

**SÓCIOS:**

Instituto da Potassa e do Fosfato (EUA)  
Instituto da Potassa e do Fosfato (Canadá)  
Website: [www.potafos.org](http://www.potafos.org)

**DIRETOR:**

T. Yamada

# INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS

Nº 95 SETEMBRO/2001

## A IMPORTÂNCIA DO FÓSFORO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DA PLANTA

**C.A. Grant<sup>1</sup>**  
**D.N. Flaten<sup>2</sup>**

**D.J. Tomaszewicz<sup>3</sup>**  
**S.C. Sheppard<sup>4</sup>**

O fósforo é crucial no metabolismo das plantas, desempenhando papel importante na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese. É também componente estrutural dos ácidos nucleicos de genes e cromossomos, assim como de muitas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolipídeos. As limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no desenvolvimento, das quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de P a níveis adequados. O suprimento adequado de P é, pois, essencial desde os estádios iniciais de crescimento da planta.

A planta em crescimento pode apresentar diferentes estádios na nutrição mineral, tendo em conta o balanço entre os suprimentos interno e externo de nutrientes e a demanda da planta por nutrientes. Inicialmente, as plantas vivem de suas reservas na semente, e o suprimento externo tem pouco efeito no crescimento. Uma segunda etapa ocorre quando a taxa de crescimento é determinada pelo suprimento de nutrientes através de um balanço dinâmico entre fatores internos da planta e suprimento externo (solo). Numa etapa final, a taxa de crescimento relativo pode diminuir por razões outras que a nutrição inadequada. Nesse ponto, a taxa de crescimento das plantas deficientes e não deficientes pode ser a mesma, já que o fator mais limitante ao crescimento não é o suprimento de nutrientes.

Fonte: **Better Crops with Plant Food**, Norcross, n.2, 2001.

<sup>1</sup>Agriculture and Agri-Food Canada, Brandon, Manitoba. E-mail: [cgrant@em.agr.ca](mailto:cgrant@em.agr.ca)

<sup>2</sup>Department of Soil Science, University of Manitoba. E-mail: [don\\_flaten@umanitoba.ca](mailto:don_flaten@umanitoba.ca)

<sup>3</sup>Manitoba Crop Diversification Centre, Carberry. E-mail: [tomaszewiczd@em.agr.ca](mailto:tomaszewiczd@em.agr.ca)

<sup>4</sup>Ecomatter Consulting, Pinawa, Manitoba. E-mail: [sheppard@ecomatters.com](mailto:sheppard@ecomatters.com)

### *Veja neste número:*

<b>Adubação nitrogenada no momento certo para soja de alta produtividade .....</b>	<b>6</b>
<b>Dinâmica do nitrogênio em um sistema solo-cana-de-açúcar .....</b>	<b>9</b>
<b>Adubação fosfatada e metais pesados em Latossolo cultivado com arroz .....</b>	<b>10</b>
<b>Plástico de açúcar em escala industrial .....</b>	<b>11</b>
<b>Site da POTAFOS .....</b>	<b>12</b>
<b>Esquecemos da matéria orgânica .....</b>	<b>16</b>

O período de tempo requerido para a deficiência de P mostrar efeito nos processos da planta depende da grandeza das reservas de P na mesma. Nos tecidos da maioria das plantas superiores, a maior parte do P se encontra na forma inorgânica. As concentrações de P inorgânico armazenadas tendem a variar amplamente dependendo da disponibilidade externa, enquanto as concentrações de P orgânico ativo metabolicamente tendem a ser mais estáveis. Somente uma pequena quantidade de P presente na planta está ativamente envolvida no metabolismo. Se o suprimento de P for adequado, grande parte do reservatório de P inorgânico permanece não metabólico e é armazenado no vacúolo como orto-

fosfato. Sob estresse de P, as reservas inorgânicas são exauridas, enquanto os níveis metabólicos praticamente não são afetados. Assim, as altas concentrações de P armazenadas na semente, ou provenientes do consumo de luxo nos estádios iniciais de desenvolvimento, formam as reservas de P disponível que podem satisfazer as necessidades advindas das flutuações no suprimento, na fase tardia do ciclo de vida das plantas.

## EFEITO DA DEFICIÊNCIA DE P NO DESENVOLVIMENTO DA PLANTA

O estresse moderado de P pode não produzir sintomas evidentes de deficiência. Porém, sob deficiência mais severa, as plantas adquirem coloração que varia de verde-escuro a púrpura.

A deficiência de fósforo pode reduzir tanto a respiração como a fotossíntese; porém, se a respiração reduzir mais que a fotossíntese, os carboidratos se acumulam, deixando as folhas com coloração verde-escuro. A deficiência também pode reduzir a síntese de ácido nucléico e de proteína, induzindo a acumulação de compostos nitrogenados solúveis (N) no tecido. Finalmente, o crescimento da célula é retardado e potencialmente paralisado. Como resultado, os sintomas de deficiência de P incluem diminuição na altura da planta, atraso na emergência das folhas e redução na brotação e desenvolvimento de raízes secundárias, na produção de matéria seca e na produção de sementes (Foto 1).



Foto 1. Resposta do crescimento inicial do trigo à aplicação de P na semeadura (à direita) comparada à do crescimento da planta sem aplicação de P (à esquerda).

As plantas respondem à deficiência de P com adaptações que as permitem maximizar a probabilidade de produzir algumas sementes viáveis. Geralmente, o estresse de P diminui mais o número total de sementes produzidas que o tamanho da semente. Por exemplo, em cereais, a redução no número de sementes ocorre através da redução do número de espigas férteis e do número de grãos por espiga (Figura 1). Com menor número de sementes formadas a planta aumenta o suprimento de nutriente por semente, melhorando, assim, a viabilidade da mesma.

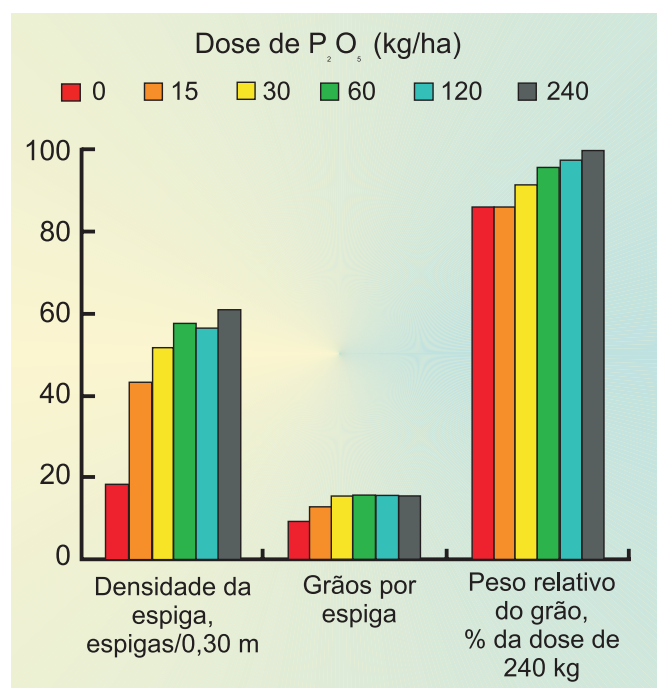


Figura 1. Efeito da aplicação de doses de P na densidade média das espigas, no número de grãos por espiga e no peso relativo do grão de cevada, cv. Schooner (adaptada de HOPPO et al., 1999).

## O SUPRIMENTO DE FÓSFORO NOS ESTÁDIOS INICIAIS DE CRESCIMENTO DA PLANTA É FUNDAMENTAL

Grande número de estudos, em muitas espécies de plantas, tem mostrado que o suprimento de P na fase inicial da vida da planta é fundamental para o ótimo rendimento da cultura. A falta de P no início do desenvolvimento restringe o crescimento, condição da qual a planta não mais se recupera. Isto limita seriamente a produção. A falta de P no período mais tardio do ciclo tem muito menor impacto na produção da cultura do que a no início.

Pesquisa conduzida com trigo, em solução nutritiva, mostrou que a máxima produção de perfilhos foi obtida quando o P foi fornecido nas primeiras quatro semanas de crescimento (Tabela 1).

Tabela 1. Número de perfilhos e desenvolvimento radicular secundário do trigo influenciados pela ausência de P durante vários intervalos, no início ou no final do período de 10 semanas de desenvolvimento (adaptada de BOATWRIGHT & VIETS, 1966).

Semanas sem P em um período de 10 semanas	Perfilhos/6 plantas na semana 10	Raízes secundárias/6 plantas na semana 10
0 - testemunha	27,7	120,0
Primeiras 2 semanas	22,3	76,2
Últimas 2 semanas	23,0	123,6
Primeiras 4 semanas	10,3	21,6
Últimas 4 semanas	24,0	106,2
Primeiras 6 semanas	9,4	19,8
Últimas 6 semanas	24,0	66,0

Quando não se adicionou P durante as quatro semanas iniciais, ou nas seguintes, a produção de perfilhos foi inferior à obtida nas plantas sem restrição de P. O desenvolvimento das raízes secundárias seguiu o mesmo comportamento, demonstrando a necessidade da planta em ter o P disponível no início do crescimento para permitir desenvolvimento máximo das raízes.

Neste experimento, o rendimento final de matéria seca do trigo reduziu-se quando as plantas foram cultivadas em solução deficiente em P durante diferentes intervalos das primeiras cinco semanas de desenvolvimento (Tabela 2). O suprimento de P somente durante as primeiras três a quatro semanas de crescimento resultou também numa redução na produção de matéria seca. Também a falta de P nas primeiras duas e três semanas resultou em menor produção de matéria seca. Embora a cultura tenha absorvido somente quantidades pequenas de P durante as duas primeiras semanas de crescimento (15% do máximo), esta acumulação inicial de P foi extremamente importante para a máxima acumulação de matéria seca e, em consequência, maior produção de grãos na maturidade.

**Tabela 2. Influência do suprimento de P na solução nutritiva na acumulação de matéria seca de trigo. Resultados apresentados como porcentagem da testemunha (1-5 semanas). Adaptada de BOATWRIGHT & VIETS, 1966.**

Período de fornecimento de P em diferentes semanas de crescimento	Matéria seca de trigo como porcentagem da testemunha
1-5*	100
1-4	80
1-3	50
3-5	80
4-5	30

\* Testemunha.

Várias razões têm sido propostas para explicar porque a necessidade de P é tão crítica no início do ciclo para assegurar o posterior bom crescimento e desenvolvimento da planta. Porém, o efeito mais provável é um processo que leva a planta a uma condição irreversível, que afeta o crescimento posterior, mesmo que a planta receba, mais tarde, um adequado suplemento de nutrientes.

O mecanismo que afeta o crescimento, em resposta à deficiência inicial de P, pode estar relacionado a restrições no fornecimento de carbono (C) à planta. Em milho, a deficiência de P reduz a taxa de emissão e crescimento de folhas, particularmente das folhas baixas. Com menor área foliar, causada pela deficiência de P, há menor captação da radiação solar e, conseqüentemente, menos carboidratos, afetando a subseqüente emergência das raízes nodais e reduzindo a capacidade de absorção de P pela planta.

A resposta do milho à aplicação de P na semeadura está relacionada com a concentração foliar de P nos estádios de V4 a V5, ou possivelmente mais cedo. Especula-se que a explicação porque mais P na semeadura produz mais grãos poderia ser o efeito do P no tamanho da espiga. Uma deficiência de P durante a formação da espiga, que ocorre entre os estádios V6 e V7, pode diminuir o tamanho da espiga, levando a um menor número de grãos por espiga. Mecanismo semelhante pode ocorrer em outras

espécies, como evidenciado pelas reduções no número de sementes com a deficiência de P em diversas culturas.

## NECESSIDADE DE SUPRIMENTO DE P NOS ESTÁDIOS DE FLORESCIMENTO E ENCHIMENTO DOS GRÃOS

Apesar do efeito dominante do suprimento de P nas fases iniciais do desenvolvimento da cultura, é importante que seu fornecimento continue também nas fases posteriores.

Aceita-se comumente que a absorção máxima de P pelo trigo (de primavera) ocorra durante o emborrachamento e que seu acúmulo nos grãos seja devido principalmente à redistribuição do P contido nas folhas e caules. Contudo, em estudos feitos com trigo (hard red spring wheat) irrigado observou-se que apenas 45% do P total da parte aérea tinha sido absorvido até o florescimento. À medida que a planta se desenvolvia, o P era removido das folhas e caules e direcionado para os grãos. Na maturação, a distribuição do P entre os diferentes órgãos da planta era de 3% nas folhas, 8% nos caules, 9% na casca e 80% nos grãos.

Uma quantidade adequada de P tem que ser absorvida pelo trigo até o estágio de primeiro nó (estádio Feekes 6.0) para garantir a máxima concentração de P nos grãos. Contudo, é preciso garantir também suprimento contínuo de P até a fase de maturação para permitir o funcionamento do mecanismo de translocação de carboidrato para que não haja redução na produção de grãos. O fósforo utilizado na formação dos grãos pode ser suprido pela absorção do solo, pós-antese, assim como pela redistribuição interna do P acumulado nas fases iniciais.

## DIFERENÇAS ENTRE PLANTAS E AS ESTRATÉGIAS DE ABSORÇÃO E EFICIÊNCIA NA UTILIZAÇÃO DE P

A importância do P para a sobrevivência da planta tem promovido o desenvolvimento de mecanismos de adaptação da planta para melhorar seu acesso aos estoques de P. A concentração de P na solução do solo geralmente é baixa, porque ele é rapidamente adsorvido nas superfícies dos colóides do solo ou são precipitados como fosfatos de cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe) e alumínio (Al).

A maior parte do P no solo se move até as raízes da planta mais por difusão que por fluxo de massa. Como o movimento do P do solo por difusão até as raízes é restrito, a difusão geralmente é considerada como o fator mais limitante na absorção de P pelas plantas. Estima-se que o P se move por difusão, em média, somente 1-2 mm; desta forma, apenas o P que se encontra a esta distância das raízes está estrategicamente disponível para ser absorvido.

A absorção de P pelas plantas é proporcional à densidade das raízes; assim, o incremento da área superficial da massa radicular aumenta a habilidade da planta em acessar e absorver o P do solo. Em consequência, algumas plantas respondem às baixas concentrações de P no solo pelo aumento do sistema radicular, desenvolvendo rapidamente raízes laterais com abundantes pêlos radiculares que melhoram a habilidade da planta em explorar o solo em busca de novas reservas de P do solo, e o extraem eficien-

temente quando áreas com alto teor de P são encontradas. Muitas plantas formam associações com micorrizas, as quais aumentam a habilidade da cultura em adquirir o P.

Tem-se observado que a relação raiz-parte aérea da planta aumenta quando existe deficiência de P no início do seu desenvolvimento. Isto significa que a redução no crescimento, por efeito da deficiência de P, geralmente é maior na parte aérea da planta que nas raízes, permitindo desta forma manter pelo menos o crescimento radicular para encontrar e extrair P do solo. O crescimento das raízes e da parte aérea é paralela à distribuição do P nestes órgãos. Quando o suprimento de P era baixo, a proporção de P retido nas raízes era mais alta que quando o suprimento de P era moderado. Em condições de alto conteúdo de P, havia também um incremento relativo de P nas raízes que o P acumulado na parte aérea. Isto significa uma retenção de P nas raízes para satisfazer suas necessidades quando o conteúdo de P do solo for baixo, exportação de P para a parte aérea quando ele for suficiente, e retenção de P nas raízes quando ele estiver em alta concentração no solo para evitar toxidez de P na parte aérea.

Apesar do aumento da densidade radicular ser um importante mecanismo no aumento da absorção de P em condições de baixo suprimento de P, existem ainda outros mecanismos que operam nestas circunstâncias. Assim, algumas plantas liberam fosfatases, que quebram as moléculas dos ácidos orgânicos liberando P para o meio. Outras plantas, como a canola, podem acidificar a rizosfera através da secreção de ácidos orgânicos e aumentar, assim, a disponibilidade de P.

Algumas plantas podem responder à deficiência de P melhorando sua habilidade em acumular o elemento. Em milho, uma redução no nível de P na planta parece ser o sinal para que as raízes absorvam P mais rapidamente. As plantas que passaram por estresse de P apresentam grande aumento na taxa de absorção quando colocadas em contato com este nutriente e, portanto, têm concentração maior de P no tecido, comparadas àquelas que não experimentaram a deficiência de P.

As plantas deficientes em P podem perder a habilidade em regular sua absorção, condição que pode levar a uma absorção indiscriminada quando se restabelece o fornecimento de P na solução. Conclui-se que as plantas normais têm um mecanismo de regulação que limita a excessiva absorção e acumulação de P, situação que não ocorre nas plantas deficientes em P. Por esta razão, as plantas deficientes em P podem acumular quantidades tóxicas de P quando expostas repentinamente a altas concentrações de P na solução. Assim, esta condição não acontece quando as plantas recebem níveis contínuos de P. Uma alta relação entre P inorgânico e P orgânico na planta parece sinalizar ao sistema de transporte para aumentar a taxa de influxo. O restabelecimento de um suprimento externo de P inorgânico parece ser regulado pela concentração de P inorgânico na planta, que pode ajudar a protegê-la contra a toxicidade de P.

## TEMPERATURA DO SOLO E SUPRIMENTO DE P

Quando se considera o suprimento inicial de P no ciclo de crescimento, a temperatura é de particular importância, já que as culturas anuais no Great Plains são freqüentemente plantadas em solo frio. Assim, a temperatura pode influenciar a planta na obtenção de P nos estádios iniciais de crescimento, devido à difusão mais lenta e à menor solubilidade do P no solo. Isso pode ser de particular relevância nos locais onde as temperaturas frias do solo

na semeadura aumentam a necessidade de aplicação do P próximo à linha de semeadura.

O efeito mais simples da temperatura do solo é sobre a solubilidade do P, que é menor em baixas temperaturas. Porém, o efeito da temperatura não é necessariamente o mesmo entre os diferentes solos. Em alguns solos observou-se que, apesar do crescimento radicular ser pouco afetado pela baixa temperatura, havia redução da absorção de P. Neste caso, a explicação estaria na menor solubilidade do P causada pela baixa temperatura.

A temperatura também influencia a taxa de reação do adubo fosfatado com o solo. Adubos fosfatados reagem e se transformam rapidamente quando aplicados ao solo, e continuam a se transformar por meses a fio. A transformação é, geralmente, para formas menos solúveis, sendo que as baixas temperaturas atrasam o processo. Obviamente, este efeito da temperatura pode ser importante no início do ciclo e é oposto ao efeito sobre a solubilidade de P nativo. Com solo frio, o P nativo do solo estará menos disponível à planta, enquanto o P do fertilizante permanecerá na forma disponível por mais tempo. Isto aumenta o valor relativo do adubo fosfatado para os solos frios.

A aplicação localizada de P em sulcos é uma prática comum porque a planta, neste caso, usa o P mais efetivamente que quando aplicado a lanço. A temperatura pode afetar o uso do P aplicado em sulco por influenciar a proliferação de raízes na faixa fertilizada, quando comparado ao solo adjacente não adubado. Em pesquisa em solos com temperatura normal, o trigo mostrou pouca proliferação de raízes na faixa, mas a 10 °C a massa radicular aumentou 3,5 vezes mais na faixa que no volume de solo adjacente. Porém, a temperaturas do solo acima de 20 °C, o P aplicado em faixa tornou-se mais tóxico e diminuiu o crescimento. Assim, conhecendo o ambiente e os fertilizantes empregados, poderemos escolher a prática para o melhor resultado agrônomico.

## CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO NA SEMENTE

O aumento da concentração de P na semente pode ser usado para melhorar o suprimento de P no início do ciclo e aumentar o crescimento subsequente da planta. Muitas plantas podem viver do P contido na semente por cerca de duas semanas.

Em casa de vegetação, trabalhando com sementes de trigo de mesmo tamanho, porém com concentrações crescentes de P (de 0,14 a 0,37% P), observou-se que as plantas viviam até 35 dias após a germinação apenas com o P da semente. Similarmente, em condições de campo, trabalhando com sementes com concentração de P variando em 40%, observou-se que os seedlings com maior concentração de P emergiam mais rapidamente que os com menos P.

Os seedlings com alto teor de P apresentaram maior crescimento inicial, maior número de folhas e maior área foliar. O aumento do estado de P na semente aumentou o comprimento da raiz, mas o efeito do P foi maior na parte aérea que na radicular. O aumento no peso da semente teve efeitos semelhantes ao aumento da concentração de P na semente, parecendo ser cumulativos os efeitos do peso e do teor de P da semente no desenvolvimento foliar.

## MANEJO DA ADUBAÇÃO

Se os suprimentos de P do solo e das reservas da semente forem inadequados para manter um rendimento ótimo de produ-

ção da cultura, as aplicações de fertilizantes fosfatados podem fornecer este nutriente à planta. O fornecimento de P durante as primeiras duas a seis semanas de crescimento tem um grande impacto no rendimento final da maioria das culturas. Por isso, é importante que as aplicações de P sejam manejadas de forma a assegurar o suprimento inicial do nutriente às plantas desde a fase inicial da cultura.

A absorção relativa de P proveniente do solo e do fertilizante pode diferir dependendo do tipo e do estágio de desenvolvimento da planta. Resultados de pesquisa com trigo demonstraram que a taxa de absorção de P proveniente do solo aumentava no período compreendido entre as quatro e seis semanas de crescimento, e à medida que se expandia o volume de raízes aumentava mais na planta o P oriundo do solo, que o do fertilizante aplicado (Tabela 3). Isto explica a resposta das aplicações de arranque (no plantio), mesmo quando o conteúdo de P no solo esteja relativamente alto. A quantidade total de P e a quantidade de P proveniente do fertilizante absorvidas pelas plantas de trigo aumentaram com o aumento das doses de P aplicadas.

O P é relativamente imóvel no solo e assim permanece próximo ao local em que foi colocado o fertilizante. Os fosfatos procedentes do fertilizante reagem com o Ca e o Mg nos solos com alto pH para formar compostos de baixa solubilidade. Estes compostos são menos disponíveis para a planta que os adubos fosfatados

e tornam-se cada vez menos disponíveis com o tempo. Em solos ácidos ocorrem reações semelhantes com o Fe e o Al. A localização do P em sulco reduz o contato do nutriente com o solo e resulta em menor fixação que a aplicação a lanço.

A melhor forma de se aplicar P em solos deficientes, com alta capacidade de fixação, para suprir as necessidades do nutriente nas fases iniciais da cultura, é na semeadura, colocando-o ao lado e abaixo da semente (aplicações de arranque). Esse efeito também é visível em solos com níveis de P relativamente altos (isto é, com uma história de adubação com P), onde a aplicação de P com N no sulco de semeadura produz excelentes resultados.

## LITERATURA CITADA

- BOATWRIGHT G.O.; VIETS Jr., F.G. Phosphorus absorption during various growth stages of spring wheat and intermediate wheatgrass. **Agronomy Journal**, v.58, p.185-188, 1966.
- HOPPO, S.D.; ELLIOT, D.E.; REUTER, D.J. Plant tests for diagnosing phosphorus deficiency in barley (*Hordeum vulgare* L.). **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.39, p.857-872, 1999.
- MITCHELL, J. A review of tracer studies in Saskatchewan on the utilization of phosphates by grain crops. **Journal of Soil Science**, v.8, p.73-85, 1957.

**Tabela 3. Absorção acumulada de P proveniente do fertilizante e proveniente do solo por trigo em vários estágios de crescimento e com dois diferentes fertilizantes (MITCHELL, 1957).**

Fontes de P	4 semanas		7 semanas		9 semanas		13 semanas		Rendimento de grãos
	Total	Fertilizante	Total	Fertilizante	Total	Fertilizante	Total	Fertilizante	
----- mg de P -----									g/vaso
Fosfato monoamônico	27,0	12,5	177	75,5	195	77,0	281	101	78,0
Fosfato dicálcico + nitrato de Ca	19,7	1,9	126	15,1	182	19,0	241	22	63,3
Testemunha	18,8	-	95	-	146	-	188	-	49,0

<sup>1</sup> Dose de aplicação de P = 25 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha.

## ERRATA

No **Encarte Técnico** do Informações Agronômicas nº 94, junho/2001, página 13, Tabela 12, os valores de Matéria Seca (M.S.) para cafeeiros de 12 anos de idade foram trocados. Os valores originais são:

Manejo do mato	Parte da planta				Total	
	Tronco	Ramos	Folhas	Frutos		
----- kg/planta -----						
M.S.	Sem cultivo	14.075	6.897	4.463	13.238	38.672
	Com cultivo	12.891	10.094	4.141	10.869	37.994

Observação: Nesta Tabela, no Encarte, onde se lê g/planta, leia-se kg/planta.