol^{-1}$, indicando que o processo é endergônico (sinal positivo), ou seja, é termodinamicamente com gasto de

energia. Isso vale dizer que tal absorção somente ocorre se houver introdução de energia externa no sistema. Os mecanismos da absorção iônica total do elemento M são divididos em dois principais processos: (i) o passivo e (ii) o ativo.

## Processo de absorção iônica de nutrientes pelas células das raízes

### Processo passivo

É uma fase relativamente rápida. Este mecanismo coloca o elemento M nos espaços intercelulares, na parede celular e na superfície externa do plasmalema (membrana celular), isto é, no Espaço Livre Aparente (ELA), que representa cerca de 10% do volume total das raízes jovens. Pode ocorrer em qualquer tipo de célula, mesmo mortas, não havendo consumo de energia nesta fase. Os Processos Passivos de Absorção podem ser classificados em (i) difusão, (ii) fluxo de massa, e (iii) troca iônica.

A difusão contribui para colocar o elemento M em contato com a raiz, além de colocá-lo dentro da raiz. Na prática, a difusão desempenha um pequeno papel na absorção global, visto que, o gradiente de concentração não lhe é favorável.

Como a difusão, o processo de fluxo de massa contribui para colocar o elemento M em contato com a raiz, além de colocá-lo dentro da raiz. Na prática, fluxo de massa não desempenha um grande papel na absorção global, visto que, muitas vezes o gradiente de não lhe é favorável. É a favor de um . Na verdade, o fluxo de massa de solutos através do espaço livre depende da concentração externa e da densidade de raízes.

No caso da troca iônica, as células da parede celular, formadas por uma rede de celulose, hemicelulose (inclusive pectinas) e glicoproteínas, contém poros cujos diâmetros são maiores do que os diâmetros de íons hidratáveis como o $K^+$ e $Ca^{++}$.

No espaço livre das raízes, entretanto, os grupos carboxílicos (R – $COO^-$) atuam como trocadores de cátions (as espécies de plantas diferem consideravelmente com respeito à sua CTC). As raízes possuem uma CTC muito semelhante a das argilas, sendo de 10-30 meq por 100 g de raiz seca para as monocotiledôneas e de 20 a 90 meq por 100g de raiz seca para das dicotiledôneas. Isto significa que ânions podem aí ser repelidos.

Tal como se dá no caso das trocas efetuadas pelas raízes é rápida, reversível e estequiometricamente proporcional.

### Adsorção

A adsorção é um fenômeno tipicamente de superfície, podendo ser de 2 tipos: adsorção mecânica (é função das valências residuais das raízes) e a adsorção polar (que conduz a formação de sais).

## Equilíbrio de Donnan

Nesse caso, são necessárias as seguintes condições: (i) uma fase de Donnan, constituída por um anıon não difusível (proteína, acido poligalacturônico da lamela média), representado por $A^-$, e por um cátion difusível $M^+$, e (ii) uma fase aquosa, constituída por um ânion difusível, $A^-_n$, e o mesmo cátion difusível $M^+$.

As duas fases devem estar separadas por uma membrana semipermeável.

Nessas condições, cria-se um potencial eletroquímico devido ao potencial químico (agitação térmica dos íons) e ao potencial elétrico (energia elétrica).

No equilíbrio, o produto das concentrações dos íons difusíveis deve ser igual nas duas fases, ou seja, na fase de Donnan, tem-se que:

$$\left[A^-\right] = x$$

$$\left[A^- n\right] = y$$

$$\left[M^+\right] = x + y \text{, ou seja}$$

$$[M+] = [A-] + \left[A^- \boldsymbol{n}\right]$$

$$y(x+y) = z^2$$

e na fase aquosa, tem-se que:

$$\left[A^- n\right] = z$$

$$\left[M^+\right] = z \text{, isto é}$$

$$\left[M^+\right] = \left[A^- n\right]$$

## Espaço livre aparente

O Espaço Livre Aparente (ELA) é o volume celular, definido pelos espaços intercelulares, parede celular e superfície externa do plasmalema, ocupado pelo elemento M nos processos passivos de absorção.

Na verdade, o conceito de Espaço Livre Aparente (ELA) é constituído pelo Espaço Livre Aquoso (ELAq), livremente acessível aos íons e pelo Espaço Livre de DONNAN (ELD) onde ocorre a troca de cátions e a repulsão de ânions.

$$ELA = ELAq + ELD$$

Os processos passivos (difusão, fluxo de massa e equilíbrio de DONNAN) são rápidos e reversíveis.

## Processo ativo

O processo ativo é mais lento que o passivo. Esse mecanismo coloca o elemento M no interior do citoplasma ou do vacúolo. Faz com que o íon ultrapasse o plasmalema e/ou o tonoplasto e penetre no citoplasma e/ou

vacúolo, respectivamente. Esse processo só ocorre em células vivas e consome energia.

Os mecanismos ativos de absorção fazem com que o nutriente atravesse as barreiras do plasmalema, atingindo o citoplasma, daí podendo chegar ao vacúolo após vencer outra barreira representada pelo tonoplasto. O movimento é lento, porque ocorre contra o gradiente de concentração. O processo é irreversível.

Os mecanismos ativos de absorção não são ainda bem conhecidos. As hipóteses a respeito podem ser resumidas da seguinte maneira: cátions e ânions são transportados por carregadores (c) mais ou menos seletivos, de natureza lipoprotéica ou glicoprotéica, situados na membrana e ativados pelo ATP. O ATP é regenerado a partir de ADP + Pi via respiração (como por exemplo, estrutura das membranas citoplasmáticas de natureza lipoprotéica).

A estrutura lipoprotéica das membranas citoplasmáticas constitui-se numa formidável barreira para os íons que se encontram na solução aquosa do solo.

No final do século passado, foi postulado que não era o elemento M isolado que atravessava a membrana, mas havia uma combinação do elemento M com um carregador R, resultando em um composto MR, o qual seria solúvel na membrana lipoprotéica, difundindo-se através da mesma até o citoplasma ou vacúolo. No interior da membrana ocorreria a dissociação do composto MR liberando o elemento M no meio interno e produzindo-se um precursor R' que regenera posteriormente o R.

## Teoria do carregador

A natureza química do carregador R não é conhecida, havendo diversas possibilidades: (i) peptídeo de cadeia curta, (ii) composto fosforilado, ou (iii) enzima.

A idéia do carregador postulada em 1918 foi, a partir dos anos 50, explorada por Epstein que verificou que a curva de velocidade de absorção de um íon em função da sua concentração no meio são bem semelhantes àquelas correspondentes à velocidade de uma reação enzimática em função da concentração do substrato, que se dá na forma

$$E + ES \Leftrightarrow ES + P$$

em que *E* se refere à enzima, *ES* ao complexo enzima-substrato, e *P* ao produto da reação.

## Aplicação de cinética enzimática

A cinética da absorção iônica pode ser comparada à cinética enzimática, isto é, a curva de absorção é semelhante à curva das reações enzimáticas.

A função 'concentração do substrato *versus* velocidade de uma reação enzimática' proporciona uma hipérbole eqüilátera. Dessa forma, a função 'velocidade de absorção', que é a quantidade de elemento M absorvido por

unidade material (peso) na unidade de tempo *versus* concentração externa, também proporciona este tipo de curva.

A teoria da Cinética enzimática aplicada à absorção iônica, por analogia, ao caso anterior, seria:

$$Me + R \Leftrightarrow MR \rightarrow Mi + Ri$$

em que *Me* se refere ao íon na fase externa, *Mi* ao íon na fase interna (interior da célula: vacúolo ou citoplasma), *R* ao carregador, *MR* ao complexo íon-carregador e *Ri* ao precursor do carregador.

O complexo *MR* (diferente de M isolado) seria difusível na membrana, e no caso de se fazer *MR* constante, a equação de Michaelis-Menten, que é a hipérbole eqüilátera, seria aplicada ao caso da absorção. Portanto, esse tipo de curva obedece a equação de Michaelis-Menten, ou seja:

$$v = V_{máx} \frac{[M]}{[M] + Km}$$

em que *v* se refere à velocidade de absorção (quantidade absorvida de uma dada concentração externa), $V_{max}$ à velocidade máxima de absorção (quantidade absorvida quando todas as moléculas do carregador estiverem ocupadas transportando íons), *[M]* à concentração externa do elemento, *Km* à constante de Michaelis (medida de afinidade do íon pelo íon. Em outras palavras, é uma medida da afinidade entre *M* e *Ri*).

Assim, *Km* define a concentração externa do elemento M que garante metade da velocidade máxima de absorção.

Isto significa dizer que quanto MAIOR for a afinidade íon-carregador, MENOR será a concentração que garante metade da velocidade de absorção, como por exemplo: fazendo

$$v = \frac{V_{máx}}{2}$$

e substituindo-se obtém-se:

$$\frac{V_{máx}}{2} = V_{máx} \frac{[M]}{[M] + Km}$$

ou

$$\frac{1}{2} = \frac{[M]}{[M] + Km}$$

desta forma

$$2[M] = [M] + Km \;.\; Km = 2[M] - [M]$$

ou

$$Km = [M]$$

**Mecanismo duplo de absorção**

Supõe-se que existiram dois carregadores de $K^+$, quando sua concentração na solução cresce de 0,1 milimolar para 50 milimolar (mM), ambos atuando no plasmalema.

O primeiro carregador ou mecanismo apresenta alta afinidade pelo $K^+$, isto é, possui um Km = 0,02 mM, atuando na faixa de baixa concentração do íon.

O segundo carregador ou mecanismo apresenta baixa afinidade pelo $K^+$, isto é, possui um Km = 20 mM, atuando na faixa de alta concentração do íon, além de estar sujeito a inibições por outros íons como $Na^+$, $Li^+$, $Ca^{2+}$ e $Mg^{2+}$.

Mecanismo duplo, triplo e múltiplo tem sido encontrado nas análises gráficas de experimento de absorção de outros íons como fosfatos e sulfatos.

## Inibição

Inibição é a diminuição na absorção de um íon causada pela presença de outro. Fenômeno, geralmente, reversível. Pode ser: (i) competitiva: ocorre quando dois íons se prendem ao mesmo sitio ativo do carregador R

$$Me + R \quad MR \quad Mi + R_1$$
$$Ie + R \quad IR \quad Ii + R_1$$

e (ii) não competitiva: quando o íon se prende a um sítio não ativo do carregador. Portanto, o íon não é absorvido e não adianta aumentar a sua concentração.

Tabela 9.1. Diferenças entre os mecanismos Passivo e Ativo.

| Passivo | Ativo |
|---|---|
| Físico ou químico em sistemas vivos ou não | Metabolismo em células vivas |
| Independente da respiração e fosforilação | E dependente da respiração e fosforilação |
| Não necessita de energia | Necessita de energia |

## CONSUMO DE ÁGUA (USO CONSUNTIVO)

Como a planta necessita manter os estômatos abertos para captar o $CO_2$, a água é perdida naturalmente para a atmosfera desde que o gradiente de potencial seja muito elevado.

Isto significa que a quantidade de água perdida por transpiração é significativamente superior àquela necessária para a fotossíntese e outras necessidades fisiológicas.

A quantidade de água ($cm^3$) utilizada pela plantas para a produção de 1 Kg de matéria seca, definida por Mengel como sendo o Coeficiente de Transpiração ($kg.m^{-3}$), é muito variável de espécie para espécie e é maior nas plantas $C_3$ do que nas plantas $C_4$.

Enquanto no sorgo o CT (coeficiente de transpiração) é da ordem de 280 $cm^3.kg^{-1}$, na alfafa atinge 840 $cm^3.kg^{-1}$. Mas o CT não é um valor absoluto, porque a transpiração depende muito das condições de clima, solo e nutrição da planta.

Sob condições de baixa demanda atmosférica e alta disponibilidade de água no solo, o CT tende a ser maior e vice-versa. Do mesmo modo, quando a planta é bem suprida de nutrientes, o CT também tende a ser mais elevado. Isto significa que quando a nutrição é deficiente, a água é utilizada com menor eficiência.

Isso resulta de fato que sob condições de estresse de água, a produção de matéria seca é mais afetada que o consumo de água. O papel do K no aumento da eficiência do uso da água é particularmente importante na medida em que o K diminui e o $\Psi_{os}$ das células da planta diminuindo assim a sua perda de água.

A água utilizada por uma cultura não é apenas a transpiração, mas também a evaporação através da superfície do solo. A soma dos dois processos é denominada de evapotranspiração, que é equivalente a quantidade de água utilizada pela cultura durante o seu ciclo vital.

A importância relativa da evaporação é particularmente elevada nos estádios iniciais de desenvolvimento de uma cultura anual e nas culturas que não cobrem totalmente o solo como as de plantas perenes.

Por outro lado a nutrição adequada da planta diminui a evaporação, proporcionalmente aumenta a transpiração. Dados relatados por Mengel mostram que com aumento da dose de N na cevada entre 30 e 225 kg.ha$^{-1}$, a evaporação diminui de 235 mm para 212 mm, enquanto a evapotranspiração aumentou de 320 mm para 420 mm. A produtividade de grãos também aumentou. Como resultado, a eficiência de uso de água aumentou de 3,0 para 6,2 kg.ha$^{-1}$.mm$^{-1}$.

Ocorre que, a relação entre transpiração e produtividade tem pouca utilidade prática, porque, no campo, é muito difícil, se não impraticável, separar a evapotranspiração em evaporação + transpiração. A sugestão mais comum é que se relacione a produtividade com a evapotranspiração e a proposta mais em uso em projetos de irrigação é a de Doorembos e Kassan, que relaciona a produtividade relativa com a evapotranspiração relativa na forma linear.

$$1-\frac{Y}{Ym}=K_y\left[1-\frac{ETr}{ETc}\right]$$

em que *Y* se refere à produtividade atual, *Ym* à produtividade máxima, *ETr* à evapotranspiração real e *ETc* à evapotranspiração potencial da cultura.

Os valores de $K_y$ variam de espécie para espécie e com o estádio de desenvolvimento das plantas.

A equação acima mostra que quando não há restrição de água no solo (*ETr=ETc*), a produtividade é máxima ($Y=Y_m$).

Nesse caso, a eficiência de uso de água (EUA) em kg.cm$^{-3}$, varia muito de espécie para espécie. O fator Ky que quantifica a resposta da planta ao suprimento de água é derivado da hipótese de que a relação entre produtividade relativa (Y/Ym) e evapotranspiração relativa (ETr/ ETc) é linear e é valida para os valores de deficiência de água até cerca de 50%, ou seja,

1-(ETr/ETc)=0,5. O valor de Ky para uma dada espécie geralmente é maior durante a fase reprodutiva em comparação a fase vegetativa.

Se plantas de diferentes Ky forem submetidas a deficiência hídrica (ETr/ETc<1) durante todo o ciclo de crescimento, as fases de valores de Ky mais elevados sofrerão maior perda de produtividade do que os de Ky mais baixos.

## Eficiência de uso de água

A Eficiência de Uso de Água pode ser expresso em termos de matéria seca total ou da parte útil colhida da planta. Em condições de estresse de água (ETr < ETc), algumas plantas podem até aumentar a eficiência de uso da água (EUA) e outros diminuírem drasticamente. Com uma deficiência de água igualmente distribuída por todo o ciclo, a EUA do milho diminui e a do sorgo aumenta nas mesmas condições climáticas. Embora a produtividade ($kg.ha^{-1}$) diminua para das duas espécies. A produtividade do milho é mais afetada.

## O que é eficiência de uso da água?

O termo eficiência no geral se refere a relação entre insumo e produto.

$$E = \frac{I}{P}$$

em que E se refere à eficiência, I ao insumo e P ao produto.

No caso de eficiência de uso da água em espécies cultivadas, a eficiência pode ser definida como sendo o grau de aproveitamento entre o consumo hídrico e a produção de matéria seca ou mais indiretamente da radiação solar.

$$\text{E.U.A.} = \frac{\text{quantidade de água consumida}}{\text{matéria seca produzida}}$$

Estudos pioneiros nesse tema foram realizados por Briggs e Shantz em 1911, que denominam como sendo *Requerimento de Água*. Eles mediram o requerimento de água para 150 espécies vegetais em Akron-Colorado (EUA), e encontraram valores que vão de 216 g de água por g de matéria seca produzida para uma erva do gênero *Franseria*. Naquele tempo se supunha que baixos requerimentos de água estariam correlacionados com tolerância a seca, o que foi provado mais tarde ser uma afirmativa falsa.

Outros estudos realizados também em Akron durante 7 anos consecutivos, demonstraram que os *requerimentos de água* variaram de ano para ano segundo a disponibilidade hídrica e a energia. Os valores encontrados vão de 250 a 800 para milho até 660 a 1000 para alfafa. Devido a estas diferenças se torna evidente que o termo *requerimento de água* é inadequado, já que não existe uma quantidade específica de água para se produzir uma unidade de matéria seca, sendo que, pelo contrário, estas quantidades podem variar em função das condições ambientais. Por essa

razão se modificou o termo e se passou a denominar de eficiência de uso de água.

O termo Eficiência de Uso de Água (EUA) é usado de diferentes formas por fitotecnistas e fisiologistas. Os fitotecnistas o definem como unidade de água utilizada por unidade de matéria seca produzida, considerando sempre o total de água perdida, a evapotranspiração (ET), ou seja, a soma de evaporação (E) mais transpiração (T) (TERRE et al., 1973):

$$EUA = \frac{\text{água consumida por ET}}{\text{matéria seca ou produção do cultivo}}$$

Os fisiologistas expressam em termos de fotossíntese, como miligramas de $CO_2$ por grama de água, do mesmo modo que, moles de $CO_2$ por milimol de água (FISHER; MAURER, 1978), ou em termos mais sensíveis, a nível de gás trocados no interior de folhas simples.

$$EUA = \frac{\text{Consumo líquido de } CO_2 \text{ (mg ou g)}}{\text{Água Perdida (g ou kg)}}$$

## Como se mede a eficiência de uso da água?

### Sob o ponto de vista fisiológico

As equações que definem o intercâmbio gasoso em folhas simples levam em consideração o $CO_2$, os gradientes de vapor de água entre folha e o ar, a abertura estomática, a resistência da camada de ar limite e do mesófilo. Esse tipo de equações forma usadas por Fisher e Maurer (1978), Nobel (1980) e Osmond et al. (1981).

Fisher e Maurer (1978) consideram a EUA como o consumo líquido de $CO_2$ por unidade de água transpirada pela planta (mg de $CO_2$ por g $H_2O$). As determinações do intercâmbio de $CO_2$ e $H_2O$ fazem, como um primeiro passo, a nível de folha simples, para melhor compreensão.

As diferenças de EUA a nível de uma folha simples são refletidas de forma inalterada a nível de dossel (comunidade de plantas) em termos de matéria seca ganha por unidade de água perdida.

As influências genotípicas e ambientais sobre e EUA estão resumidas na seguinte equação:

$$EUA = \frac{\Delta c.Dc(ra + rs)}{\Delta e.De(ra + rs + ri)}$$

em que Δc e Δe se referem às diferenças de concentração entre a folha e o ar para $CO_2$ e vapor de água, respectivamente, *Dc* e *De* são, respectivamente, as difusividades do $CO_2$ e do vapor de água, *ra*, *rs* e *ri* são, respectivamente, as resistências da camada limite, estomática e interna da difusão.

Esta equação assume que o $CO_2$ e o vapor de água tomam idênticas vias entre células da folha e a massa de ar, portanto, ignora a via cuticular de perda de água. Além de, assumir que a concentração de $CO_2$ no cloroplasto é zero, o que significa que o termo *ri* da equação inclui os efeitos fotorrespiratórios, assim como outras resistências, a difusividade interna com

$CO_2$. Disso resulta que Δc é igual a concentração de $CO_2$ na atmosfera: 0,58 $mg.L^{-1}$ à 25°C. Tomando-se em conta que Dc/De é 0,6, a equação pode ser simplificada:

$$EUA = \frac{\frac{360}{\Delta e}(ra + rs)}{ra + rs + ri}$$

Assume-se que as espécies de ar intercalar estão saturadas de vapor de água à temperatura da folha.

O máximo valor esperado de EUA pode ser calculado a partir da última equação, tomando em conta que *ri=0* (máxima afinidade de $CO_2$), que a temperatura da folha é 25°C e a umidade relativa é de 50% (saturação do ar, em $mg.L^{-1}$). No caso da EUA, pode alcançar 30 mg de $CO_2$ por g de $H_2O$. Na realidade, com exceção das plantas CAM, a EUA é normalmente menor que este valor.

## Fatores ambientais que influencia a EUA

### Déficit de saturação

O déficit de saturação influi nos teores da concentração de vapor do ar, em conseqüência sobre a diferença de concentração entre folha e o ar (Δe), tendo uma maior influência sobre a EUA. Da teoria e das medições realizadas, surge que a EUA está linearmente relacionada com o inverso de Δe, isso é, que decresce a medida que o déficit de saturação aumenta. Ademais o déficit de saturação do ar tem uma variação diurna, diária, estacional e regional, dependendo da temperatura do ar e da umidade absoluta do ar. Por exemplo, valores de déficit de saturação, podem ser em zonas áridas e semiáridas de 10 a 60 $mg.L^{-1}$.

### Temperatura

A temperatura exerce maior influência sobre o Δe, de maneira que o aumento da temperatura reduz a EUA, a menos que esta seja subótima para a fotossíntese, como pode ocorrer em condições de clima mediterrâneo no inverno.

### Radiação incidente

A radiação Incidente influi diretamente sobre a transpiração, a qual mostra uma relação curvilínea ascendente com aumento da radiação, por causa do aumento de temperatura da folha e a queda de $r_s$.

A fotossíntese líquida, especialmente em espécies $C_3$, mostra uma relação curvilínea descendente com o aumento da radiação e negativa com zero de radiação. Desse modo, existe um ótimo de radiação para um máximo de EUA. Este ótimo é geralmente, menor que a radiação incidente, sobre as folhas orientadas normalmente para os raios solares.

## Influência de *rs*, *ra* e *ri* na EUA em plantas $C_3$ e $C_4$

A teoria pontualiza que EUA se incrementa quando *rs* é incrementada, exceto quando a razão entre *ri* e *ra* é menor que um determinado valor crítico. Essa última condição é pouco comum, requerendo baixo *ri*, como em plantas $C_4$, alta *ra* como em grandes folhas e baixas velocidades do vento e alta temperatura do ar. Baixas condições de déficit de água quando *ri* é usualmente alto, poderia sempre crescer como cresce *rs*. Um valor menor de *rsa* em algumas espécies de clima quente poderiam favorecer um alto EUA.

A EUA se incrementa quando *ra* é reduzida, exceto em condições de baixa radiação e alta temperatura e déficit de saturação. A diminuição de *ra* pode produzir por diminuição do tamanho da folha. Portanto, uma diminuição do tamanho da folha maximiza a EUA, e isto, explicaria estão a variação de tamanho de folhas de uma comunidade vegetal. Também a morfologia da folha influi sobre *ra*, em particular a presença de pubescência que incrementa *ra*. Em condições de campo, a velocidade do vento reduz *ra*, tornando-a bastante menor que *rs* e *ri*.

As considerações anteriores sobre as trocas de *rs* e *ri* consideram *ri* constante, devido a alteração em *rs*, que afeta a temperatura da folha, em situações aonde a temperatura da folha é marcadamente subótima ou supraótima para a fotossíntese. Essas trocas de temperatura poderiam influenciar em *ri* e modificar as condições de resposta de EUA uma troca de *ri* no solo afetaria com o balanço de energia da folha, sendo também o quociente (ra + rs)/(ra + rs + ri) para qual EUA é proporcional. Vários autores têm usado esse quociente como um índice dos efeitos genotípicos sobre EUA, mas quando *ra* é pequeno, utiliza-se o quociente simplificado *rs*/(*rs* +*ri*). Um decréscimo em *ri* aumenta a EUA.

As plantas $C_4$ têm altas taxas de saturação de luz para a fotossíntese porque seus valores de *ri* são 1,5 vezes menores do que as plantas $C_3$. Como conseqüência, os quocientes de resistência para plantas $C_4$ variam de 0,7 a 0,8, mesmo que, para $C_3$ vão de 0,2 a 0,4. Portanto, as medições de EUA para as primeiras são 2 a 3 vezes maiores que para as segundas sob as mesmas condições ambientais.

Existem exceções como é o caso da jojoba, arbusto de regiões áridas, que mostra um quociente de resistência de 0,6.

As diferenças em EUA entre plantas $C_3$ e $C_4$ têm sido identificadas em estudos de trocas gasosas em linhagens de cevada com diferentes freqüências estomáticas, pastagens de gramíneas perenes, espécies de citros e vários grupos de cultivos de grão. Com exceção do citros, o valor mais alto de EUA estava associado com alto *rs* mais que com baixo *ri* e com baixas taxas fotossintéticas.

Por outro lado, as medidas de trocas gasosas mostram que EUA é inviável com o decréscimo do $\Psi_{folha}$. As condições sobre os valores de EUA em condições de seca podem incluir a recente demonstração do efeito direto do déficit de saturação sobre a abertura estomática. Quando o déficit de saturação aumenta, o *rs* também aumenta, apesar de que o $\Psi_F$ não decresce.

Estas respostas estomáticas reduzem, mas não eliminam a diminuição de EUA esperada quando Δe cresce. Essas respostas estomáticas não se encontram em todas as espécies.

Outro aspecto importante a considerar são os fatores que afetam a EUA ao longo do dia. A teoria mostra que ao meio-dia, por causa do aumento no déficit de saturação de água, há uma diminuição na EUA. Recentemente Cowan e Fargular calcularam o comportamento estomático para maximizar a EUA diária para plantas $C_3$ e, verificaram que, especialmente $r_s$ deve mostrar um aumento a tarde, mas pouco maior do que a da manhã. Outro exemplo de adaptação as trocas diurnas são as plantas CAM, as quais reduzem as trocas gasosas a noite com baixo déficit de saturação. Isto combinado com quocientes de resistência similar as plantas C4 ( 0,8) e fixação no escuro, significa que as plantas CAM podem alcançar altos valores de EUA (50 mg $CO_2$ por g de $H_2O$ para Agave americana). Mas, em ausência de estresse fixam a maior parte do $CO_2$ durante o dia, com o qual alcançam altas taxas de ganho de C, às dispensas do incremento de EUA. Semelhantes a essas considerações estão as da marcha estacional da EUA, aonde a água é o limite e a máxima EUA anual poderia ocorrer quando há grande abertura estomática e transpiração.

Osmond et al. (1981) define o termo *Eficiência de Uso de Água Intrínseca* para comparar distintas espécies. Essa relação P/Cs é particularmente importante quando as deficiências de água causam o fechamento parcial dos estômatos.

Os mesmos autores indicaram que em condições experimentais, as plantas $C_4$ tiveram valores 2,5 a 3,0 vezes maiores que as $C_3$, o que é similar ao descrito por Teare et al. (1973). Esta diferença aumenta com temperaturas de 20-35°C (BJÖRKMAN, 1971).

Em condições favoráveis, Osmond et al. (1981) estabelece que as diferenças entre plantas $C_3$ e $C_4$ tendem a desaparecer, em condições de clima frio, observação semelhante foi realizada por Caldwell et al. (1983).

Por outro lado, é provável que o aumento de $CO_2$ da atmosfera, aumente a EUA pelo aumento da fotossíntese em relação à transpiração. A experiência de Sionit et al. (1980) indica que trigo com estresse hídrico em ar contendo 1000 ppm de $CO_2$ tiveram a mesma produtividade de trigo sem estresse na atmosfera de 350 ppm.

**Sob o ponto de vista agronômico**

Pode ser definida como:

$$\text{EUA} = \frac{\text{Matéria Seca Produzida pelo Stand de Plantas}}{\text{Agua Utilizada}}$$

O valor da matéria pode estar se referindo a grãos, sementes, forragem ou matéria seca de plantas inteiras, incluindo raízes dependendo do objetivo do trabalho. Nesse tipo de estudo, podem existir dois problemas: O primeiro é que se as raízes ou outros órgãos vegetativos forem desprezados, a eficiência de uso de água (EUA) poderia ser menor que se considerar água

utilizada como água perdida por transpiração ou considerar as perdas combinadas por evapotranspiração (ET).

O uso de ET resulta em uma maior variabilidade da EUA devido a E ser afetada pela cobertura foliar nas distintas fases de desenvolvimento durante o ciclo e pela freqüência de umedecimento do solo, sendo independente do valor de T. para a finalidade das praticas agronômicas esse valor é mais real.

As diminuições de EUA seriam neste caso de 20% em cultivos adequadamente irrigadas e de 50% para plantas em vasos ou espécies perenes aonde a evaporação não pode ser prevista.

Como exemplo desse tipo de medida, pode-se citar o trabalho de Teare et al. (1973), no qual se realizou um estudo comparado de sorgo e soja em KANSAS (USA). Aonde se fez um acompanhamento do desenvolvimento de raízes e índice de área foliar, conjuntamente, com medidas de evaporação e transpiração. A EUA do sorgo foi três vezes superior ao da soja em termos de matéria seca total e produção de sementes (7 mg de MS por g de $H_2O$). Esses dados reafirmam que as plantas $C_4$ são 2,5 a 3,0 vezes mais eficientes que as $C_3$ (OSMOND et al., 1981).

Os resultados se devem ao fato que o sorgo tem a maior controle estomático para a transpiração que a soja e não esgotava a água tão rapidamente. Isso teve como conseqüência que a taxa de assimilação líquida do sorgo foi alta em agosto e como resultado disto a EUA foi alta no final do verão.

Tanner et al. (1981) realizaram estudo de eficiência de transpiração em batata e compararam os dados de campo relacionando com uma equação utilizada pelos primeiros pesquisadores:

$$\frac{\text{Produção}}{\text{Transpiração}} = \frac{K}{\Delta e}$$

em que K se refere à constante particular para cada espécie, e Δe à diferença de pressão de vapor entre a folha e o ar.

Tabela 9.2. Eficiência de uso de água (EUA, em mg de MS por g de $H_2O$) em diferentes experiências comparando espécies $C_3$ e $C_4$.

| Descrição | $C_4$ | $C_3$ | Autor(es) |
|---|---|---|---|
| Valores médios para espécies de pastagem | 3,3 | 1,5 | Downes (1969) |
| Arbustos desérticos (*Atriplex canesceus* - $C_4$ - e *Larrea tridentata* - $C_3$) | 1,4 | 0,7 | Dwyer et al. (1970) |
| Arbustos desérticos (*Atrifalex confertifolia* - $C_4$ - e *Ceratoides lamela* - $C_3$) | 4,3 | 2,9 | Caldwell et al. (1983) |
| Espécies de pastagem tropical (Gramíneas - $C_4$ - e Leguminosas - $C_3$) | 3,0 | 1,4 | Ludlow e Wilson (1970) |

Esta equação indica que a EUA pode ser maior em regiões úmidas para uma mesma espécie e que o é o mais baixo do que em regiões áridas.

Segundo Fisher e Maurer (1978), existe muita informação disponível sobre as determinações de matéria seca acumulada e transpiração de plantas em vasos ou cultivo em comunidades naturais, mostrando desde intervalos de uma semana até vários meses. Existe uma relação exata entre EUA em termos em mg de MS por g de $H_2O$ e expressa em mg de $CO_2$ por g de $H_2O$ que depende do teor de carbono da matéria seca. Esses valores vão desde 0,61 a 0,68 g de MS por g de $CO_2$ na maioria das plantas em crescimento. Ou seja, que 61 a 68% do C interveniente na fotossíntese se transforma em matéria seca. O resto é perdido devido a respiração e a acúmulo em tecidos não fotossintéticos.

De Wit (1958) demonstrou a relação inversa entre EUA e a evaporação da água livre (Eo), em um detalhado estudo de 6 cultivos de trigo semeados em intervalos mensais, em condições de clima mediterrâneo no sul da Austrália. A relação combinada da média mensal de Eo e o prognóstico da marcha estacional de EUA, a qual variava de 8,5 mg de MS por g de $H_2O$ no inverno a somente 2,5 mg de MS por g de $H_2O$ no verão. Alguns exemplos podem ser visualizados na Tabela 9.1.

Sendo assim, observam-se numerosas experiências em que se realizam medidas de EUA e que se confirma a relação inversa entre EUA e Eo.

Tabela 9.3. Eficiência do uso da água (EUA, $g.m^{-2}.mm^{-1}$) com base na produtividade de grãos (Pg) e massa de matéria seca total (MST) para 10 genótipos de milho em Campinas (BRUNINI, 1987).

| Genótipo | EUA | |
|---|---|---|
| | Pg | MST |
| IAC-8222 | 1,32 | 4,87 |
| IAC-7974 | 1,41 | 4,42 |
| C-601 | 1,00 | 4,22 |
| C-511 | 1,63 | 5,14 |
| AG-404 | 1,53 | 4,27 |
| AG-401 | 1,35 | 4,18 |
| P-44 | 1,32 | 4,77 |
| P-6875 | 1,42 | 5,49 |
| BB-670 | 1,41 | 4,81 |
| BX-670 | 1,48 | 4,88 |

Observa-se uma grande variabilidade na EUA, tanto para produção em grãos como para produção de matéria seca total. Essa EUA está relacionada com a capacidade de absorver e converter a energia solar incidente e varia de ano para ano.

Tabela 9.4. Eficiência do uso da água (EUA, $g.m^{-2}.mm^{-1}$) com base na produtividade de grãos (Pg) e massa de matéria seca total (MST) para o genótipo C-601 para três anos agrícolas.

| Ano agrícola | Eficiência no uso de água em $g.m^{-2} . mm^{-1}$ | |
|---|---|---|
| | Pg | MST |
| 1 | 1,58 | 3,83 |
| 2 | 1,10 | 2,45 |
| 3 | 1,00 | 4,22 |

**Como melhorar a eficiência de uso da água?**

Existem dois caminhos para melhorar a EUA para plantas cultivadas: O primeiro é melhorar o manejo, o qual afeta diretamente a partição de água utilizada (evaporação e transpiração) aumentando relativamente a fração realmente usada pela planta. O segundo é o melhoramento genético por meio do qual se busca aumentar a produção em condições de estresse.

**Melhoramento vegetal**

Fisher e Would (1979) estabelece que existem duas propostas gerais para melhorar a EUA: (i) *Black Box* (caixa negra), na qual se propõe um grande número de cultivares para produção em baixo estresse e se busca as diferenças de estrutura de cultivo e de processos fisiológicos que poderiam explicar essas diferenças de produtividade; e (ii) *ideotype* (ideótipo), sistema que se baseia em estudar cultivos em regime de umidade conhecida e ver como a deficiência hídrica afeta o crescimento da planta e sua produção e que características contribuem para o uso eficiente de água.

Tem-se buscado aumentar a EUR, encontrando espécies tolerantes a secas, devido este conceito ser muito amplo para ser base de um programa de melhoramento, seria desejável especificar então, que características fisiológicas e morfológicas são adequadas para melhorar para melhorar a produção em diferentes condições. Por exemplo, seria importante determinar qual é a importância relativa das características morfológicas como profundidade de raízes,espessura de cutícula e, com respeito a características fisiológicas tais como: capacidade de resposta estomática, metabolismo $C_4$, ajuste osmótico e tolerância a desidratação. Entretanto se tem grande dificuldade para identificar aquelas características fisiológicas adequadas para melhorar a produção em situações específicas.

A tolerância à desidratação é pouco comum em plantas de cultivo e geralmente não é utilizada porque cultivos severamente estressados são raras vezes produtivos. Entretanto, o germoplasma *latente* descrito por Castleberry (1983) parece conferir algum grau de tolerância a desidratação no grão, pelo menos em alguns cultivares de sorgo. A engenharia genética e as técnicas de cultivo de células e tecidos dão importantes contribuições para o melhoramento de estresse hídrico.

Outra alternativa tem sido selecionar linhagens tolerantes a frio e maior produtividade em baixas temperaturas, ou seja, em condições de baixa evaporação. Por exemplo, algumas pastagens $C_4$ se tornam adaptadas a áreas temperadas aumentando seu EUA. A seleção de plantas cujas folhas estão orientadas num ângulo apropriado à radiação solar, que por redução da radiação incidente aumentar a EUA (máxima em folhas de sol). O enrolamento de folhas eretas, aciculares são caracteres buscados para aumentar a EUA especialmente quando o $\Psi_{folha}$ começa cair.

## Práticas de manejo

As práticas de manejo que reduzem o dano por seca nos diferentes cultivos, tais como semeadura antecipada e irrigação são tão antigas como a agricultura. Entretanto, sua efetividade aumenta através do conhecimento mais detalhado e preciso, de como e quando as plantas podem estar sofrendo por estresse hídrico, ou seja, o prognóstico das condições meteorológicas determinantes do estresse hídrico.

Por exemplo, conhece-se que o estresse durante a germinação da semente de soja reduz a produção de grão. Se o efeito provável desta perturbação climática for bem estabelecida, os agricultores podem eleger variedades e momentos de semeadura que venham a diminuir a possibilidade de dano por seca. O êxito desta classe de manejo requer investigações interdisciplinar que levantem os dados necessários. Outra alternativa é utilizar praticas de manejo de cultivo que resultem em máximo armazenamento de água no solo e, portanto, na otimização de seu uso pelo cultivo (LUDLOW; WILSON; HESLEHURST, 1974).

Dependendo das condições locais, essas práticas envolvem a primeira lavra, a semeadura antecipada, o controle de plantas daninhas e a cobertura rápida do solo pela cultura para reduzir as perdas por evaporação. Ou seja, armazenar a máxima quantidade de água e usar práticas culturais que resultem numa mínima perda de água por evaporação.

## Uso de antitranspirantes

Este é um caso especial de manejo, pois, a redução da transpiração pode ser feita de duas maneiras: (i) através da aplicação de substâncias que causam fechamento dos estômatos ou (ii) aplicação de películas de materiais especiais que cobrem a superfície inteira da folha e reduzem a perda de água. Mas, infelizmente, os antitranspirantes diminuem a perda de água como vapor, mas também diminuem as entradas de $CO_2$.

O uso de antitranspirantes está baseado na suposição de que um aumento na resistência da superfície da folha poderia diminuir a transpiração mais do que diminuiria o consumo de $CO_2$. Isso se deve ao fato de que a resistência do mesófilo ($r_m$) é pequena quando se trata de perda de água, mas quando se trata da entrada de $CO_2$ é tão grande ou maior do que as resistências da camada limite e estomática juntas (*ra* + *rs*).

Slayter et al. (1964) trabalharam com acetato de fenil mercúrio como antitranspirante em algodão e, reportaram que a redução da transpiração pode se tornar maléfico a fotossíntese. Também tem havido experiências com ABA em espécies florestais (sementeiras), apesar de se obter efetividade duvidosa (DAVIS et al., 1981; DOWNES, 1969).

As películas como emulsões de látex, ceras de polivinilo, polietileno e álcoois pesados como o hexa decanol, têm tido aplicações variadas. Sua efetividade parece depender das espécies, estádio de desenvolvimento e condições atmosféricas no momento da aplicação. Por exemplo, as películas têm aplicação limitada sobre plantas em crescimento, porque são requeridas numerosas aplicações para cobrir folhas novas.

O uso de películas tem tido êxito em frutíferas para aumentar o tamanho da fruta e melhorar as condições de armazenamento (URIU et al., 1975). Outro inconveniente no uso de antitranspirantes seria um aumento na temperatura das folhas. Gate e Hagan (1966) concluíram que se a taxa de transpiração fosse reduzida pela metade, a temperatura da folha aumentaria 4°C. Outra desvantagem poderia ser que uma diminuição da transpiração poderia diminuir o consumo e translocação de nutrientes, mas isto não tem sido comprovado. A redução da transpiração poderia ter numerosas vantagens se pudesse ser feita sem a redução da fotossíntese. Mas, isto parece ser impossível, porque não existem materiais mais permeáveis ao $CO_2$ que ao vapor de água.

**Comentários gerais sobre consumo e eficiência de uso da água**

Existem numerosos trabalhos em que se tem definido e calculado a eficiência de uso de água (EUA) através de medidas de trocas gasosas em folhas simples e sua extrapolação em condições de cultivo tem tido êxito. Entretanto, para predições corretas da EUA para grandes períodos se deve conhecer muito bem as condições meteorológicas e o comportamento da água no solo, ou mesmo o conhecimento das respostas fisiológicas a essas condições.

Se o conhecimento teórico é importante, necessita-se também as medidas diretas a campo para comprovar as predições teóricas e encontrar outro tipo de resultados em condições não previstas.

Neste momento parece mais adequado que o aumento de EUA, seja mais pelo ajuste de métodos culturais, tais como: diminuição da evaporação, diminuição da transpiração pelo uso de antitranspirantes, irrigação ou utilização de variedades ou híbridos cujo ciclo pode adaptar-se a condições sem estresse (melhoramento do tempo de desenvolvimento do cultivo).

A seleção e melhoramento de linhagens com alta taxas de crescimento e produtividade aumentam em muito medidas da EUA. Ocorre que, altas taxas de transpiração acompanham altas produtividades, porque as condições favoráveis para a fotossíntese também são para a transpiração.

A EUA se refere a um parâmetro de produção, e o objetivo maior para a pesquisa nesta área é alcançar alta EUA mantendo alta produtividade.

Entretanto, na resistência a seca, a ênfase se dá na sobrevivência durante o período de diminuição de disponibilidade de água. Por essa razão que se tem tantas dúvidas sobre a produtividade de plantas com alta EUA selecionadas para condições de estresse.

**Resistência a seca**

Seca não se refere ao teor de água no solo correspondente ao *ponto de murcha permanente*. Refere-se à falta de água que causa dano a um órgão ou à planta inteira. O *ponto de murcha permanente* se refere à quantidade de água retida correspondente ao potencial mátrico de -15 atm. Esse conceito é ignorado em fisiologia.

**BIBLIOGRAFIA**

BJÖRKMAN, O. Comparative photosynthetic CO exchange in higher plants. In: HATCH, M.D.; OSMOND, C.B.; SLATYER, R.O. (Ed.). Photosynthesis and photorespiration. New York, Wiley-Interscience, p.18-32, 1971.

BRUNINI, O. Consumo hídrico e parâmetros ecológicos da cultura do milho. In: Anais do Simpósio de Manejo da Água na Agricultura. Campinas. **Anais**... Fundação Cargill, 1987.

CALDWELL, M.M.; DEAN, T.J.; NOWAK, R.S.; DZUREC, R.S.; RICHARDS, J.H. Bunchgrass architecture, light interception, and water-use efficiency: assessment by fiber optic point quadrats and gas exchange. **Oecologia**, Berlin, v.59, p.178-184, 1983.

DAVIS, W.Y.; RODRIGO, D.M.; OPITZ, E.M.; DZIEGIELEWSKI, E.; BAUMMAN, D.D.; BOLAND, J.J. IWR-MAIN water use forecasting system version 5.1. Report 88-R-6. USACE Institute for Water Resources, Fort Belvoir, Virginia, 1981.

DE WIT, C.T. Transpiration and crop yields. Versalg Landouw-Kundig Onder-Zoek, Wageningen, Netherlands, Wageningen University, 1958.

DOWNES, R.W. Differences in transpiration rates between tropical and temperate grasses under controlled conditions. **Planta**, v.88, p.261-273. 1969.

FISHER, R.A.; MAURER, R. Drought resistance in spring wheat cultivar. I. Grain yield responses. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.29, p.897-905. 1978.

FISHER, R.A.; WOULD, J.T. Drought resistance in spring wheat cultivar. III. Yield associations with morpho-physiological traits. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.30, p.1001-1011. 1979.

LUDLOW, M.M.; WILSON, G.L.; HESLEHURST, M.R. Studies on the productivity of tropical pasture plants. Effect of shading on growth, photosynthesis and respiration in two grasses and two legumes. **Australian Journal of Agricultural Research**, East Melboume, v.25, n.3, p.425-433, 1974.

LUDLOW, M.M.; WILSON, G.L. Studies on the productivity of tropical pasture plants. II. Growth analysis, photosynthesis and respiration of 20 species of grass and legumes in a controlled environment. **Australian Journal of Agricultural Research**, East Melboume, v.21, n.2, p.183-194, 1970.

OSMOND, C.B.; VALAANE, N.; HASLAM, S.M.; UOTILA, P.; ROKSANDIC, Z. Comparison of $\delta^{13}C$ values in Britain and Finland; some implications for photosynthetic processes in aquatic plants, **Oecologia**, v.50, p.117-124, 1981.

# USO DE INDUTORES DE RESISTÊNCIA: CONCEITO, REALIDADE E PERSPECTIVAS

**Sérgio F. Pascholati**

Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Dr. e Docente do Departamento de Fitopatologia,
ESALQ, Universidade de São Paulo.
Caixa Postal 9, Piracicaba-SP, 13418-900, +(19)3429.4124
sfpascho@esalq.usp.br

**Patrícia Cia**

Instituto Agronômico de Campinas, Divisão de Engenharia Agrícola, Centro de Mecanização e Automação Agrícola. Rodovia D. Gabriel P. B. Couto, km 65,
Caixa Postal 26, Jundiaí, SP, 13201-970, +(11)4582.8155

## INTRODUÇÃO

A indução de resistência tem por objetivo ativar os mecanismos latentes de resistência de um hospedeiro vegetal suscetível ou moderadamente resistente, de modo que o mesmo tenha sucesso na defesa contra o ataque de patógenos, como fungos, bactérias e vírus (PASCHOLATI et al., 2005). Esta nova ferramenta pode adequar-se perfeitamente ao manejo integrado de doenças e contribuir para que genótipos de alto valor agronômico continuem ou passem a ser utilizados no campo.

A ativação das respostas de defesa se inicia pelo reconhecimento do patógeno, que pode ser mediado pela interação entre os genes de resistência da planta (*R*) e de avirulência (*avr*) do microrganismo ou pela ligação de eliciadores não-específicos (fatores abióticos, produtos do patógeno, frações da parede celular da planta ou do próprio microrganismo) e possíveis receptores da planta (Pascholati et al., 2008). Os mecanismos de defesa desencadeados após o contato do microrganismo com o hospedeiro incluem o colapso da célula desafiada, constituindo o que se conhece como resposta de hipersensibilidade (RH), a produção de espécies reativas de oxigênio ocasionando explosão oxidativa da célula, a ativação de genes de defesa, a síntese de fitoalexinas e de compostos capazes de promover mudanças estruturais na parede celular (SCHWANESTRADA et al., 2008). Em adição, sinais podem ser translocados para partes distantes do sítio onde o eliciador foi percebido, incrementando os níveis de resistência da planta ao ataque de patógenos (CAVALCANTI et al., 2005; DIXON et al., 1994).

A resistência induzida consiste no aumento do nível de resistência por meio da utilização de agentes externos (indutores), sem qualquer alteração do genoma da planta (STADNIK, 2000), ocorrendo de maneira não-específica, por meio da ativação de genes que codificam para diversas respostas de defesa, tais como proteínas relacionadas à patogênese (proteínas-RP), enzimas envolvidas na rota de síntese de fitoalexinas, como a fenilalanina amônia-liase (FAL), acúmulo de lignina em tecidos circunvizinhos

ao local de penetração do microrganismo, entre outras (BONALDO et al., 2005).

A indução de resistência pode ocorrer em condições controladas e também no campo, além de exibir vantagens, como: efetividade contra vírus, bactérias, fungos e nematóides; estabilidade devido à ação de diferentes mecanismos de resistência; caráter sistêmico, persistente e natural da proteção; transmissão por enxertia; economia de energia metabólica e utilização do potencial genético para resistência em todas as plantas suscetíveis (KUHN; PASCHOLATI, 2007; PASCHOLATI, 2002). Como desvantagem é uma resistência parcial, incompleta e que pode requerer reativações temporárias (SILVA; RESENDE, 2001).

A proteção induzida é dependente do intervalo de tempo entre o tratamento indutor e a subseqüente inoculação da planta (tratamento desafiador ou provocador), indicando que mudanças específicas no metabolismo da planta, que envolvem a síntese e/ou acúmulo de substâncias, são importantes no fenômeno da resistência induzida. O efeito protetor da resistência induzida, dependendo do indutor e da planta, pode durar desde poucos dias até mesmo por todo o ciclo da planta (PASCHOLATI; LEITE, 1995).

Para que o processo de indução de resistência seja desencadeado, é necessário que o hospedeiro seja estimulado por agentes bióticos e/ou abióticos. Nesse sentido, diferentes indutores de resistência, principalmente de natureza abiótica, já existem registrados comercialmente no exterior - Bion®, Elexa®, Oryzemate®, Oxycom®, Messenger® e Milsana®, dentre outros (ATHAYDE SOBRINHO et al., 2005; DI PIERO et al., 2005). No Brasil, em função de nosso conhecimento, somente o indutor denominado Bion® 500 WG (acibenzolar-S-metil) está registrado para essa finalidade, como ativador de plantas, sendo indicado para mudas de cacau (vassoura-de-bruxa) e citros (clorose-variegada-dos-citros), e para as culturas da batata (requeima), algodão (ramulária, mancha-angular), feijão (antracnose, crestamento-bacteriano-comum, mosaico dourado), melão (mancha-aquosa) e tomate (requeima, pinta-preta, mancha-bacteriana, pinta-bacteriana) (vide bula do produto – www.syngenta.com.br; registrado no MAPA sob nº 05801). Além disso, vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos no exterior e no Brasil, com o objetivo de controlar doenças causadas por fitopatógenos em diferentes plantas, através da utilização de agentes alternativos, principalmente de natureza biótica, que atuem como indutores de resistência nas plantas (PASCHOLATI, 1998; 2002). No Brasil, alguns estudos podem ser citados para ilustrar o possível controle de doenças em milho e sorgo por esses agentes alternativos (BONALDO, 2005; DA SILVA; PASCHOLATI, 1992; DI PIERO; PASCHOLATI, 2002; LOPES, 1991; PICCININ et al., 2004; STANGARLIN; PASCHOLATI, 1994; TONNUCCI, 2004).

Finalmente, o aumento da proteção dos tecidos da planta hospedeira durante os períodos de suscetibilidade através da resistência induzida, onde mecanismos de resistência são ativados, pode ser considerada como uma

estratégia preferencial para os programas de manejo integrado de doenças (SILVA; RESENDE, 2001). Portanto, um dos possíveis resultados desta recente tecnologia deverá ocasionar a diminuição do uso de defensivos, o que vem de encontro com a preocupação mundial no tocante à preservação do ambiente e redução da poluição e dos riscos à saúde (DEISING et al., 2008).

## BIBLIOGRAFIA

ATHAYDE SOBRINHO, C.; FERREIRA, P.T.O.; CAVALCANTI, L.S. **Indutores abióticos**. In: CAVALCANTI, L.S.; DI PIERO, R.M.; CIA, P.; PASCHOLATI, S.F.; RESENDE, M.L.V.; ROMEIRO, R.S. (Ed.). **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. Piracicaba: Fealq, 2005. p.51-80.

BONALDO, S.M. Efeito de *Saccharomyces cerevisiae* na síntese de fitoalexinas em sorgo, na germinação e formação de apressórios por fungos fitopatogênicos e na proteção de pepino a *Colletotrichum lagenarium* e sorgo a *Colletotrichum sublineolum*. Tese de Doutorado, ESALQ, Piracicaba. 2005. 150p.

BONALDO, S.M.; PASCHOLATI, S.F.; ROMEIRO, R.S. **Indução de resistência: noções básicas e perspectivas**. In: CAVALCANTI, L.S.; DI PIERO, R.M.; CIA, P.; PASCHOLATI, S.F.; RESENDE, M.L.V.; ROMEIRO, R.S. (Ed.). Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos. Piracicaba: Fealq, 2005. p.11-28.

CAVALCANTI, L.S.; BRUNELLI, K.R.; STANGARLIN, J.R. **Aspectos bioquímicos e moleculares da resistência induzida**. In: CAVALCANTI, L.S.; DI PIERO, R.M.; CIA, P.; PASCHOLATI, S.F.; RESENDE, M.L.V.; ROMEIRO, R.S. (Ed.). **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. Piracicaba: Fealq, 2005. p.81-124.

DA SILVA, S.R.; PASCHOLATI, S.F. *Saccharomyces cerevisiae* protects maize plants, under greenhouse conditions, against *Colletotrichum graminicola*. **Journal of Plant Disease and Protection**, v.99, p.159-167, 1992.

DEISING, H.; REIMANN, S.; PASCHOLATI, S. F. Mechanisms and significance of fungicide resistance. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.39, p.286-295, 2008.

DI PIERO, R.M.; GARCIA JR., D.; TONUCCI, N.M. **Indutores bióticos**. In: CAVALCANTI, L.S.; DI PIERO, R.M.; CIA, P.; PASCHOLATI, S.F.; RESENDE, M.L.V.; ROMEIRO, R.S. (Ed.). **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. Piracicaba: Fealq, 2005. p.29-50.

DI PIERO, R.M.; PASCHOLATI, S.F. Efeito das cianobactérias *Synechococcus leopoliensis* e *Nostoc* sp. sobre *Colletotrichum sublineolum* e na interação do patógeno com plantas de sorgo. **Fitopatologia Brasileira**, v.27, p.163-169, 2002.

DIXON, R.A.; HARRISON, M.J.; LAMB, C.J. Early events in the activation of plant defense responses. **Annual Review of Phytopathology**, v.32, p.479-501, 1994.

KUHN, O. J.; PASCHOLATI, S. F. **Custo adaptativo da resistência induzida no controle de fitopatógenos**. In: RODRIGUESM, F.A.; ROMEIRO, R.S. (Org.). Indução de resistência em plantas a patógenos. Viçosa: UFV, 2007, p.67-90.

LOPEZ, A.M.Q. Controle alternativo da antracnose causada por *Colletotrichum graminicola* (Ces.) Wils. em sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Dissertação de Mestrado/Unesp, Rio Claro. 1991. 203p.

PASCHOLATI, S.F.; LEITE, B. ; STANGARLIN, J.R.; CIA, P. Interação planta-patógeno: fisiologia, bioquímica e biologia molecular. 1ª. ed. Piracicaba: Fealq, 2008, v.13, 627p.

PASCHOLATI, S.F. **Potencial de *Saccharomyces cerevisiae* e outros agentes bióticos na proteção de plantas contra patógenos**. Tese Livre-Docência, ESALQ, 1998. 123p.

PASCHOLATI, S.F. **Resultados com resistência induzida no Brasil**. In: Simpósio de biologia molecular da resistência de plantas a patógenos: aplicações no manejo integrado de fitodoenças, 1. Lavras. **Resumos.** Lavras: Ufla, 2002, p.9.

PASCHOLATI, S.F.; LEITE, B. **Hospedeiros: mecanismos de resistência**. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.). Manual de fitopatologia: princípios e conceitos. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, v.1, cap. 22, p.417-454, 1995.

PASCHOLATI, S.F.; RESENDE, M.L.V.; ROMEIRO, R.S. (Ed.). Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos. Piracicaba: Fealq, 2005. p.125-138.

PICCININ, E.; DI PIERO, R.M.; PASCHOLATI, S.F. Efeito de *Saccharomyces cerevisiae* na produtividade de sorgo e na severidade de doenças foliares no campo. **Fitopatologia Brasileira**, v.30, n.1, p.5-9, 2004.

SCHWANESTRADA, K.R.F.; STANGARLIN, J.R.; PASCHOLATI, S.F. Mecanismos bioquímicos de defesa vegetal. In: PASCHOLATI, S.F.; LEITE,

B.; STANGARLIN, J.R.; CIA, P. (Org.). Interação planta-patógeno: fisiologia, bioquímica e biologia molecular. Piracicaba, Fealq, 2008, v.13, p.227-248.

SILVA, L.H.C.P.; RESENDE, M.L.V. **Resistência induzida em plantas contra patógenos**. In: SILVA, L.H.C.P.; CAMPOS, J.R.; NOJOSA, G.B.A. Manejo integrado de doenças e pragas em hortaliças. Lavras, UFLA, p.221-239, 2001.

STADNIK, M. Indução de resistência a oídios. In: Congresso Paulista de Fitopatologia, 23, 2000, Campinas. **Anais**...Campinas: GPF, 2000. p.176-181.

STANGARLIN, J.R.; PASCHOLATI, S.F. Proteção de plantas de milho pipoca contra *Exserohilum turcicum* pelo uso de *Saccharomyces cerevisiae*. **Summa Phytopathologica**, v.20, p.16-21, 1994.

TONUCCI, N.M. Efeito de extratos aquosos do basidiocarpo e micélio de *Lentinula edodes* (Shiitake) sobre *Colletotrichum sublineolum, Alternaria solani, Xanthomonas axonopodis* pv. *passiflorae* e *Tobacco mosaic virus* (TMV). Dissertação de Mestrado, ESALQ, Piracicaba. 2004. 87p.

impressão e acabamento




www.copiadoralq.com.br
19 - 3434 4838

ISBN - 978-85-86481-05-5





Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
Departamento de Produção Vegetal
www.esalq.usp.br/departamentos/lpv
fone: (19) 3429-4115 - Caixa Postal 09
13418-900 - Piracicaba, SP