

**UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**CÂMPUS DE JABOTICABAL**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS**

**INFLUÊNCIA DE ESTRESSES ABIÓTICOS NA FASE  
REPRODUTIVA DO MILHO**

**Cesar José da Silva**  
Engenheiro Agrônomo

Jaboticabal –SP - Brasil  
Julho de 2005

**UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**CÂMPUS DE JABOTICABAL**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS**

**INFLUÊNCIA DE ESTRESSES ABIÓTICOS NA FASE  
REPRODUTIVA DO MILHO**

**Cesar José da Silva**

**Orientador: Prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

Jaboticabal –SP - Brasil  
Julho de 2005

S586c Silva, Cesar José da  
Influência de estresses abióticos na fase reprodutiva do milho /  
Cesar José da Silva. -- Jaboticabal, 2005  
viii, 60 f. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2005  
Orientador: Jairo Osvaldo Cazetta  
Banca examinadora: Marcelo Murad Magalhães, Paulo Cesar  
Magalhães, Domingos Fornasier Filho, Durvalina Maria Mathias dos  
Santos  
Bibliografia

1. *Zea mays* L. . 2. Metabolismo nitrogenado 3. Metabolismo  
glicídico. 4. Partição de massa seca. I. Título. II. Jaboticabal-  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.15

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –  
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**CESAR JOSÉ DA SILVA** – Nascido em Marechal Cândido Rondon – PR, em 04/10/1977, filho de José Fulgêncio da Silva e Renata Kamphorst da Silva, formou-se Técnico em Agropecuária no Colégio Agrícola Estadual “Manoel Moreira Pena”, Foz do Iguaçu – PR, em 7/12/1994. Graduiu-se Engenheiro Agrônomo pela UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Câmpus de Marechal Cândido Rondon - PR, em 17/12/1999, onde, além das atividades curriculares, participou do movimento estudantil, sendo presidente do Centro acadêmico na gestão 96/97. Foi bolsista de iniciação científica do CNPq de julho de 1999 a fevereiro de 2000 e participou de projetos de difusão de tecnologia e extensão. Concluiu o curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal – UNESP em fevereiro de 2002, sendo bolsista da FAPESP. Ingressou no curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal – UNESP em fevereiro de 2002. Desde agosto de 2003, é professor do Departamento de Agronomia da UNEMAT - Universidade do Estado de Mato Grosso – Câmpus de Alta Floresta - MT, ministrando as disciplinas de Fitotecnia I, Melhoramento Vegetal, Morfologia Vegetal, Taxonomia Vegetal e Forragicultura. Além de orientar trabalhos de graduação na área de fitotecnia, é Coordenador do projeto de pesquisa intitulado “Avaliação de sistemas de recuperação de pastagens degradadas para a região da Amazônia Matogrossense” e líder do grupo de pesquisa em “Integração Lavoura Pecuária”.

### *Oração do Agrônomo*

*“Herdarás o solo sagrado e a fertilidade será transmitida de geração em geração.*

*Protegerás teus campos contra a erosão e tuas florestas contra a desolação.*

*Impedirás que tuas fontes sequem e que teus campos sejam devastados pelo gado.*

*Para que teus descendentes tenham abundância para sempre”.*

Aos meus pais, José Fulgêncio e Renata, pelo exemplo de vida e bravura no trabalho árduo praticado diariamente para possibilitar nossa formação.

*OFEREÇO.*

Ao meu filho Igor Röder da Silva

*DEDICO.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por olhar por mim.

Ao Prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta, pelo incentivo, pela valiosa contribuição em minha formação profissional e pela oportunidade que tive em aprofundar meus conhecimentos na área de metabolismo de plantas.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela bolsa concedida.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP – Câmpus de Jaboticabal, através do Curso de Doutorado em Agronomia – Área de Concentração em Produção Vegetal, em especial ao Departamento de Tecnologia, pela oportunidade para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Técnico Agrícola Marcelo Scatolin e demais funcionários da Fazenda de Ensino e Pesquisa da Unesp, pela colaboração na instalação, condução e coleta de material experimental.

Ao Professor Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho, por disponibilizar a casa de vegetação e a estufa de secagem.

À Professora Dra. Isabel Cristina Leite por disponibilizar o integrador de área foliar.

Aos estagiários da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Reinaldo, James e Vinícios, pela ajuda no preparo e análises das amostras de planta.

Aos colegas da pós-graduação, Rodrigo Cavariani e Uilson Fernando Matter, pela convivência e pela ajuda.

A Cláucia Aparecida Honorato da Silva, pelo carinho, compreensão, companheirismo, paciência e PELA AJUDA.

A Mônica Saroli Silva de Mendonça Costa e Luiz Antônio de M. Costa com quem iniciei minha carreira na pesquisa e sempre me incentivaram.

À família Röder que, com muito amor, carinho e dedicação, cuidam de meu filho enquanto estou ausente.

## SUMÁRIO

|                                                                                                             | Página |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| RESUMO .....                                                                                                | vii    |
| ABSTRACT .....                                                                                              | viii   |
| CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS .....                                                                     | 1      |
| INTRODUÇÃO .....                                                                                            | 1      |
| REVISÃO DE LITERATURA .....                                                                                 | 2      |
| REFERÊNCIAS .....                                                                                           | 11     |
| CAPÍTULO 2 - EFEITO DE DIFERENTES ESTRESSES SOBRE O<br>CRESCIMENTO E PRODUÇÃO EM PLANTAS DE<br>MILHO.....   | 18     |
| RESUMO .....                                                                                                | 18     |
| ABSTRACT .....                                                                                              | 19     |
| INTRODUÇÃO .....                                                                                            | 20     |
| MATERIAL E MÉTODOS .....                                                                                    | 22     |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                                                                | 24     |
| CONCLUSÕES .....                                                                                            | 33     |
| REFERÊNCIAS .....                                                                                           | 33     |
| CAPÍTULO 3 - PARTIÇÃO DE CARBONO E NITROGÊNIO EM PLANTAS<br>DE MILHO SUBMETIDAS A DIFERENTES ESTRESSES..... | 37     |
| RESUMO .....                                                                                                | 37     |
| ABSTRACT .....                                                                                              | 38     |
| INTRODUÇÃO .....                                                                                            | 39     |
| MATERIAL E MÉTODOS .....                                                                                    | 41     |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                                                                | 44     |
| CONCLUSÕES .....                                                                                            | 56     |
| REFERÊNCIAS .....                                                                                           | 56     |

## INFLUÊNCIA DE ESTRESSES ABIÓTICOS NA FASE REPRODUTIVA DO MILHO

**RESUMO** - Com o objetivo de avaliar diferentes estresses sobre o acúmulo e partição de massa seca, abortamento, desenvolvimento, produção de grãos e concentração de metabólitos glicídicos e nitrogenados em plantas de milho, conduziu-se um experimento em casa de vegetação. Os tratamentos foram: testemunha; plantas com desfolhamento de 66%; omissão do nitrogênio; déficit hídrico (20 – 30% da capacidade de retenção); sombreamento de 70%. Os estresses foram impostos dos dois aos quarenta dias após a polinização (DAP) e as avaliações realizadas em cinco coletas aos 0, 10, 20, 30 e 40 DAP. A omissão de N na fase reprodutiva não afetou a massa seca das plantas e não promoveu alterações nos grãos das plantas de milho, em função da grande remobilização deste elemento acumulado nas folhas e colmos durante o período vegetativo. O desfolhamento reduziu o acúmulo de massa seca no colmo e na espiga, causou abortamento de grãos, não afetou a massa dos grãos remanescentes, resultando em menor número e produção de grãos por planta. O sombreamento intensificou a translocação de fotossintatos do colmo e folhas para os grãos, causou redução no acúmulo de massa seca na planta, abortamento de grãos, menor peso dos grãos remanescentes, menor acúmulo de amido e menor produção de grãos por planta. O déficit hídrico reduziu a área foliar, a fotossíntese, o período de enchimento dos grãos, o acúmulo de MS na planta e a translocação de fotoassimilados para os grãos, resultando em abortamento de grãos do ápice da espiga, acúmulo de açúcares redutores e aminoácidos livres nas folhas e colmos e menor massa de grãos e produção por planta. A redução na produção foi maior no estresse por déficit hídrico, sombreamento de 70%, desfolhamento de 66% e deficiência de N, sendo o número de grãos por espiga e peso médio dos grãos os componentes da produção mais afetados.

**Palavras-chave:** carboidratos, déficit hídrico, desfolhamento, nitrogênio, sombreamento, *Zea mays* L.

## INFLUENCE OF ABIOTIC STRESSES ON THE REPRODUCTIVE CORN PHASE

**SUMMARY** - To evaluate the effect of different stress on the accumulation and distribution of dry matter, abortion, development and production of grains and concentration of glycidic and nitrogen metabolites in maize plant, it was conducted an experiment on greenhouse conditions. The following treatments were used: control; defoliation (plants 66% defoliated); nitrogen omission; water deficit (20 – 30% of the retention capacity); shading (70%). The stress factors were imposed from two to forty days after pollination (DAP) and the analyses at 0, 10, 20, 30 and 40 DAP. The nitrogen omission at the reproductive stage did not affect plant dry mass or grains because of the high rate of remobilization of the N accumulated in leaves and stems during the vegetative stage. Defoliation reduced the dry matter accumulation in the stem and ears, increased kernel abortion, no caused any effect on photoassimilate translocation or weight from remaining grains. Also, resulted in a decrease on the total-N level, amino acids, grain reducing sugars and starch, fewer grains and lower production per plant. Shading intensified photoassimilate translocation indicating that in shaded plants the photosynthesis limitation is supplied by the high remobilization rate of reducing sugars, sucrose and starch from the stem and leaves to the grain. However, this stress causes reduction of dry matter accumulation, kernel abortion, and lower weight of remaining grains, starch accumulation and production of grains per plant. The water deficit reduced leaf area, photosynthesis, grain filling period, dry matter accumulation and photoassimilate translocation from vegetative organs to kernels, resulting in kernel abortion at the ear top, accumulation of reducing sugars and free amino acids in leaves and stems and lower weight of 1,000 grains and production per plant. The grain production per plant decreased and it was higher in plants under water stress, followed by 70% of shading, 66% of defoliation, and finally N suppression. The number of grains per ear and the average grain weight were the most affected production components.

**Keywords:** carbohydrates, defoliation, nitrogen, shading, water deficit, *Zea mays* L.

## **CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS**

### **INTRODUÇÃO**

Entre as culturas de interesse no Brasil destaca-se o milho, cuja demanda é crescente em face, principalmente, da expansão de atividades ligadas à criação de animais. É uma cultura cujo rendimento apresenta alta variabilidade, pois possui produtividade média de 2971 kg ha<sup>-1</sup>, variando desde 918 kg ha<sup>-1</sup> na região Nordeste até 4536 kg ha<sup>-1</sup> na região Centro Oeste (AGRIANUAL, 2005).

Apesar de todos os avanços tecnológicos utilizados (sementes, fertilizantes, herbicidas, irrigação, inseticidas, etc.), a cultura do milho é freqüentemente afetada por adversidades e destas as que causam maior impacto neste importante produto do agronegócio são o déficit hídrico; a redução da área foliar da planta, causada por fatores bióticos e abióticos; o sombreamento ocasionado pela competição entre plantas; a deficiência, principalmente, de nitrogênio, causado pela baixa disponibilidade deste nutriente nos solos tropicais.

Segundo CIMMYT (1994), a produtividade de milho em muitos países de clima tropical fica em torno de 1 a 2 t ha<sup>-1</sup>, contrastando amplamente com as produtividades de 4 a 12 t ha<sup>-1</sup> obtidas por melhoristas nestes mesmos países. Isto indica claramente que as condições de cultivo diferem daquelas onde os materiais foram desenvolvidos, diferenças atribuídas principalmente à disponibilidade hídrica e fornecimento de nitrogênio (SIMMONDS, 1991; BÄNZINGER et al. 1997). Assim, embora a herdabilidade diminua com o aumento do estresse, o progresso do melhoramento seria maior se condições de estresse fossem incluídas durante a seleção, no entanto, quase sempre isto não é possível, havendo necessidade de se estabelecer estudos específicos do efeito de diferentes estresses na cultura. É o que se destaca nos países com elevada produtividade, pois desenvolvem grande número de pesquisas básicas e a aplicação racional de tais conhecimentos no desenvolvimento de genótipos e técnicas de manejo adequadas às suas condições. Não obstante, possuindo características edafo-climáticas próprias, relativamente poucos estudos relacionando o metabolismo glicídico e nitrogenado com os fatores de produção do milho têm sido realizados no Brasil, e grande

parte da tecnologia tem sido importada, quase sempre a elevado custo e nem sempre apropriada às nossas características de clima, de solo, de biodiversidade ou mesmo econômicas.

Apesar do enorme esforço dos melhoristas e os recursos financeiros gastos pelos centros de pesquisas públicos e privados no desenvolvimento de novas cultivares de milho, o conhecimento do metabolismo vegetal é fundamental para o manejo adequado da cultura e desenvolvimento de novas cultivares adequadas às condições específicas. Caso contrário, não saberemos o que fazer com o grande número de cultivares gerados anualmente, ou para onde direcionar os programas de melhoramento, pois nem mesmo teremos compreendido claramente o comportamento do metabolismo primário. Entretanto, estudos do metabolismo nitrogenado e glicídico em plantas submetidas a diferentes estresses têm sido pouco realizados no Brasil. Por fim, é essencial mencionar que esses estudos básicos podem agregar valor econômico ao produto final.

Este trabalho teve por objetivo avaliar a influência dos fatores estressores (sombreamento, desfolhamento, déficit hídrico e omissão do nitrogênio) sobre o acúmulo e distribuição de massa seca, abortamento, desenvolvimento, produção de grãos e concentração de metabólitos glicídicos e nitrogenados nas diferentes partes da planta de milho, visando contribuir para a compreensão ou previsão do comportamento da planta nas diferentes situações a que a cultura for submetida no campo durante a fase reprodutiva.

## **REVISÃO DE LITERATURA**

A produção de milho é uma resultante do produto entre número de espigas, número de grãos em cada espiga e peso médio dos grãos. Na maioria dos casos, entretanto, a produção está mais associada com o número de grãos que com o peso médio dos mesmos, ou com o número de espigas por planta. Por sua vez, para um dado genótipo, o número de grãos que chega à maturidade parece depender mais da sobrevivência das espiguetas fecundadas do que do número potencial de espiguetas

(OTEGUI & ANDRADE, 2000). Existem evidências de que a sobrevivência dos óvulos fecundados está correlacionada com as condições ambientais tais como disponibilidade hídrica e de nitrogênio, com as interações entre fonte e dreno de metabólitos, e com a relação entre o metabolismo do carbono e do nitrogênio durante a fase de formação e desenvolvimento dos grãos. Embora se saiba que plantas submetidas a diferentes tipos de estresse diminuem o número de grãos por planta e, conseqüentemente, a produtividade, os eventos químicos e bioquímicos relacionados ao metabolismo nitrogenado e glicídico, que levam ao estabelecimento/abortamento dos grãos, bem como ao desenvolvimento dos mesmos ainda não está muito bem esclarecido (SINGLETERY & BELOW, 1990, FALEIROS et al., 1996; CAZETTA, et al., 1999; ZINSELMEIER et al., 2000; BELOW et al., 2000). Portanto, a compreensão de tais fenômenos e mecanismos determinantes é de extrema importância para os fisiologistas, estatísticos e melhoristas envolvidos com a cultura do milho. No entanto, no Brasil poucos trabalhos têm sido desenvolvidos nesta importantíssima área e nossos grupos de pesquisa pouco adotam a natureza multidisciplinar das pesquisas.

No Brasil, o rendimento da cultura do milho apresenta alta variabilidade, dado a ocorrência de déficits hídricos causados pelas variações da precipitação. Dois dias de estresse hídrico no florescimento diminuem o rendimento em mais de 20%, quatro a oito dias diminuem o rendimento em mais de 50% (MAGALHÃES et al. 2002). O efeito da falta de água, associado à produção de grãos, é particularmente importante em três estádios de desenvolvimento da planta: a) iniciação floral e desenvolvimento da inflorescência, quando o número potencial de grãos é determinado; b) período de fertilização, quando o potencial de produção é fixado; nesta fase, a presença da água também é importante para evitar a desidratação do grão de pólen e garantir o desenvolvimento e a penetração do tubo polínico; c) enchimento de grãos, quando ocorre o aumento na deposição de matéria seca, o qual está intimamente relacionado à fotossíntese, desde que o estresse resulte na menor produção de carboidratos, o que implicaria em menor volume de matéria seca nos grãos (MAGALHÃES et al. 1995).

GUEI & WASSON (1992) constataram que as datas de florescimento masculino e feminino, bem como o intervalo antese-emissão dos estigmas são influenciados por estresse de água, temperatura e nitrogênio. Deste modo, o intervalo da emergência do

pendão até o aparecimento dos estigmas aumenta, de três a quatro dias, com déficit hídrico, fazendo com que, por falta de polinização, se desenvolvam espigas estéreis ou com poucos grãos (HERRERO & JOHNSON, 1981).

Aparentemente as falhas reprodutivas em milho ocorrem porque o suprimento de assimilados em plantas deficientes em água não é suficiente para manter o crescimento de todos os novos zigotos formados (BOYLE et al., 1991; ZINSELMEIER et al., 1995a). Outra causa pode ser a inibição do alongamento do estilete e o retardamento na emergência dos estigmas, que fazem com que estes fiquem menos expostos à polinização (WESTGATE, 1994). ZINSELMEIER et al. (1995b) observaram redução de 45 a 65 % do número de grãos por espiga em plantas de milho submetidas ao potencial de água na folha de  $-0,40$  MPa, no período das 8 às 10 h, durante a emergência dos estigmas e polinização.

O período que vai da fertilização até a maturidade fisiológica dos grãos é caracterizado por três diferentes etapas (JOHNSON & TANNER, 1972). A primeira, denominada de etapa de retardamento, é o período durante o qual predomina a divisão celular, e o aumento de peso é insignificante. A segunda, ou etapa linear de enchimento do grão, é um período de rápido aumento de peso, quando mais de 90% da matéria seca é acumulada, e de intensa atividade de conversão de açúcares em amido no endosperma. Durante a terceira etapa, a taxa de acúmulo de matéria seca declina, terminando com a maturidade fisiológica. QUATTAR et al. (1987) observaram que o crescimento do grão é mais sensível ao déficit hídrico durante a etapa de divisão celular do que na etapa de rápida deposição de amido.

Os eventos de formação do zigoto e início do crescimento dos grãos, aparentemente, são muito vulneráveis ao déficit hídrico. Contudo, se o enchimento do grão for iniciado, seu desenvolvimento continua embora ocorra déficit severo no tecido materno (WESTGATE & BOYER, 1985; QUATTAR et al., 1987). Isto sugere que as reservas são remobilizadas para auxiliar na continuação do crescimento do grão (WESTGATE & GRANT, 1989). A fim de verificar especificamente a influência do déficit hídrico sobre o enchimento de grãos, WESTGATE (1994) impôs estresse hídrico após o número de grãos terem sido estabelecidos, ou seja, cinco dias após a antese. O déficit hídrico diminuiu o período de enchimento de grãos, mas não alterou a taxa de acúmulo de

matéria seca, nem no endosperma nem no embrião. O enchimento de grãos continuou tanto no milho irrigado quanto no não irrigado, até que o conteúdo de água no endosperma e do embrião decresceu até 280 e 340 g kg<sup>-1</sup> de peso fresco, respectivamente. As plantas estressadas completaram o período de enchimento dez dias antes das irrigadas, porque a perda de água iniciou-se logo após a antese, e o conteúdo máximo de água do embrião era menor, comparado com a testemunha. Além disso, o autor observou que a taxa de acúmulo de matéria seca não diminuiu com baixos potenciais de água no solo, devido à ocorrência de remobilização de reservas das folhas e do colmo, e desta maneira, as plantas estressadas remobilizaram 110% a mais reservas do que as hidratadas.

Considerando que o rendimento de grãos é o resultado da integração de vários processos, é necessário estabelecer de que maneira estes componentes são afetados pelo déficit hídrico, uma vez que o rendimento das culturas depende da intensidade, duração e época de ocorrência do déficit hídrico, e da interação deste com outros fatores que determinam o rendimento final (CUNHA & BERGAMASCHI, 1992).

A produção potencial de uma cultura é determinada pelo número de grãos que podem ser formados. O déficit hídrico afeta este número por motivo da infertilidade e do aborto floral e zigótico (WESTGATE & BOYER, 1986).

O acúmulo de matéria seca vegetal é resultado do mecanismo fotossintético, o qual incorpora matéria orgânica na planta. Assim sendo, todo e qualquer fator que interfira na fotossíntese irá afetar o acúmulo de matéria seca. Fatores como nutrição mineral, radiação, área foliar e disponibilidade hídrica interferem significativamente na fotossíntese. Dentre estes, a disponibilidade de água desempenha papel preponderante, pois além de propiciar a entrada de CO<sub>2</sub>, ela promove o resfriamento do vegetal, interferindo, desta forma, na taxa de fotossíntese e de respiração (WESTGATE & GRANT, 1989).

A quantidade de biomassa produzida pelo vegetal pode ser definida por uma relação fisiológica simples, baseada na quantidade de radiação interceptada e em sua eficiência de conversão de matéria seca (BERGONCI et al., 2001). MUCHOW (1989) observou que o decréscimo da produção de biomassa em milho, sorgo e milheto, em resposta ao déficit hídrico, está mais associado à redução da eficiência da radiação do que à interceptação da radiação.

Isto demonstra mais uma vez que são necessários estudos do metabolismo da planta para identificar quais enzimas são limitadas para promover a diminuição da eficiência metabólica da planta quando submetida ao déficit hídrico, que por último resulta no decréscimo de produção.

Embora déficit hídrico e deficiência de nitrogênio sejam dois fatores que normalmente ocorrem juntos, ou seja, na falta de água há menor absorção de nitrogênio, a seleção para tolerância à seca tem proporcionado aumentos de produtividade que não diferem daqueles obtidos sob estresse severo de nitrogênio. Alguns autores observaram ainda que os genótipos selecionados para tolerância à seca apresentaram maior biomassa e nitrogênio acumulado na maturidade, e as diferenças foram maiores sob deficiência de nitrogênio.

Estes resultados devem-se ao fato do nitrogênio ser o elemento mineral essencial que com mais freqüência limita o crescimento e o rendimento do milho. Esta limitação ocorre porque as plantas requerem quantidades relativamente elevadas de N (de 1,5 a 3,5% do peso seco da planta), e porque a maioria dos solos não tem N suficiente para sustentar os níveis de produção desejados (BELOW, 2002).

O N desempenha papel fundamental na produção de massa seca da parte aérea da planta e de grãos do milho, pois o suprimento de N-reduzido é essencial não só para a manutenção da atividade fotossintética da folha, como também para a formação do grão (BELOW et al., 1981). Isso ocorre porque a planta mãe precisa garantir um adequado suprimento de metabólitos para o bom desenvolvimento do grão e, conseqüentemente alcançar uma boa produção (SINGLETERY et al., 1990). Embora tenha sido demonstrado repetidas vezes que, dentro de certos limites, o peso de sementes aumenta com a quantidade de adubo nitrogenado aplicado ao solo, tanto em milho (ECK, 1984; SINGLETERY & BELOW, 1989), quanto em outras culturas (INGLE et al., 1965; BARROW et al., 1983), a capacidade de utilização de nitrogênio pode variar com o cultivar e no mesmo cultivar quando submetido a diferentes condições edafo-climáticas.

Tal comportamento pode ser devido a diferenças quanto à capacidade de absorção e incorporação do N em compostos orgânicos, acumulação de N-orgânico desde a fase pós-antese até o enchimento completo do grão, quanto à taxa de

biossíntese de proteínas de reserva e enzimáticas, bem como de amido (TSAI et al., 1983).

Independente da forma absorvida, uma vez na planta o N inorgânico tem que ser assimilado em formas orgânicas, tipicamente aminoácidos. Embora o N seja incorporado em numerosos compostos essenciais à planta, a vasta maioria (90% ou mais) está presente nas proteínas. Embora complexo, o impacto do metabolismo do N no crescimento e rendimento do milho pode ser resumido em duas funções gerais: 1) estabelecimento e manutenção da capacidade fotossintética e 2) desenvolvimento e crescimento dos drenos reprodutivos (BELOW, 1995).

O objetivo em estabelecer a capacidade fotossintética é assegurar que a provisão de N não venha limitar o desenvolvimento do aparato fotossintético (enzimas, pigmentos e outros compostos necessários à fotossíntese). Dentro de limites, o aumento no suprimento de N aumenta o crescimento e o vigor da planta, enquanto a deficiência resulta em plantas menores e pálidas. Coletivamente, estas diferenças afetam a interceptação solar, a fotossíntese e em última instância o rendimento de grãos. Enquanto deficiências de N são prontamente identificáveis devido a cor verde mais clara da cultura, já é muito mais difícil identificar com base na cor da cultura quando o nível de N está adequado, e não excessivo (BELOW, 2002).

Para alcançar altos rendimentos, as plantas têm que estabelecer não só a capacidade fotossintética, mas também continuar a fotossíntese durante o período de enchimento de grãos. Este papel é particularmente importante, uma vez que o acúmulo de matéria seca nos grãos de milho depende da fotossíntese corrente. A maior parte do N na folha de milho está associada ao cloroplasto, e estas proteínas estão sujeitas ao desdobramento e remobilização dos aminoácidos resultantes. Com o envelhecimento das folhas, a capacidade fotossintética diminui, e também o suprimento de assimilados e o rendimento de grãos. Este declínio ocorre mais rapidamente para as folhas deficientes em N, e conduz a espigas menores, com menos grãos (BELOW et al., 2000).

Outro importante papel do N em assegurar alta produtividade de milho está no estabelecimento da capacidade do dreno reprodutivo. Apesar da capacidade do dreno reprodutivo ser função do número e do tamanho dos grãos, o número de grãos por planta normalmente está mais relacionado ao rendimento de milho que qualquer outro

componente de produção. Por conseguinte, muitos estudos mostram que os aumentos de rendimento induzidos pelo N são primeiro o resultado de mais grãos por planta (UHART & ANDRADE, 1995; BELOW, 1995).

Estudando o suprimento de N, UHART & ANDRADE (1995) demonstraram que o aumento no suprimento de N causou um impacto menor sobre o peso individual dos grãos, do que no número de grãos. A adição de fertilizante nitrogenado aumentou o peso de cada grão em apenas 10%, e este aumento foi obtido principalmente com o primeiro incremento de N ( $67 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Por outro lado, todos os incrementos em fertilizante nitrogenado resultaram em maior número de grãos.

No milho, o suprimento de N afeta o número de grãos principalmente pelo menor abortamento. O número potencial de óvulos é determinado no início do desenvolvimento da planta (no estágio de 5 folhas), e é relativamente inalterado pelo fornecimento de N. No entanto, a proporção de grãos que abortam, ou aqueles que cessam cedo seu desenvolvimento, é muito afetada pela disponibilidade de N na fase reprodutiva da cultura (BELOW et al., 2000).

Como outros estresses, o aborto de grãos induzido pela deficiência de N ocorre principalmente na ponta da espiga. Não se sabe ainda se este efeito é resultado direto da quantidade de N fornecida à espiga, ou resultado indireto de uma limitação na fotossíntese induzida pela falta de N. Experimentos sobre redução na fonte (pelo sombreamento ou deficiência de N), realizados por UHART & ANDRADE (1995), sugerem que o suprimento de N afeta o rendimento de milho, alterando a interceptação luminosa e a fotossíntese. Já estudos realizados por BELOW et al. (2000) em cultivo in vitro e infusão do caule indicam que ao menos uma porção do efeito do N no desenvolvimento dos grãos e no rendimento se deve a uma modificação no metabolismo dos grãos em resposta ao suprimento de N.

Vários estudos têm evidenciado que a redução da atividade fisiológica das principais fontes produtoras de carboidratos causados pela desfolha na fase reprodutiva interfere na redistribuição de fotoassimilados dentro da planta, alterando a velocidade e intensidade da senescência foliar, e, conseqüentemente, os padrões de acúmulo de massa seca nos grãos (BARNETT & PEARCE, 1983; UHART & ANDRADE, 1995; MATTER et al., 2002).

Estes efeitos podem diferir em função da exigência calórica do material para florescimento. Híbridos superprecoces, pelo fato de disporem de menos tempo para investirem no seu aparelho fotossintético e na formação das inflorescências, podem ter o acúmulo de massa seca nos grãos mais comprometido por estresses impostos à planta na fase de florescimento, tais como a redução da relação fonte/dreno causada pela desfolha (FANCELLI, 2000; SANGOI et al., 2002).

VASILAS & SEIF (1985), avaliando o efeito do desfolhamento em três híbridos de milho gerados em três diferentes décadas e com capacidade produtiva distintas, observaram que o desfolhamento promovido durante a fase reprodutiva da cultura reduziu significativamente a produção de grão em função da diminuição do peso de 1000 grãos e principalmente pelo aumento do abortamento e conseqüente redução do número de grãos por espiga. No entanto, a resposta negativa foi menos intensa nos híbridos mais recentes, que segundo os autores possuem maior capacidade de remobilização das reservas acumuladas no colmo.

SILVA et al. (2002), avaliando a concentração de metabólitos nitrogenados e enzimas envolvidas na incorporação do N-mineral a N-orgânico, observaram que diferentes níveis de desfolha promoveram grandes variações na concentração de N-total, N-nitrato e N-aminoácidos nas diferentes partes da planta, entretanto, a atividade da enzima redutase do nitrato não foi alterada durante a fase reprodutiva da cultura em função dos diferentes níveis de desfolha, levando os autores a sugerirem que possa existir resposta diferencial das isoenzimas aos diferentes tratamentos, o que leva a não alteração da atividade total. No entanto, são necessários mais estudos sobre as isoformas das diferentes enzimas do metabolismo glicídico e nitrogenado, quando a planta está submetida a algum estresse para verificar-se quais os efeitos destes sobre o enchimento e abortamento de grãos.

Outros experimentos em condições de campo baseados no desfolhamento como forma de variação do suprimento de fotoassimilados aos grãos em desenvolvimento tem sido realizados por diversos autores (CIRILO & ANDRADE, 1994; SCHUSSLER & WESTGATE, 1995; MATTER et al., 2002). Embora seja evidente que o desfolhamento afeta a produção de grãos, não está clara a forma com que o metabolismo glicídico e nitrogenado da planta reage frente à diminuição da fonte de fotoassimilados, sendo

escassas as informações na literatura, especialmente envolvendo experimentos de campo, sobre a atividade de enzimas, concentração de metabólitos e a presença de hormônios agindo no abortamento.

Outro fator que afeta negativamente o suprimento de fotoassimilados é o sombreamento. A maior sensibilidade à variação de luminosidade é verificada no início da fase reprodutiva, ou seja, no período correspondente aos primeiros 10 a 15 dias após o florescimento (FANCELLI & DOURADO NETO, 2000). Neste período, se proteínas ou açúcares estão limitantes devido ao tempo nublado ou sombreamento oriundo de altas populações, os grãos na parte superior da espiga podem ser abortados, apesar de fertilizados, não se desenvolvem (MAGALHÃES et al., 2002).

Os fatores de estresses são estudados de maneira isolada, entretanto, parece haver uma interação principalmente entre déficit hídrico e deficiência de N, pois este elemento chega até a raiz via fluxo de massa e depende da água para ser absorvido, assimilado e translocado no interior da planta (OTEGUI & ANDRADE, 2000; BERGONCI et al., 2001; MATTER et al., 2002; SANGOI et al., 2002). Já a partição de massa seca quando as plantas são submetidas a diferentes fatores de estresses parece ter diferentes comportamentos conforme o fator estressor. CLIQUET et al. (1990) demonstraram que o carbono incorporado durante a fase vegetativa da cultura sofre remobilização desprezível. Já KINIRY et al. (1992) verificaram que 5 a 10% da massa seca final do grão são provenientes de carboidratos formados antes do florescimento. SCHUSSLER & WESTGATE (1995) verificaram em plantas submetidas a estresse hídrico durante o enchimento de grãos que 63% da massa seca de grãos foi proveniente da redistribuição, enquanto que nas plantas sob condições normais a remobilização foi de apenas 5%. SANGOI et al. (2002) verificaram redução percentual no rendimento de grãos menor do que a redução da área foliar por meio da desfolha. MATTER et al. (2002) verificaram que a redução do número de grãos através da polinização controlada induziu acúmulo de massa seca no colmo.

Estas informações sugerem que o modelo de translocação de fotoassimilados e o processo de estabelecimento e enchimento dos grãos podem variar dependendo do fator estressor a que a planta for submetida.

A maioria das pesquisas com metabolismo de plantas está relacionada ao estudo da atividade das enzimas ligadas aos eventos metabólicos observados nas plantas, no entanto, a heterogeneidade das proteínas e a presença de isoenzimas podem levar a diferentes respostas metabólicas quando um grupo de plantas é submetido às mesmas condições.

Percebe-se na revisão realizada que em função da complexidade, o funcionamento da planta na fase reprodutiva ainda não está totalmente elucidado e permanece como um tema atual e de grande interesse, evidenciados pelos estudos nas áreas de estresse hídrico e metabolismo de carboidratos (ZINSELMEIER et al. 2000), interação dos metabolismos do carbono e nitrogênio (BELOW et al. 2000), regulação hormonal do desenvolvimento dos grãos (JONES & SETTER, 2000), regulação dos fenômenos de polinização (EDMEADES et al., 2000), interação entre interceptação luminosa e produção de grãos (OTEGUI & ANDRADE, 2000), prolificidade (TOIT & PRINSLOO, 2000), relação entre parâmetros fisiológicos e características varietais (TOLLENAR et al., 2000), bem como previsão matemática da produção de grãos por plantas de milho (RITCHIE & WEI, 2000).

## REFERÊNCIAS

AGRIANUAL 2005: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2005. 536 p.

BÄNZIGER, M. et al. Efficiency of high-nitrogen selection environments for improving maize for low-nitrogen target environments. *Crop Science*, Madison, v. 37, n.1, p. 1103-1109, 1997.

BELOW, F.E. Fisiologia, nutrição e adubação nitrogenada do milho. *Informações Agronômicas*, Piracicaba: POTAFOS, n. 99, v. 43, p. 7 – 12, 2002.

BELOW, F. E. Nitrogen metabolism and crop productivity. In: PRESSARAKLI, M. (Ed.) *Handbook of plant and crop physiology*. New York: Marcel Dekkar, 1995. p. 275 – 301.

BELOW, F. E.; CAZETTA, J. O.; SEEBAUER, J. R. Carbon/Nitrogen interactions during ear and kernel. In: WESTGATE, M.E.; BOOTE, K. (Eds.). *Physiology and modeling kernel set in maize*. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 2000. p. 15-24. (Special Publication 29).

BELOW, F.E. et al. Availability of reduced N and carbohydrates for ear development of maize. *Plant Physiology*, Rockville, v. 68, n. 1, p. 1186-1190, 1981.

BERGONCI, J.I. et. al. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 7, p. 941-948, 2001.

BOYLE, M.G.; BOYER, J.S.; MORGAN, P.W. Stem infusion of liquid culture medium prevents reproductive failure of maize at low water potential. *Crop Science*, Madison, v. 31, n. 5, p. 1246 – 1252, 1991.

CAZETTA, J. O.; SEEBAUER, J. R. C; BELOW, F. E. Sucrose and nitrogen supplies regulate growth of maize kernels growing *in vitro*. *Annals of Botany*, London, v. 84, n. 1, p. 747 – 754, 1999.

CIMMYT. *1993/94 world maize facts and trends*. Maize seed industries, revisited: emerging roles of the public and private sectors. Mexico City, 1994. 46p.

CIRILO, A.G.; ANDRADE, F.H. Sowing date and maize productivity: I. Crop growth and dry matter partitioning. *Crop Science*, Madison, v. 34, p. 1039-1043, 1994.

CLIQUE, J.B.; DELÉENS, E.; MARIOTTI, A. C and N mobilization from stalk and leaves during kernel filling by <sup>13</sup>C e <sup>15</sup>N tracing in *Zea mays* L. *Plant Physiology*, Rockville, v. 94, p. 1547 - 1553, 1990.

CUNHA, G.R.; BERGAMASCHI, H. Efeitos da disponibilidade hídrica sobre o rendimento das culturas. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). *Agrometeorologia aplicada a irrigação*. Porto alegre: Universitária, 1992. p. 85-97.

EDMEADES, G.O. et al. The role and regulation of the anthesis-silking interval in maize. In: WESTGATE, M.E.; BOOTE, K. (Ed.). *Physiology and modeling kernel set in maize*. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 2000. p.43-74. (Special Publication 29).

FALEIROS, R.R.S.; SEEBAUER, R.J.; BELOW, F.E. Nutritionally induced changes in endosperm of shrunken-1 and brittle-2 maize kernels grown *in vitro*. *Crop Science*, Madison, v. 36, p. 947-954, 1996.

FANCELLI, A.L. Fisiologia da produção e aspectos básicos de manejo para alto rendimento. In: SANDINI, I.; FANCELLI, A.L. (Ed.). *Milho: estratégias de manejo para a região Sul*. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2000. p.103-116.

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

GUEI, R.G.; WASSON, C.E. Inheritance of some drought adaptative trait in maize. I. Interrelationships between yield, flowering and ears per plant. *Maydica*, Bergamo, v. 37, p. 157 – 164, 1992.

HERRERO, M.P.; JOHNSON, R.R. Drought stress and its effects on maize reproductive systems. *Crop Science*, Madison, v. 21, n. 1, p. 105 - 110, 1981.

INGLE, J.; BEITZ, D.S.; HAGEMAN, R.H. Changes in composition during development and maturation of maize seeds. *Plant Physiology*, Rockville, v. 40, p. 832 - 835, 1965.

JONES, R.J.; SETTER, T.L. Hormonal regulation of early kernel development. In: WESTGATE, M.E.; BOOTE, K. (Eds.). *Physiology and modeling kernel set in maize*.

Madison: Crop Science Society of America and American Society of Agronomy, 2000. p.25-42. (Special Publication, 29).

JOHNSON, D.R.; TANNER, J.W. Calculation of the rate and duration of grain filling in corn (*Zea mays* L.). *Crop Science*, Madison, v. 12, n. 3, p. 485-486, 1972.

KINIRY, J.R. et al. Nonstructural carbohydrates utilization by sorghum and maize shaded during grain growth. *Crop Science*, Madison, v. 32, p. 131 – 137, 1992.

MAGALHÃES, P.C. et al. *Fisiologia do milho*. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2002. 23p. (Circular Técnica, 22).

MATTER, U.F.; SILVA, C.J.; CAZETTA, J.O. Concentração de carboidratos em plantas de milho sob alteração da fonte e dreno de fotoassimilados. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: Sociedade Brasileira de Milho e Sorgo, 2002. 1 CD-ROM.

MUCHOW, R.C. Comparative productivity of maize, sorghum and pearl millet in a semi-arid tropical environment. II. Effect of water deficits. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 20, p. 207-219, 1989.

OTEGUI, M. E.; ANDRADE, F.H. New Relationships Between Light Interceptions, Ear Growth, and Kernel Set in Maize. In: WESTGATE, M.E.; BOOTE, K. (Eds.). *Physiology and modeling kernel set in maize*. Madison: Crop Science Society of America and American Society of Agronomy, 2000. p.89-102. (Special Publication, 29).

QUATTAR, S.; JONES, R.S.J.; CROOKSTON, R.K. Effect of water déficit during grain filling on the pattern of maize kernel growth and development. *Crop Science*, Madison, v. 27, n. 4, p. 726 - 730, 1987.

RITCHIE J.T.; WEI, J. Models of kernel number in maize . In: WESTGATE, M.E.; BOOTE, K. (Ed.). *Physiology and modeling kernel set in maize*. Madison: Crop Science Society of America and American Society of Agronomy, 2000. p.75-88. (Special Publication, 29).

SANGOI, L. et al. Acúmulo de matéria seca em híbridos de milho sob diferentes relações entre fonte e dreno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 3, p.259-267, 2002.

SCHUSSLER, J.R.; WESTEGATE, M.E. Assimilate flux determines kernel set at low water potential in maize. *Crop Science*, Madison, v. 35, p. 1074-1080, 1995.

SILVA, C.J.; MATTER, U.F.; CAZETTA, J.O. Alterações da proporção de fonte/dreno e seus efeitos sobre o metabolismo do nitrogênio e o desenvolvimento de plantas de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO 24. 2002, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: Sociedade Brasileira de Milho e Sorgo, 2002. 1 CD-ROM.

SIMMONDS, N.W. Selection for local adaptation in a plant breeding program. *Theoretical Applied Genetics*, Berlin, v. 82, p. 363-367, 1991.

SINGLETERY, G.W.; BELOW, F.E. Growth and composition of maize kernels cultured *in vitro* with varying supplies of carbon and nitrogen. *Plant Physiology*, Rockville, v. 89, p. 341-6, 1989.

SINGLETERY, G.W.; BELOW, F.E. Nitrogen induced changes in growth and metabolism of developing maize kernels grown *in vitro*. *Plant Physiology*, Rockville, v.92, p. 160-7, 1990.

SINGLETERY, G.W. et al. Response of enzymes and storage proteins of maize endosperm to nitrogen supply. *Plant Physiology*, Rockville, v.94, p.858-64, 1990.

TOIT, A.S.; PRINSLOO, M.A. Incorporating prolificacy into CERES-Maize prediction of kernel numbers. In: WESTGATE, M.E.; BOOTE, K. (Ed.). *Physiology and modeling kernel set in maize*. Madison: Crop Science Society of America and American Society of Agronomy, 2000. p.103-114. (Special Publication, 29).

TOLLENAAR, M. et al. Physiological parameters associated with differences in kernel set among maize hybrids. In: WESTGATE, M.E.; BOOTE, K. (Ed.). *Physiology and modeling kernel set in maize*. Madison: Crop Science Society of America and American Society of Agronomy, 2000. p.115-130. (Special Publication, 29).

TSAL, C.Y. et al. Interactions between the kernel sink, grain yield and protein nutritional quality of maize. *Journal. Science Food Agriculture.*, London, v. 34, p. 255 - 263, 1983.

UHART, S.A.; ANDRADE, F.H. Nitrogen deficiency in maize: II. Carbon-nitrogen interaction effects on kernel number and grain yield. *Crop Science*, Madison, v. 35, p. 1384 – 1389, 1995.

VASILAS, B.L.; SEIF, R.D. Defoliation effects on two Corn inbreds and their Single-Cross Hybrid. *Agronomy Journal*, Madison, v. 77, p. 816-820, 1985.

WESTGATE, M.E. Water status and development of the maize endosperm and embryo during drought. *Crop Science*, Madison, v.34, n.1, p.76-83, 1994.

WESTGATE, M.E.; BOYER, J.S. Carbohydrate reserves and reproductive development at low leaf water potentials in maize. *Crop Science*, Madison, v.25, n.5, p.762-769, 1985.

WESTGATE, M.E.; BOYER, J.S. Water status of the developing grain of maize. *Agronomy Journal*, Madison, v.78, n.4, p.714-719, 1986.

WESTGATE, M.E.; GRANT, D.L.T. Water deficits and reproduction in maize. *Plant Physiology*, Rockville, v.91, n.3, p.862-867, 1989.

ZINSELMEIER, C.; LAURER, M.J.; BOYER, J.S. Reversing drought-induced losses in grain yield: sucrose maintains embryo growth in maize. *Crop Science*, Madison, v.35, n.6, p.1390-1400, 1995a.

ZINSELMEIER, C.; WESTGATE, M.E.; JONES, R.J. Kernel set at low water potential does not vary with source/sink ratio in maize. *Crop Science*, Madison, v.35, n.1, p.158-163, 1995b.

ZINSELMEIER, C. et al. Carbohydrate metabolism in setting and aborting maize ovaries. In: WESTGATE, M.E.; BOOTE, K. (Ed.). *Physiology and modeling kernel set in maize*. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 2000. p.1-14. (Special Publication, 29).

## CAPÍTULO 2 – EFEITO DE DIFERENTES ESTRESSSES SOBRE O CRESCIMENTO E PRODUÇÃO EM PLANTAS DE MILHO<sup>(1)</sup>

CESAR JOSÉ DA SILVA<sup>(2)</sup>; JAIRO OSVALDO CAZETTA<sup>(3)</sup>

**RESUMO** - Com o objetivo de avaliar diferentes estresses sobre o acúmulo e distribuição de massa seca, abortamento, desenvolvimento e produção de grãos de milho, conduziu-se um experimento em casa de vegetação. Os tratamentos foram: T: testemunha; D: plantas com desfolhamento de 66%; ON: omissão do nitrogênio; DH: déficit hídrico (20 – 30% da capacidade de retenção da areia); S: sombreamento de 70%. Os estresses foram impostos dos dois aos quarenta dias após a polinização. A omissão de N na fase não afetou a massa seca das plantas. Com o desfolhamento ocorreu redução no acúmulo de massa seca no colmo e na espiga, maior abortamento de grãos, mas não afetou o peso dos grãos remanescentes. O sombreamento promoveu redução no acúmulo de massa seca na planta, causou abortamento de grãos e menor peso dos grãos remanescentes e ainda intensificou a translocação de fotoassimilados. O déficit hídrico reduziu a área foliar, afetou a fotossíntese ativa, o acúmulo de MS na planta e reduziu a translocação efetiva de fotoassimilados dos órgãos vegetativo para os grãos. Em ordem decrescente, a redução na produção de grãos por plantas foi maior no estresse por déficit hídrico seguido pelo sombreamento de 70%, desfolhamento de 66% e finalmente pela deficiência de N, sendo o número de grãos por espiga e peso médio dos grãos os componentes da produção mais afetados.

**Palavras-chave:** déficit hídrico, desfolha, massa seca, nitrogênio, sombreamento, *Zea mays* L.

---

<sup>(1)</sup> Parte da tese de doutorado do primeiro autor, apresentada à FCAV – UNESP- Câmpus de Jaboticabal.

<sup>(2)</sup> Eng. Agr. Dr. Professor Assistente do Departamento de Agronomia – UNEMAT. e-mail: [silvacj@unemat.br](mailto:silvacj@unemat.br), Rodovia MT 208, km 127, Jardim Tropical, Alta Floresta – MT, CEP: 78580-000.

<sup>(3)</sup> Eng. Agr. Dr. Professor Adjunto do Departamento de Tecnologia – FCAV – UNESP - Câmpus de Jaboticabal E-mail: [cazetta@fcav.unesp.br](mailto:cazetta@fcav.unesp.br).

## EFFECT OF DIFFERENT STRESSES ON THE GROWTH AND PRODUCTION OF CORN PLANTS

**SUMMARY** - To verify the effects of different stresses on dry matter (DM) accumulation and distribution, abortion, development and production of corn kernels, a greenhouse experiment was carried out in pots containing 45 kg of sand. The treatments were: T: control; D: Plants with 66% of defoliation; ON: nitrogen (N) omission; DH: Water deficit (20 - 30% of the sand retention capacity); S: Under 70% of shading. Stresses were imposed from 2 to 40 days after pollinization. Plants subjected to these different stresses demonstrated different patterns of dry mass accumulation and partitioning. N suppression at the reproductive stage did not affect plant dry mass. Defoliation reduced ear and stem dry mass accumulation and caused kernel abortion, but it did not affect photoassimilate translocation and the weight of remaining kernels. Shading reduced plant dry mass accumulation, caused kernel abortion and reduced the weight of remaining kernels, besides intensifying photoassimilate translocation. Water deficit reduced photosynthesis, leaf area, plant dry mass accumulation, and avoided effective translocation from vegetative organs to kernels. Water deficit, shading, defoliation and N suppression reduced grain yield by 65%, 48%, 30% and 9% respectively, being the number of kernels per ear and kernel average weight the most affected production components.

**Keywords:** water deficit, defoliation, dry mass, nitrogen, shading, *Zea mays* L.

## INTRODUÇÃO

O milho apresenta acentuada sensibilidade a estresses de natureza biótica e abiótica. Sua baixa prolificidade e capacidade de compensação efetiva exigem que seu cultivo seja rigorosamente planejado e criteriosamente manejado, objetivando a maximização de sua capacidade produtiva (OTEGUI & ANDRADE, 2000). A capacidade de produzir biomassa pelo vegetal pode ser definida por uma relação fisiológica baseada na quantidade de radiação interceptada e em sua eficiência de conversão em matéria seca (BERGONCI et al., 2001). A eficiência de conversão de matéria seca por sua vez é dependente da duração das etapas de desenvolvimento da planta, bem como da coincidência dessas etapas com condições desfavoráveis de oferta de fatores de produção (luz, água, nutrientes, etc.).

O déficit hídrico pode afetar a conversão de massa seca de diversas formas e em diversas fases da cultura principalmente na fase reprodutiva. MUCHOW (1989) observou que o decréscimo da biomassa em milho, sorgo e milheto, em resposta ao déficit hídrico, está mais associado à redução da eficiência de uso da radiação do que à redução da interceptação da mesma. Segundo WESTGATE & GRANT (1989), a boa disponibilidade de água desempenha papel essencial, pois além de favorecer a manutenção da abertura estomatal, o que propicia a entrada de CO<sub>2</sub>, saída de vapor d'água e conseqüentemente o resfriamento do vegetal, mantém o fluxo de nutrientes, interferindo desta forma na taxa de fotossíntese e transpiração.

O nitrogênio é um elemento requerido em quantidades elevadas pelas plantas cujo solo não consegue disponibilizar em quantidades requeridas, e seu fluxo é limitado em situações de déficit hídrico (BELOW, 2002). O nitrogênio é fundamental na produção de massa seca, pois o suprimento de N-reduzido é essencial não só para a manutenção da atividade fotossintética da folha, como também para a formação do grão. Por outro lado o N deficiente pode causar efeitos na senescência foliar e conseqüentemente, redução na área foliar. O suprimento de N aos grãos é feito pelos tecidos vegetativos (translocação) ou resulta da absorção corrente. A absorção de N do solo, por sua vez, é dependente da concentração de carboidratos solúveis nas raízes e conseqüentemente o período crítico de suprimento de N é durante o período

reprodutivo, quando a disponibilidade de carboidratos para o crescimento radicular é reduzida em detrimento do crescimento da espiga (RAJCAN & TOLLENAAR, 1999). Por outro lado a partição de N pode ser afetada pela relação fonte/dreno de fotoassimilados durante o enchimento de grãos. Aparentemente a remobilização de N das folhas e colmos reduz a limitação da fonte, porém quando pouco N é remobilizado não ocorre esta compensação e o número de grãos é reduzido (UHART & ANDRADE, 1995).

Vários estudos têm evidenciado que a redução da atividade fisiológica das principais fontes produtoras de carboidratos, causada pela desfolha na fase reprodutiva interfere na redistribuição de fotoassimilados dentro da planta, alterando a velocidade e intensidade da senescência foliar, e conseqüentemente, os padrões de acúmulo de massa seca nos grãos (UHART & ANDRADE, 1995; MATTER et al., 2002). Estes efeitos podem diferir em função do requerimento energético do material genético para florescimento. Os híbridos super-precoces, pelo fato de possuírem período vegetativo menor e maior rapidez na formação das inflorescências, podem ter o acúmulo de massa seca nos grãos mais comprometidos por estresses impostos à planta na fase reprodutiva, tais como a redução da relação fonte/dreno causada pela desfolha (FANCELLI & DOURADO NETO, 2000; SANGOI et al., 2002). O desfolhamento promovido durante a fase reprodutiva da cultura reduz significativamente a produção em função da diminuição do peso médio de grãos e principalmente pelo aumento do abortamento e conseqüente redução do número de grãos por espiga, promovido pela redução do suprimento de fotoassimilados, conforme observado por VASILAS & SEIF (1985), avaliando o efeito do desfolhamento em três híbridos de milho gerados em três diferentes décadas e com capacidade produtiva distintas.

Outro fator que afeta negativamente o suprimento de fotoassimilados é o sombreamento. A maior sensibilidade à variação de luminosidade é verificada no início da fase reprodutiva, ou seja, no período correspondente aos primeiros 10 a 15 dias após o florescimento (FANCELLI & DOURADO NETO, 2000). Neste período se proteínas ou açúcares estão limitantes devido ao tempo nublado ou sombreamento oriundo de altas populações, os grãos na parte superior da espiga podem ser abortados, apesar de fertilizados, não se desenvolvem (MAGALHÃES et al., 2002).

Os fatores de estresses são estudados de maneira isolada, entretanto, parece haver uma interação principalmente entre déficit hídrico e deficiência de N, pois este elemento chega até a raiz via fluxo de massa e depende da água para ser absorvido, assimilado e translocado no interior da planta (OTEGUI & ANDRADE, 2000; BERGONCI et al., 2001; MATTER et al., 2002; SANGOI et al., 2002). Já partição de massa seca quando as plantas são submetidas a diferentes fatores de estresses parece ter diferentes comportamentos conforme o fator estressor. CLIQUET et al. (1990) demonstraram que o carbono incorporado durante a fase vegetativa da cultura sofre remobilização desprezível. Já KINIRY et al. (1992) verificaram que 5 a 10% da massa seca final do grão são provenientes de carboidratos formados antes do florescimento. SCHUSSLER & WESTGATE (1995) verificaram em plantas submetidas a estresse hídrico durante o enchimento de grãos, que 63% da massa seca de grãos foi proveniente da redistribuição, enquanto que nas plantas sob condições normais a remobilização foi de apenas 5%. SANGOI et al. (2002) verificaram redução percentual no rendimento de grãos menor do que a redução da área foliar por meio da desfolha. MATTER et al. (2002) verificaram que a redução do número de grãos através da polinização controlada induziu acúmulo de massa seca no colmo.

Baseado no exposto, o trabalho teve como objetivo verificar os efeitos dos estresses provocados pelo desfolhamento, deficiência de N, déficit hídrico e sombreamento aplicados no estágio reprodutivo, mediante a avaliação da área foliar, acúmulo e distribuição de massa seca da planta, bem como no abortamento, desenvolvimento e produção de grãos de milho.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido no período de março a julho de 2003, em casa de vegetação, no Setor de Olericultura da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, localizada em Jaboticabal-SP, situada a 21°14'04" Sul, 48°17'09" Oeste e altitude de 614 metros. O preparo do material e as análises foram realizados no

Laboratório de análises químicas e bioquímicas de plantas do departamento de Tecnologia da FCAV-UNESP.

Foram utilizados 60 vasos dispostos em fileiras com distância de um metro entre fileiras e 0,8 m entre vasos e contendo 45 kg de areia média lavada, seca e posteriormente saturada onde foram plantadas dez sementes do milho híbrido simples, ciclo super-precoce Agromen 3050. Dez dias após o plantio fez-se o desbaste, deixando três plantas por vaso e iniciou-se a irrigação com solução nutritiva de Hoagland (HOAGLAND & ARNON, 1950). O pH da solução nutritiva foi ajustado para 6,0 e a condutividade elétrica ficou em torno de  $3,8 \text{ mS cm}^{-2}$ .

A manutenção da umidade do substrato foi realizada por meio de irrigação diária com solução nutritiva, sendo que o volume de água aplicado foi determinado através da pesagem dos vasos e calculando-se para manutenção de 100 % da capacidade de retenção. Uma vez por semana promoveu-se a lixiviação nos vasos com água para evitar a salinização na região do sistema radicular, repondo-se em seguida a solução original. Semanalmente fez-se o rodízio dos vasos para evitar o favorecimento das plantas que ficavam nas laterais. Por ocasião do surgimento das espigas, estas foram ensacadas, e após a exposição do estilo-estigma, foram polinizadas manualmente com o auxílio de um pincel, por quatro dias consecutivos, deixando-as expostas para polinização natural a partir do primeiro dia de polinização manual.

No segundo dia de polinização foram estabelecidos os seguintes fatores estressores: T: controle, plantas bem supridas de N, água, luz e com 100% das folhas; D: plantas com desfolhamento de 66% após o segundo dia de polinização, realizada pelo corte das lâminas foliares cortadas rente ao colmo com auxílio de um estilete, deixou-se quatro folhas, a mais próxima, duas logo abaixo e uma logo acima da espiga; ON: omissão do nitrogênio na fase de estabelecimento e enchimento de grãos, promovida pela lixiviação dos vasos e substituição da solução nutritiva por outra sem N; DH: déficit hídrico na fase de estabelecimento e enchimento de grãos, causado pela redução da irrigação para 20 a 30% da capacidade de retenção; Som.= Sombreamento superior e lateral de 70% na fase de estabelecimento e enchimento de grãos, realizado utilizando-se uma tela de sombreamento que reteve 70% da radiação incidente no interior da casa de vegetação. O delineamento experimental foi em blocos casualizados

com parcelas subdivididas no tempo com cinco tratamentos e quatro repetições, totalizando 20 vasos e três grupos para as diferentes coletas, totalizando 60 vasos.

Para a determinação do acúmulo e distribuição de massa seca de plantas (MS) foram realizadas cinco coletas (0, 10, 20, 30 e 40 dias após a polinização). Foram medidas a altura das plantas, do colo da planta até a folha bandeira, com trena, o diâmetro do colmo no primeiro entrenó acima da base do colmo, com paquímetro e área foliar (AF) com integrador de área foliar modelo Delta – T Devices. Em seguida, foram separadas em folhas, colmo + bainhas, pendão e espigas e determinada a MS através da secagem em estufa de circulação forçada de ar (70-75 °C), até peso constante. Determinou-se o N nas folhas e colmos + bainhas pelo método semi-micro Kjeldhall (HEBERER et al., 1985). Segundo metodologia descrita por BENINCASA (2003), calculou-se a área foliar específica (AFE), razão de área foliar (RAF), razão de massa de folhas (RMF). Nas espigas amostradas aos 40 DAP, avaliou-se o diâmetro, comprimento, número de grãos por fileira, massa de 1000 grãos e produção de grãos por planta, sendo estes usados para o cálculo do índice de colheita ( $IC = MS \text{ de grãos} / MS \text{ total}$ ).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Quando constatado F significativo ( $p < 0,05$ ) para a interação entre tratamentos e épocas de avaliação, realizou-se a análise de regressão polinomial (BANZATTO & KRONKA, 1992).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A MS total produzida por plantas submetidas ao estresse hídrico, sombreamento e desfolhamento foi significativamente menor que a das plantas controle a partir dos 10 DAP, sendo que esta redução foi de 41% para desfolhamento, 40,7% para déficit hídrico e 43% para sombreamento aos 40 DAP. Plantas sob supressão de N não diferiram das plantas controle (Tabela 1 e Figura 1A).

A manutenção no acúmulo de MS das folhas e colmo + bainha até os 40 DAP em plantas com supressão de N (Figuras 1B e 1C), sem afetar a MS total (Figura 1A) e MS

de espigas (Figura 1D), quando comparado com as plantas controle, indica que o nitrogênio acumulado nas plantas até o estágio de florescimento foi suficiente para atender a demanda da planta pelo nutriente para a manutenção da atividade metabólica até a colheita, evitando assim, a translocação de MS acumulada nas folhas e colmos na forma de metabólitos nitrogenados e glicídicos.

**Tabela 1.** Massa seca total (MST), massa seca de folhas (MSF), massa seca de colmo + bainhas (MSC), massa seca de espigas (MSE), N-Total nas folhas e N-Total no colmo, de plantas de milho submetidas a diferentes estresses na fase reprodutiva. UNESP, Jaboticabal-SP, 2005.

| Trat. (A) | MST                    | MSF                    | MSC                    | MSE                    | N-Total<br>folhas     | N-Total<br>colmo      |
|-----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
|           | g.planta <sup>-1</sup> | g.planta <sup>-1</sup> | g.planta <sup>-1</sup> | g.planta <sup>-1</sup> | mg.g <sup>-1</sup> MS | mg.g <sup>-1</sup> MS |
| T         | 305,56 a               | 61,27 a                | 128,65 a               | 115,65 a               | 25,64 a               | 14,03 c               |
| D         | 207,57 b               | 26,71 c                | 100,44 b               | 80,42 b                | 25,78 a               | 14,80 c               |
| ON        | 306,60 a               | 59,53 a                | 134,57 a               | 112,51 a               | 20,43 c               | 10,35 d               |
| DH        | 199,83 b               | 51,66 b                | 102,47 b               | 45,71 d                | 21,58 b               | 17,89 a               |
| S         | 205,63 b               | 53,80 b                | 93,72 c                | 58,11 c                | 25,69 a               | 15,77 b               |
| F         | 331,59 **              | 393,68 **              | 154,57 **              | 171,88 **              | 119,42 **             | 244,19 **             |
| DMS (5%)  | 13,82                  | 3,17                   | 6,65                   | 10,81                  | 1,08                  | 0,80                  |
| CV(%)     | 5,59                   | 6,20                   | 5,89                   | 13,00                  | 4,48                  | 4,86                  |
| DAP (B)   | -                      | -                      | -                      | -                      | -                     | -                     |
| 0         | 149,54 e               | 45,05 c                | 91,16 c                | 13,33 e                | 27,40 a               | 16,55 a               |
| 10        | 191,78 d               | 46,91 bc               | 108,41 b               | 36,47 d                | 27,22 ab              | 13,99 b               |
| 20        | 227,52 c               | 47,78 bc               | 116,37 ab              | 63,38 c                | 26,03 b               | 13,73 b               |
| 30        | 265,60 b               | 50,02 b                | 119,15 ab              | 96,43 b                | 23,59 c               | 14,01 b               |
| 40        | 390,74 a               | 63,20 a                | 124,76 a               | 202,79 a               | 14,89 d               | -                     |
| F         | 308,99 **              | 56,23 **               | 17,51 **               | 837,61 **              | 279,57 **             | 37,29 **              |
| DMS (5%)  | 20,85                  | 3,86                   | 12,40                  | 10,18                  | 1,24                  | 0,82                  |
| CV(%)     | 9,56                   | 8,57                   | 12,45                  | 13,87                  | 5,86                  | 6,66                  |
| F(A x B)  | 16,40 **               | 2,75 **                | 3,46 **                | 34,23 **               | 6,04 **               | 20,13 **              |

DAP (Dias Após a Polinização); <sup>ns</sup> não significativo; \* significativo a 5% e \*\* significativo a 1% pelo teste F. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CANTARELLA & DUARTE (2004) afirmaram que até o florescimento dois terços do N já foram acumulados na planta. Por outro lado, dependendo do ano, da adubação nitrogenada, do solo e do híbrido empregados a remobilização de N pode variar de 20 a 100% do N nos grãos (MA et al., 1999).

As plantas de milho bem supridas de N na fase vegetativa no 0 DAP apresentaram concentrações de 26,41 mg g<sup>-1</sup> MS e 16,14 mg g<sup>-1</sup> MS nas folhas e

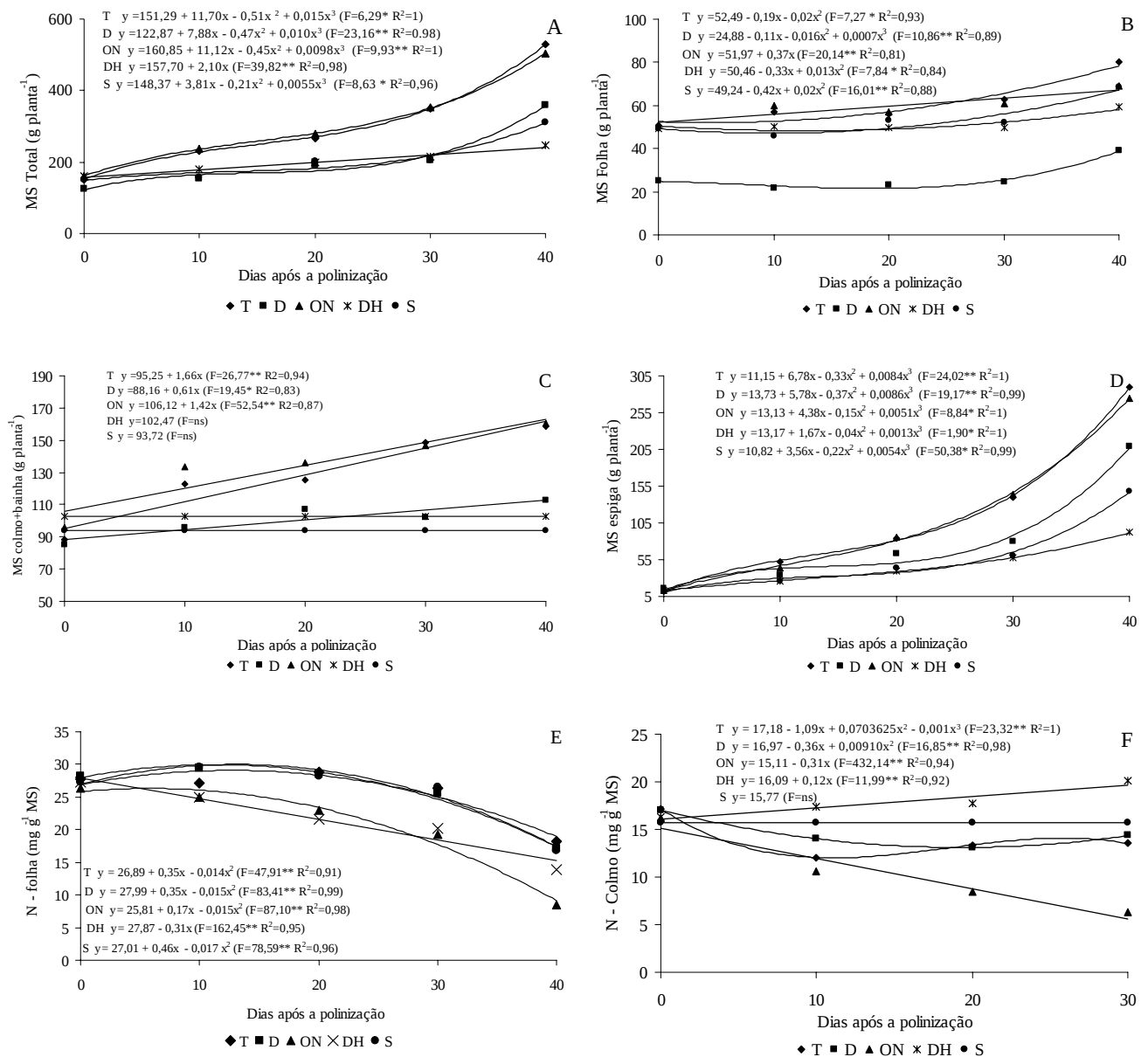
colmos respectivamente, e foram capazes, mesmo submetidas a deficiência de N na solução nutritiva de promover o enchimento dos grãos.

A translocação de N dos órgãos vegetativos foram de 27% e 61% nas folhas e colmos respectivamente dos 0 aos 30 DAP (Figuras 1E, 1F), conseqüentemente o teor de N foliar aos 30 DAP foi de 19,25 mg g<sup>-1</sup> de MS, ficando abaixo dos níveis de 27-35 mg g<sup>-1</sup> de MS, considerados ideais para obtenção de altas produtividades (CANTARELLA et al., 1997).

POLLMER et al. (1979) verificaram que em plantas com alta absorção de N até o início do enchimento dos grãos, acompanhada por baixa absorção na fase de enchimento de grãos, a planta aumenta a translocação de N. A limitação da produção de MS pela deficiência de N parece ser mais crítica quando esse fator estressor for estabelecido na fase vegetativa da cultura (BELOW, 2002). Segundo BÄNZINGER et al. (2002) e BELOW (2002) a baixa disponibilidade de N no solo, antes do florescimento, resulta em estresse de N, reduzindo a área foliar e fotossíntese devido a maior senescência das folhas, diminuindo a disponibilidade de fotoassimilados no período de enchimento de grãos, refletindo negativamente na produção.

As plantas submetidas ao sombreamento, quando comparadas às plantas controle, tiveram menor acúmulo de MS total da planta do 0 aos 40 DAP (Figura 1A). Isso ocorreu tanto pelo baixo acúmulo de MS na espiga (Figura 1D), quanto pela remobilização das folhas e colmos, principalmente entre os 10 e 30 DAP (Figuras 1B e 1C). Estes resultados, aliados ao menor diâmetro de colmo (Tabela 1), permitem inferir que o efeito do sombreamento afeta intensamente a fotossíntese atual, mas não a atividade metabólica que resulta em translocação dos fotoassimilados acumulados na fase anterior ao estresse. UHART & ANDRADE (1995) e OTEGUI & ANDRADE (2000) afirmam ainda que além do comprometimento da fotossíntese, o sombreamento pode reduzir a força do próprio dreno de fotoassimilados (grãos), através da redução do número e volume das células.

Da mesma forma que o sombreamento, o desfolhamento reduziu significativamente a MS total das plantas e seguiu o mesmo padrão de remobilização.



**Figura 1.** MS total (A), MS de folhas (B), MS de colmo + bainhas (C), MS de espigas (D), N-Total nas folhas (E) e N-Total no colmo + bainhas (F), em plantas de milho submetidas a diferentes estresses na fase reprodutiva. UNESP, Jaboticabal-SP, 2005.

Entretanto, obteve aos 40 DAP, uma maior MS de espigas e colmos que as plantas sombreadas, mesmo com área foliar e MS de folhas significativamente menores impostas pelo desfolhamento (Tabela 1 e Figuras 1A, 1D e 2A). Isso indica que a retirada de 66% das folhas limita menos a produção de fotoassimilados do que o sombreamento de 70%. Provavelmente, ocorre menor sombreamento entre as folhas das plantas desfolhadas parcialmente, o que resultou em maior fotossíntese líquida individual.

Plantas desfolhadas tiveram redução de 41,3% na MS total, 51,3% na MS de folhas, 29% na MS de colmos e 27,8% na MS de espigas aos 40 DAP, quando comparadas às plantas controle (Figuras 1A, 1B, 1C e 1D), indicando que o efeito negativo no acúmulo de MS é proporcionalmente menor ao nível de estresse (desfolha de 66%) ainda que o colmo seja o grande fornecedor de MS quando a planta tem sua área foliar comprometida. Estes resultados levam nos a concordar com CLIQUET (1990) e MATTER et al. (2002), que ao avaliarem o crescimento, acúmulo de MS, translocação e produção observaram que plantas submetidas à desfolha parcial tiveram sua eficiência produtiva afetada, entretanto, foi menos intensa que o nível de estresse imposto.

O estresse provocado pelo déficit hídrico, além de causar redução na área foliar (Tabela 2 e Figura 2A), impediu que ocorresse translocações mais intensas das folhas e colmos para a espiga, o que refletiu em menor acúmulo de MS quando comparado com as plantas controle (Figura 1D). Baseado nesses resultados pode-se inferir que o déficit hídrico atuou na fase de estabelecimento do número de grãos (primeiros 12 a 15 DAP), no período de acúmulo de MS dos grãos que é a etapa seguinte (12 a 15 até 35 DAP) onde ocorre a transformação dos açúcares em amido, e na redução do período de enchimento de grão. Ambas as etapas, segundo MAGALHÃES & JONES (1990) e MAGALHÃES et al. (2002), são extremamente dependentes de água, elemento este preponderante para o incremento de peso seco dos grãos devido à translocação dos fotoassimilados presentes nas folhas e no colmo.

A área foliar demonstrou ser uma característica sensível para avaliação do efeito de diferentes fatores de estresse em plantas de milho, embora os componentes de produção afetados sejam os mesmos, o híbrido utilizado neste trabalho respondeu de

forma diferenciada aos estresses impostos. A redução da disponibilidade de água para 20 -30% da capacidade de retenção foi o estresse mais severo, reduzindo significativamente a AF (Tabela 2 e Figura 2A), e aumentando a RAF (Figura 2C) e a RMF (Figura 2D) a partir dos 10 DAP. A redução da área foliar ocorreu pelo aceleração da senescência das folhas enquanto que o aumento da RAF e RMF se deu em função da menor eficiência fotossintética dessas plantas.

**Tabela 2.** Área foliar, área foliar específica (AFE), razão de área foliar (RAF) e razão de massa de folhas (RMF) em plantas de milho submetidas a diferentes estresses na fase reprodutiva. UNESP, Jaboticabal-SP, 2005.

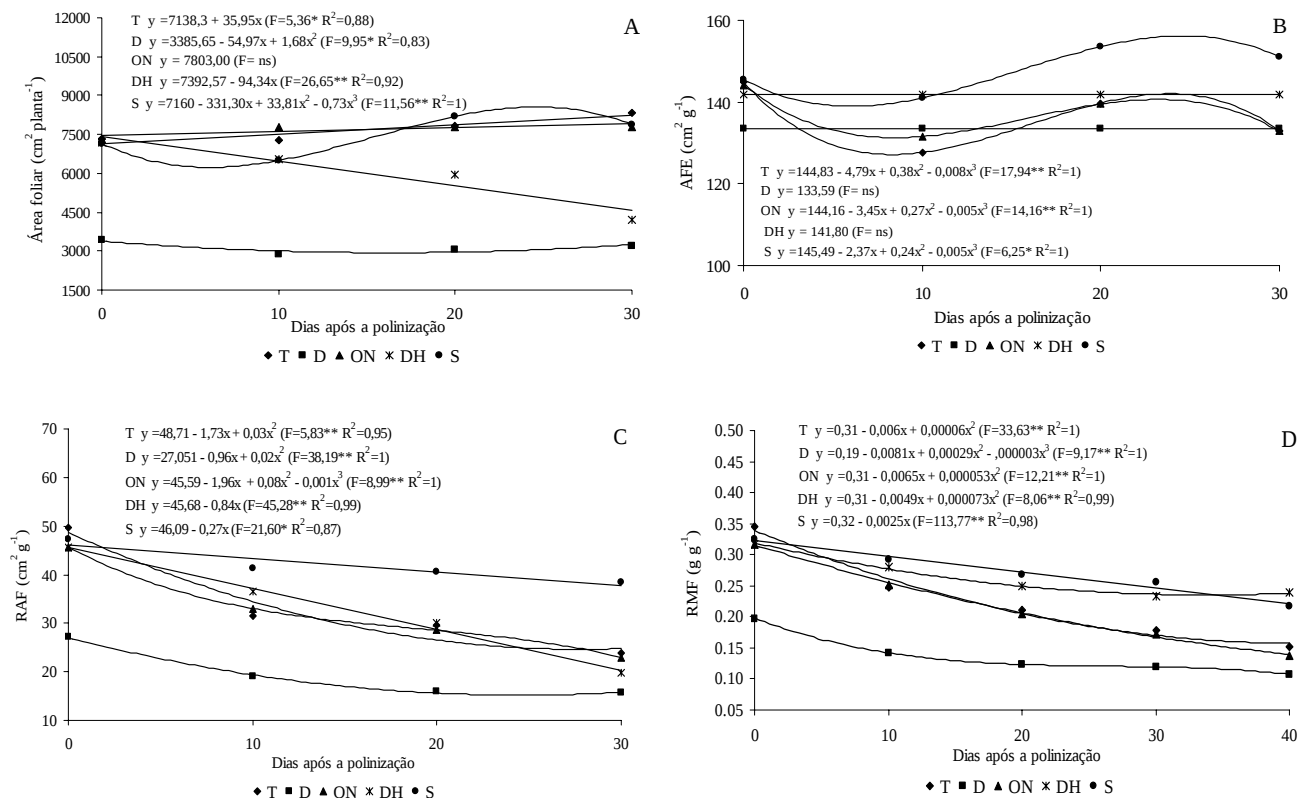
| Trat. (A) | Área Foliar<br>cm <sup>2</sup> . planta <sup>-1</sup> | AFE<br>cm <sup>2</sup> . g <sup>-1</sup> | RAF<br>cm <sup>2</sup> . g <sup>-1</sup> | RMF<br>g. g <sup>-1</sup> |
|-----------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------|
| T         | 7678 a                                                | 136,30 b                                 | 33,62 b                                  | 0,23 b                    |
| D         | 3150 c                                                | 133,59 b                                 | 19,46 c                                  | 0,14 c                    |
| ON        | 7803 a                                                | 137,02 b                                 | 32,53 b                                  | 0,22 b                    |
| DH        | 5977 b                                                | 141,80 ab                                | 33,01 b                                  | 0,26 a                    |
| S         | 7429 a                                                | 147,77 a                                 | 41,95 a                                  | 0,27 a                    |
| F         | 174,37**                                              | 6,77 **                                  | 112,11**                                 | 251,05**                  |
| DMS (5%)  | 670,25                                                | 9,68                                     | 3,43                                     | 0,015                     |
| CV(%)     | 9,28                                                  | 6,16                                     | 9,49                                     | 6,72                      |
| DAP (B)   | -                                                     | -                                        | -                                        | -                         |
| 0         | 6474 a                                                | 143,32 a                                 | 43,11 a                                  | 0,30 a                    |
| 10        | 6218 a                                                | 136,87 ab                                | 32,30 b                                  | 0,24 b                    |
| 20        | 6595 a                                                | 142,44 a                                 | 28,94 c                                  | 0,21 c                    |
| 30        | 6344 a                                                | 134,57 b                                 | 24,11 d                                  | 0,19 d                    |
| 40        | -                                                     | -                                        | -                                        | 0,17 e                    |
| F         | 1,24 <sup>ns</sup>                                    | 4,77 **                                  | 94,43**                                  | 153,15**                  |
| DMS (5%)  | 552,21                                                | 7,35                                     | 3,13                                     | 0,016                     |
| CV(%)     | 10,21                                                 | 6,25                                     | 11,55                                    | 8,19                      |
| F(A x B)  | 5,75**                                                | 2,25*                                    | 4,11**                                   | 5,72**                    |

DAP (Dias Após a Polinização); <sup>ns</sup> não significativo; \* significativo a 5% e \*\* significativo a 1% pelo teste F. Médias seguidas de letras minúsculas na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A maior eficiência na conversão de MS por unidade de AF no tratamento com desfolhamento pode ser verificada através dos menores valores de AFE, RAF e RMF durante todo o período de enchimento de grãos (Figuras 2B, 2C, 2D). Por outro lado, plantas sob sombreamento mantiveram a AF constante, não diferindo das plantas controle e apresentando aumentos de 12% na AFE e 81% na RAF, quando comparadas com as plantas controle (Tabela 2 e Figuras 2A, 2B e 2C). Da mesma forma que no

acúmulo e partição de MS a supressão de N não afetou a AF, AFE, RAF e RMF, quando comparado às plantas controle.

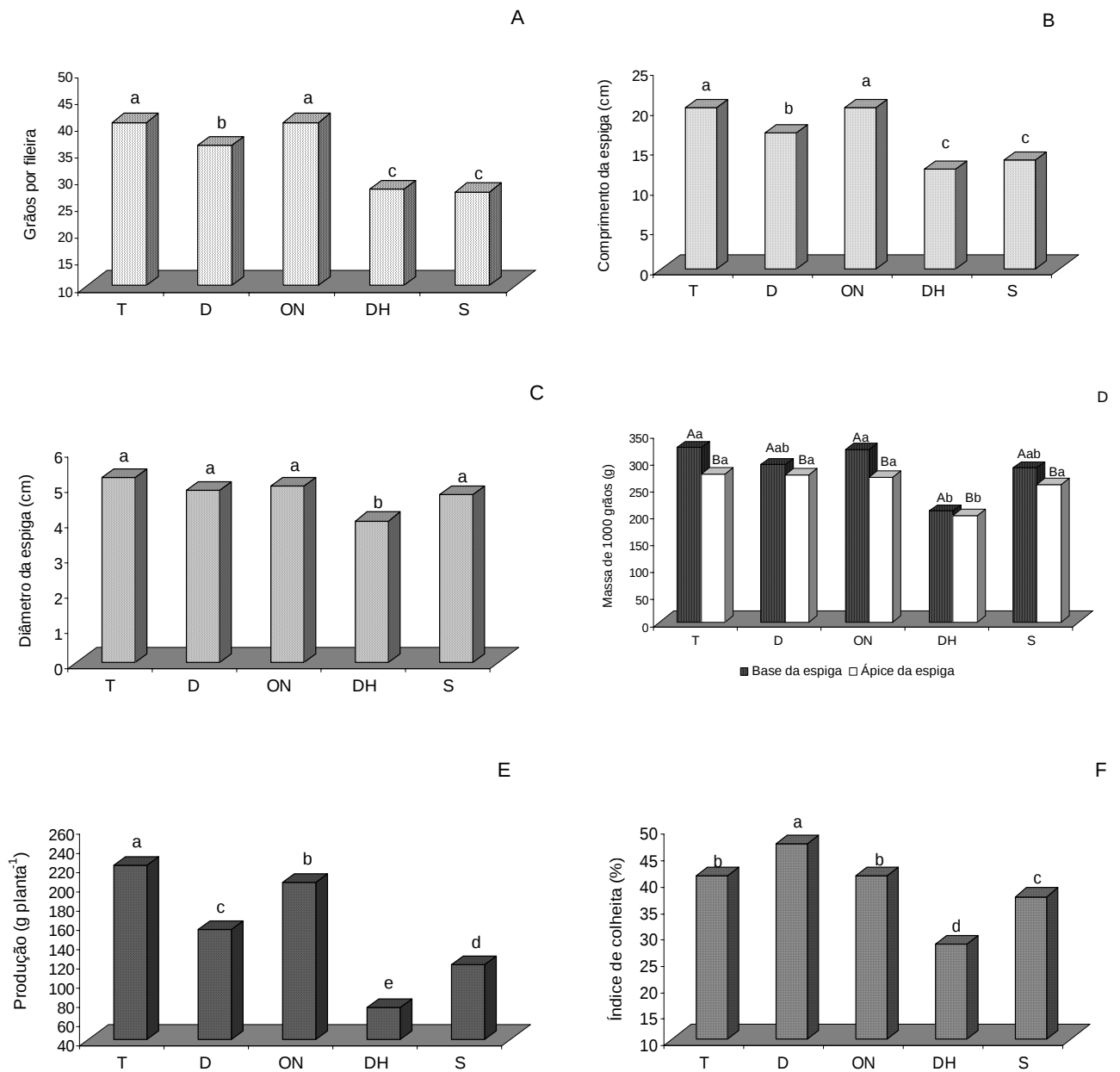
Estes resultados permitem inferir que o déficit hídrico, sombreamento, desfolhamento e deficiência de N atuaram negativamente na produção, reduzindo em 65%, 48%, 30% e 9%, respectivamente, a massa seca de grãos por planta (Figura 3E). Por sua vez, os componentes de produção mais afetados foram o número de grãos por fileira (Figura 3A) e o peso de 1000 grãos (Figura 3D). Isto se deve pela limitação na fonte de fotoassimilados e menor eficiência fotossintética da planta representadas pela AF, AFE, RAF e RMF (Figura 2), quanto pela impossibilidade de translocação de fotoassimilados de órgãos vegetativos (Figuras 1B e 1C).



**Figura 2.** Área foliar (A), área foliar específica – AFE (B), razão de área foliar – RAF (C), razão de massa de folhas – RMF (D), em plantas de milho submetidas a diferentes estresses na fase reprodutiva. UNESP, Jaboticabal-SP, 2005.

O déficit hídrico foi o tratamento mais drástico, afetando todos os componentes de produção avaliados, provavelmente pela redução da atividade enzimática e da mobilidade dos carboidratos e N solúveis na planta e ainda pela limitação do próprio dreno através da redução do número de grãos por fileiras, comprimento da espiga e índice de colheita (Figuras 3A, 3B e 3F). BERGAMASCHI et al. (2004) também observaram redução no peso de 100 grãos e produção de grãos por plantas submetidas à condição restritiva de água na fase de enchimento de grãos, sendo que uma curta estiagem, com elevada demanda evaporativa atmosférica num intervalo contínuo de aproximadamente oito dias reduziram a produção de grãos em 80% quando comparada com área irrigada. Ainda, SCHUSSLER & WASTGATE (1995) afirmam que a redução do número de grãos por espiga, em plantas submetidas a déficit hídrico, se deve à baixa taxa de suprimento de assimilados aos ovários, provocando abortamento.

Embora o padrão de remobilização entre as plantas sombreadas e desfolhadas tenha sido o mesmo, estas últimas tiveram maior produção de grãos por planta. Isto se deve à fixação de um maior número de grãos em plantas desfolhadas (Figura 3A), uma vez que o peso de 1000 grãos e o diâmetro da espiga não diferiram (Figuras 3D e 3C). Estes dados, aliados a um baixo índice de colheita (Figura 3F) nas plantas sob sombreamento permitem inferir que este tratamento limita mais drasticamente a atividade fotossintética e a força do dreno do que o desfolhamento, resultando em menores produções (Figura 3E) e maiores translocações de MS dos órgãos vegetativos (Figuras 1B e 1C).



**Figura 3.** Número de grãos por fileira (A), comprimento da espiga (B), diâmetro da espiga (C), massa de 1000 grãos (D), produção de grãos (E) e índice de colheita (F) em plantas de milho submetidas a diferentes estresses na fase reprodutiva. UNESP, Jaboticabal-SP, 2005. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey. Figura 3D, letras maiúsculas comparam tratamentos e minúsculas posição na espiga dentro de cada tratamento.

## CONCLUSÕES

1. A supressão do fornecimento de N na fase reprodutiva não afetou a MS das plantas.
2. O desfolhamento reduziu o acúmulo de MS no colmo e espiga e causou abortamento de grãos, mas não afetou o peso dos grãos remanescentes.
3. O sombreamento reduziu o acúmulo de MS na planta, causou abortamento e menor peso dos grãos remanescentes e ainda intensificou a translocação de fotoassimilados.
4. O déficit hídrico reduziu a área foliar, o acúmulo de MS na planta e a translocação efetiva de fotoassimilados dos órgãos vegetativos para os grãos.
5. Em ordem decrescente, a redução na produção de grãos por plantas foi maior no estresse por déficit hídrico seguido pelo sombreamento, desfolhamento e omissão do N, sendo o número e o peso médio dos grãos os componentes da produção mais afetados.

## REFERÊNCIAS

- BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. *Experimentação agrícola*. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 247 p.
- BÄNZINGER, M.; EDEMEADES, G.O.; LAFITTE, H.R. Physiological mechanisms contributing to the N stress tolerance of tropical maize selected for drought tolerance. *Field Crops Research*, Amsterdam, v.84, n.1, p.1-11, 2002.
- BELOW, F.E. Fisiologia, nutrição e adubação nitrogenada do milho. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, v.43, n.99, p. 7 – 12, 2002.
- BENINCASA, M.M.P. *Análise de crescimento em plantas: Noções Básicas*. 2. ed. Jaboticabal: Funep, 2003. 41p.

BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n. 9, p. 831 – 839, 2004.

BERGONCI, J.I. et. al. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.36, n.7, p.941-948, 2001.

CANTARELLA, H.; DUARTE, A.P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V. *Tecnologia de produção de milho*. Viçosa: UFV, 2004. p.139 - 182.

CLIQUET, J.B.; DELÉENS, E.; MARIOTTI, A. C and N mobilization from stalk and leaves during kernel filling by <sup>13</sup>C e <sup>15</sup>N tracing in *Zea mays* L. *Plant Physiology*, Rockille, v.94, p. 1547 - 1553, 1990.

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

HEBERER, J.A.; BLOW, F.E.; HAGEMAN, R.H. Drying method effect on leaf chemical constituents of four crop species. *Crop Science*, Madison, v.25, p.1117-1119, 1985.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. *The Water-culture method for growing plants without soil*. University of California, Berkeley, 1950, 32p. (Circular Técnica, 347).

KINIRY, J.R. et al. Nonstructural carbohydrates utilization by sorghum and maize shaded during grain growth. *Crop Science*, Madison, v. 32, n.1, p. 131 – 137, 1992.

MA, B.L.; DWYER, L.M.; GREGORICH, E.G. Soil Nitrogen Amendment Effects on Nitrogen Uptake and Grain Yield of Maize. *Agonomy Journal*, Madison, v.91, p. 650 – 656, 1999.

MAGALHÃES, P.C.; JONES, R. Aumento de fotoassimilados na taxa de crescimento e peso final dos grãos de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.25, n.12, p. 1747 – 1754, 1990.

MAGALHÃES, P.C. et al. *Fisiologia do Milho*. Sete Lagoas; EMBRAPA-CNPMS, 2002. 23p. (Circular Técnica, 22).

MATTER, U.F.; SILVA, C.J.; CAZETTA, J.O. Concentração de carboidratos em plantas de milho sob alteração da fonte e dreno de fotoassimilados. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO 24. 2002, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: Sociedade Brasileira de Milho e Sorgo, 2002. 1 CD-ROM.

MUCHOW, R.C. Comparative productivity of maize, sorghum and pearl millet in a semi-arid tropical environment. II. Effect of water deficits. *Field Crops Research*, Amsterdam, v.20, n.1, p.207-219, 1989.

OTEGUI, M. E.; ANDRADE, F.H. New relationships between light Interceptions, ear growth, and kernel set in Maize. In: WESTGATE, M.E.; BOOTE, K. (Ed.). *Physiology and modeling mernel set in maize*. Madison: Crop Science Society of America and American Society of Agronomy, 2000. p.89-102. (Special Publication, 29).

POLLMER, W.G. et al. Genetic control of nitrogen uptake and translocation in maize. *Crop Science*, Madison, v. 19, p. 82 – 86, 1979.

RAIJ, B. et al. *Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2ºed. Campinas, Instituto Agrônômico, 1997. 285p. (Boletim técnico, 100).

RAJCAN, I.; TOLLENAAR, M. Source:sink ratio and leaf senescent in maize: I. Dry matter accumulation and partitioning during grain filling. *Field Crops Research*. Amsterdam, v. 60, p. 245 – 253, 1999.

SANGOI, L. et al. Acúmulo de matéria seca em híbridos de milho sob diferentes relações entre fonte e dreno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*, v.37, n.3, p.259-267, 2002.

SCHUSSLER, J.R.; WASTGATE, M.E. Assimilate flux determines kernel set at low water potential in maize. *Crop Science*, Madison, v. 35, p. 1074 – 1080, 1995.

UHART, S.A.; ANDRADE, F.H. Nitrogen deficiency in maize: II. Carbon-nitrogen interaction effects on kernel number and grain yield. *Crop Science*, Madison, v.35, p. 1384 – 1389, 1995.

VASILAS, B.L.; SEIF, R.D. Defoliation effects on two Corn inbreds and their Single-Cross Hybrid. *Agronomy Journal*, Madison, v.77, p.816-820, 1985.

WESTGATE, M.E.; GRANT, D.L.T. Water deficits and reproduction in maize. *Plant Physiology*, Rockville, v.91, n.3, p.862-867, 1989.

### **CAPÍTULO 3 – PARTIÇÃO DE CARBONO E NITROGÊNIO EM PLANTAS DE MILHO SUBMETIDAS A DIFERENTES ESTRESSES<sup>(1)</sup>**

CESAR JOSÉ DA SILVA<sup>(2)</sup>; JAIRO OSVALDO CAZETTA<sup>(3)</sup>

**RESUMO** – Com o objetivo de avaliar os efeitos de diferentes estresses sobre a concentração e remobilização dos metabólitos glicídicos e nitrogenados em diferentes partes da planta de milho, conduziu-se um experimento em casa de vegetação. Os tratamentos foram: T: testemunha; D: plantas com desfolhamento de 66%; ON: omissão do nitrogênio; DH: déficit hídrico (20 – 30% da capacidade de retenção); S: sombreamento de 70%. Os estresses foram impostos dos dois aos quarenta dias após a polinização. A omissão do nitrogênio não promoveu alterações nos grãos das plantas de milho, em função da grande remobilização deste elemento. Em plantas sombreadas a limitação da fotossíntese é suprida pela grande remobilização dos açúcares redutores, sacarose e amido do colmo e folhas para o grão, entretanto, esse estresse resulta em abortamento, menor acúmulo de amido e menor produção de grãos. O déficit hídrico reduziu o período de enchimento, promoveu abortamento de grãos do ápice da espiga, acúmulo de açúcares redutores e aminoácidos livres nas folhas e colmos, o que resultou em menor peso de 1000 grãos e produção por planta. O desfolhamento reduziu os teores de N-total, aminoácidos, açúcares redutores e amido no grão, resultando em redução do número de grãos e produção de grãos por planta. Percebeu-se ainda a necessidade de se estudar a atividade das enzimas chaves ligadas ao metabolismo glicídico e nitrogenado.

**Palavras-chave:** déficit hídrico, desfolha, metabólitos, nitrogênio, sombreamento, *Zea mays* L.

---

<sup>(1)</sup> Parte da tese de doutorado do primeiro autor, apresentada à FCAV – UNESP- Câmpus de Jaboticabal.

<sup>(2)</sup> Eng. Agr. Dr. Professor Assistente do Departamento de Agronomia da UNEMAT – Campus de Alta Floresta. e-mail: [silvacj@unemat.br](mailto:silvacj@unemat.br), Rodovia MT 208 km 127, Alta Floresta – MT, CEP: 78580-000.

<sup>(3)</sup> Eng. Agr. Dr. Professor Adjunto do Departamento de Tecnologia – FCAV – UNESP - Câmpus de Jaboticabal E-mail: [cazetta@fcav.unesp.br](mailto:cazetta@fcav.unesp.br).

## **CARBON AND NITROGEN PARTITION IN CORN PLANTS SUBMITTED TO DIFFERENT STRESSES**

**SUMMARY** – This research was undertaken to evaluate the effects of different stress factors on the concentration and remobilization of glycidic and nitrogen metabolites in different parts of maize plant. The experiment was carried out in a greenhouse with the following treatments: control; defoliation (66% of plants defoliated); nitrogen suppression; water deficit (20 – 30% of the retention capacity); shading (70%). The stresses were imposed from two to forty days after pollination. Nitrogen suppression did not result in grain alterations due to the high remobilization rate of this element accumulated in leaves and stems during the vegetative stage. In plants under shading, the photosynthesis limitation is compensated by the high remobilization rate of reducing sugars, sucrose and starch from the stem and leaves to grains, however there is a reduction of dry mass accumulation, kernel abortion, and lower weight of remaining grains, starch accumulation and production of grains per plant. Water deficit reduced the kernel filling period and resulted in kernel abortion at the ear top, and accumulation of reducing sugars and free amino acids in leaves and stems, which resulted in lower weight of 1000 grains and production per plant. Defoliation reduced the levels of total-N, amino acid, reducing sugars and starch in the kernels, resulting in a reduction on the number of grains and production per plant. The next research of key enzyme activity involved in glycidic and nitrogen metabolism such as invertases and nitrate reductase will be studied.

**Keywords:** water deficit, defoliation, metabolites, nitrogen, shading, *Zea mays* L.

## INTRODUÇÃO

A assimilação do nitrogênio está intimamente relacionada com as reações da fotossíntese e metabolismo de carboidratos, tanto pela necessidade de energia para redução do nitrato à amônia, como também pelo fornecimento de cadeias carbônicas necessárias para a incorporação de amônia e a formação dos aminoácidos (CAZETTA et al., 1999). Estes dois processos são estreitamente interligados, pois a energia necessária para a assimilação do nitrogênio deriva direta ou indiretamente da fotossíntese e a capacidade fotossintética, por sua vez, depende do nitrogênio, pois grande parte do nitrogênio das folhas está alocada nas proteínas envolvidas no processo fotossintético (UHART & ANDRADE, 1995).

O nitrogênio é um elemento requerido em quantidades elevadas pelas plantas cujo solo não consegue disponibilizar em quantidades requeridas, e seu fluxo é limitado em situações de déficit hídrico (BELOW, 2002). O nitrogênio é fundamental na produção de massa seca, pois o suprimento de N-reduzido é essencial não só para a manutenção da atividade fotossintética da folha, como também para a formação do grão. Por outro lado a deficiência de N pode causar efeitos na senescência foliar e conseqüentemente, redução na área foliar. O suprimento de N aos grãos é feito pelos tecidos vegetativos (translocação) ou resulta da absorção corrente. A absorção de N do solo, por sua vez é dependente da concentração de carboidratos solúveis nas raízes e conseqüentemente o período crítico de suprimento de N é durante o período reprodutivo, quando a disponibilidade de carboidratos para o crescimento radicular é reduzida em detrimento do crescimento da espiga (RAJCAN & TOLLENAAR, 1999). Por outro lado, a partição de N pode ser afetada pela relação fonte/dreno de fotoassimilados durante o enchimento de grãos. Aparentemente a remobilização de N das folhas e colmos reduz a limitação da fonte, porém quando pouco N é remobilizado não ocorre esta compensação e o número de grãos é reduzido (UHART & ANDRADE, 1995).

Além dos fatores genéticos que governam a habilidade de determinado genótipo em sintetizar, assimilar, acumular e translocar os metabólitos glicídicos e nitrogenados dos órgãos vegetativos para o grão, o milho apresenta acentuada sensibilidade a estresses de natureza biótica e abiótica. Sua baixa prolificidade e capacidade de compensação efetiva

exigem que seu cultivo seja rigorosamente planejado e criteriosamente manejado, objetivando a maximização de sua capacidade produtiva (OTEGUI & ANDRADE, 2000).

CLIQUET et al. (1990) demonstraram que o carbono incorporado durante a fase vegetativa da cultura sofre remobilização desprezível. Já KINIRY et al. (1992) verificaram que 5 a 10% da massa seca final do grão são provenientes de carboidratos formados antes do florescimento. SCHUSSLER & WESTGATE (1995) verificaram em plantas submetidas a estresse hídrico durante o enchimento de grãos, que 63% da massa seca de grãos foram provenientes da redistribuição, enquanto que nas plantas sob condições normais a remobilização foi de apenas 5%. SANGOI et al. (2002) verificaram redução percentual no rendimento de grãos menor do que a redução da área foliar por meio da desfolha, atribuindo esta compensação a translocação de fotoassimilados dos colmos para os grãos. MATTER et al. (2002) verificaram que a redução do número de grãos através da polinização controlada induziu acúmulo de carboidratos, principalmente sacarose nas folhas e colmos. SILVA et al. (2002) constataram que plantas com redução de fonte e dreno de fotoassimilados tiveram aumento nos teores de N-total, nitrato e aminoácidos livres nos órgãos remanescentes das plantas.

Há evidência de que considerável remobilização de fotoassimilados ocorre durante o período de enchimento do grão (JONES & SIMMONS, 1983). A remobilização ocorre quando os requerimentos de carboidratos do grão excedem a produção de fotoassimilados pela planta (TOLLENAAR & DAYNARD, 1978). Carboidratos solúveis armazenados temporariamente no caule, espiga e palha servem como fonte de crescimento do grão quando ocorre declínio na fotossíntese da planta no final da estação de crescimento ou quando esta está submetida a algum fator de estresse que limita a atividade fotossintética (TOLLENAAR et al., 2000). O colmo serve também como um dreno ativo cuja capacidade relativa de atrair fotoassimilados declina durante o período final de enchimento dos grãos (TOLLENAAR et al., 2000).

Poucos estudos com fatores que afetam o estabelecimento dos grão e seu desenvolvimento tem apresentado resultados para carboidratos e teor de N proveniente de diferentes partes das plantas de milho (MAGALHÃES & JONES, 1990a). Entretanto, a capacidade de produzir biomassa pelo vegetal pode ser definida por uma relação fisiológica baseada na quantidade de radiação interceptada e em sua eficiência de

conversão em matéria seca (BERGONCI et al., 2001). A eficiência de conversão de matéria seca por sua vez é dependente da duração das etapas de desenvolvimento da planta, bem como da coincidência dessas etapas com condições desfavoráveis de oferta de fatores de produção (luz, água, nutrientes, etc.). Por isso, torna-se cada vez mais importante que em estudos com aumento ou redução da disponibilidade de fotoassimilados seja analisada a variação na concentração e partição de fotoassimilados, uma vez que eles podem influir no rendimento final e na qualidade dos grãos de milho (MAGALHÃES & JONES, 1990 b).

Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi identificar os efeitos dos estresses provocados pelo desfolhamento, deficiência de N, déficit hídrico e sombreamento, aplicados no estágio reprodutivo, na concentração e remobilização dos metabólitos glicídicos e nitrogenados nas diferentes partes da planta de milho.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido no período de março a julho de 2003, em casa de vegetação, no Setor de Olericultura da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, localizada em Jaboticabal-SP, situada a 21°14'04" Sul, 48°17'09" Oeste e altitude de 614 metros. O preparo do material e as análises foram realizados no Laboratório de análises químicas e bioquímicas de plantas do departamento de Tecnologia da FCAV-UNESP.

Foram utilizados 60 vasos dispostos em fileiras com distância de 1 m entre si e 0,8 m entre vasos e contendo 45 kg de areia média lavada, seca e posteriormente saturada onde foram plantadas dez sementes do milho híbrido simples, ciclo super-precoce Agromen 3050. Dez dias após o plantio fez-se o desbaste, deixando três plantas por vaso e iniciou-se a irrigação com solução nutritiva de Hoagland (HOAGLAND e ARNON, 1950). O pH da solução nutritiva foi ajustado para 6,0 e a condutividade elétrica ficou em torno de 3,8 mS cm<sup>-2</sup>.

A manutenção da umidade do substrato foi realizada por meio de irrigação diária com solução nutritiva, sendo que o volume de solução aplicado foi determinado

através da pesagem dos vasos e calculando-se para manutenção de 100 % da capacidade de retenção. Uma vez por semana promoveu-se a lixiviação nos vasos com água para evitar a salinização na região do sistema radicular, repondo-se em seguida a solução original. Semanalmente fez-se o rodízio dos vasos para evitar o favorecimento das plantas que ficavam nas laterais da casa de vegetação. Por ocasião do surgimento das espigas, estas foram ensacadas, e após a exposição do estilo-estigma, foram polinizadas manualmente com o auxílio de um pincel, por quatro dias consecutivos, deixando-as expostas para polinização natural a partir do primeiro dia de polinização manual.

No segundo dia de polinização foram estabelecidos os seguintes fatores estressores: T: controle, plantas bem supridas de N, água, luz e com 100% das folhas; D: plantas com desfolhamento de 66% após o segundo dia de polinização, realizada pelo corte das lâminas foliares cortadas rente ao colmo com auxílio de um estilete, deixou-se quatro folhas, a mais próxima, duas logo abaixo e uma logo acima da espiga; ON: omissão do nitrogênio na fase de estabelecimento e enchimento de grãos, promovida pela lixiviação dos vasos e substituição da solução nutritiva por outra sem N; DH: déficit hídrico na fase de estabelecimento e enchimento de grãos, causado pela redução da irrigação para 20 a 30% da capacidade de retenção; S: sombreamento superior e lateral de 70% na fase de estabelecimento e enchimento de grãos, utilizando-se uma tela de sombreamento para retenção de 70% da radiação incidente no interior da casa de vegetação. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com parcelas subdivididas no tempo, com 5 tratamentos e 4 repetições, totalizando 20 vasos e 3 grupos para as diferentes coletas, totalizando 60 vasos.

Para a determinação do acúmulo e distribuição dos metabólitos glicídicos e nitrogenados foram realizadas quatro coletas aos 0, 10, 20 e 30 dias após a polinização (DAP). Com o auxílio de um estilete foram retiradas amostras da parte central da folha mais próxima da espiga, do primeiro internódio do colmo abaixo da inserção da espiga e dos grãos do ápice e base da espiga. Seguindo as indicações de SINGLETARY et al. (1990), o material foi identificado e mergulhado em nitrogênio líquido para ser congelado instantaneamente. Em seguida as amostras foram transportadas para o

laboratório, moídas em moinho refrigerado contendo nitrogênio líquido e armazenadas em freezer ( $- 80^{\circ}\text{C}$ ) até o momento de serem submetidas às determinações químicas.

Para a extração dos metabólitos tomou-se uma massa de 25 mg das amostras moídas na presença de nitrogênio líquido, agitou-se em um tubo de centrifuga contendo 2 mL de etanol 80% e em seguida colocou-se em banho-maria a  $60^{\circ}\text{C}$ , por 30 minutos. Após centrifugação durante 15 minutos a 1800 g o sobrenadante foi retirado, repetiu-se o processo três vezes e completou-se o volume para 10 mL (HENDRIX, 1993).

Os teores de açúcares redutores foram determinados através da reação com DNSA (ácido 3,5-dinitrosalicílico), com posterior determinação espectrofotométrica a 520 nm (FALEIROS et al., 1996). Os teores de sacarose foram determinados através da reação quantitativa com resorcinol, com posterior leitura espectrofotométrica a 520 nm (FIEW & WILLENBRINK, 1987). Os teores de N-nitrato foram determinados através do método espectrofotométrico descrito por CATALDO et al. (1975). Os teores de aminoácidos livres foram determinados submetendo-se uma alíquota do mesmo à reação quantitativa com ninhidrina, com posterior determinação espectrofotométrica a 570 nm (MOORE, 1968). Os teores de nitrogênio total foram determinados pelo método semi-micro Kjeldhall, seguindo as indicações de HEBERER et al. (1985).

Para determinação do amido, o resíduo da centrifugação foi suspenso com 1 mL de KOH 0,2 N e aquecido por 30 minutos. Após ajustar o pH para aproximadamente 5,0 com 0,2 mL de ácido acético 1 N, foi adicionado 1 mL tampão acetato 50 mM, pH 5,0, contendo amiloglicosidase ( $50\text{ UI}\cdot\text{mL}^{-1}$ ) e amilase ( $50\text{ UI}\cdot\text{mL}^{-1}$ ) e, então, incubados por 24 horas a  $35^{\circ}\text{C}$ . Após a incubação a suspensão foi centrifugada por 15 minutos a 3000 g, o sobrenadante retirado, completando-se o volume para 10 mL, sendo feita a determinação dos açúcares redutores formados pelo método do DNSA e os valores multiplicados por 0,9, obtendo-se o equivalente de amido (BROWNE & HUBBER, 1988).

Nas espigas amostradas aos 40 DAP avaliou-se o número de grãos por espiga, massa de 1000 grãos e produção de grãos por planta.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Quando constatado F significativo ( $p < 0,05$ ) para a interação entre tratamentos e épocas de avaliação, realizou-se a análise de regressão polinomial (BANZATTO & KRONKA, 1992).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de N-total nas folhas não foi afetado pela desfolha nem pelo sombreamento, enquanto que a supressão do N e o déficit hídrico reduziram significativamente esta característica na planta. Ao longo do período de enchimento de grãos ocorreu uma diminuição no teor de N na folha do zero aos 40 DAP, na média dos tratamentos (Tabela 1). Esta redução coincide com a alta demanda da planta de milho por N reduzido para a formação e enchimento dos grãos (Figura 1A).

A supressão do N na fase reprodutiva promoveu acentuada diminuição no teor de N na folha, principalmente a partir dos 20 DAP quando estes atingiram valores inferiores aos 27 mg g<sup>-1</sup> de MS, considerados ideais para a cultura segundo CANTARELLA et al. (1997).

Houve um aumento no teor de N-total no colmo de plantas submetidas a déficit hídrico e sombreamento (Tabela 1 e Figura 1B). Plantas submetidas à supressão de N tiveram menores valores de N-total no colmo quando comparadas às plantas testemunhas e com comportamento linear do zero aos 30 DAP (Tabela 1 e Figura 1B).

Nas folhas e no colmo de plantas desfolhadas não houve variação no teor de N-total quando comparado ao tratamento testemunha (Tabela 1 e Figuras 1A e 1B).

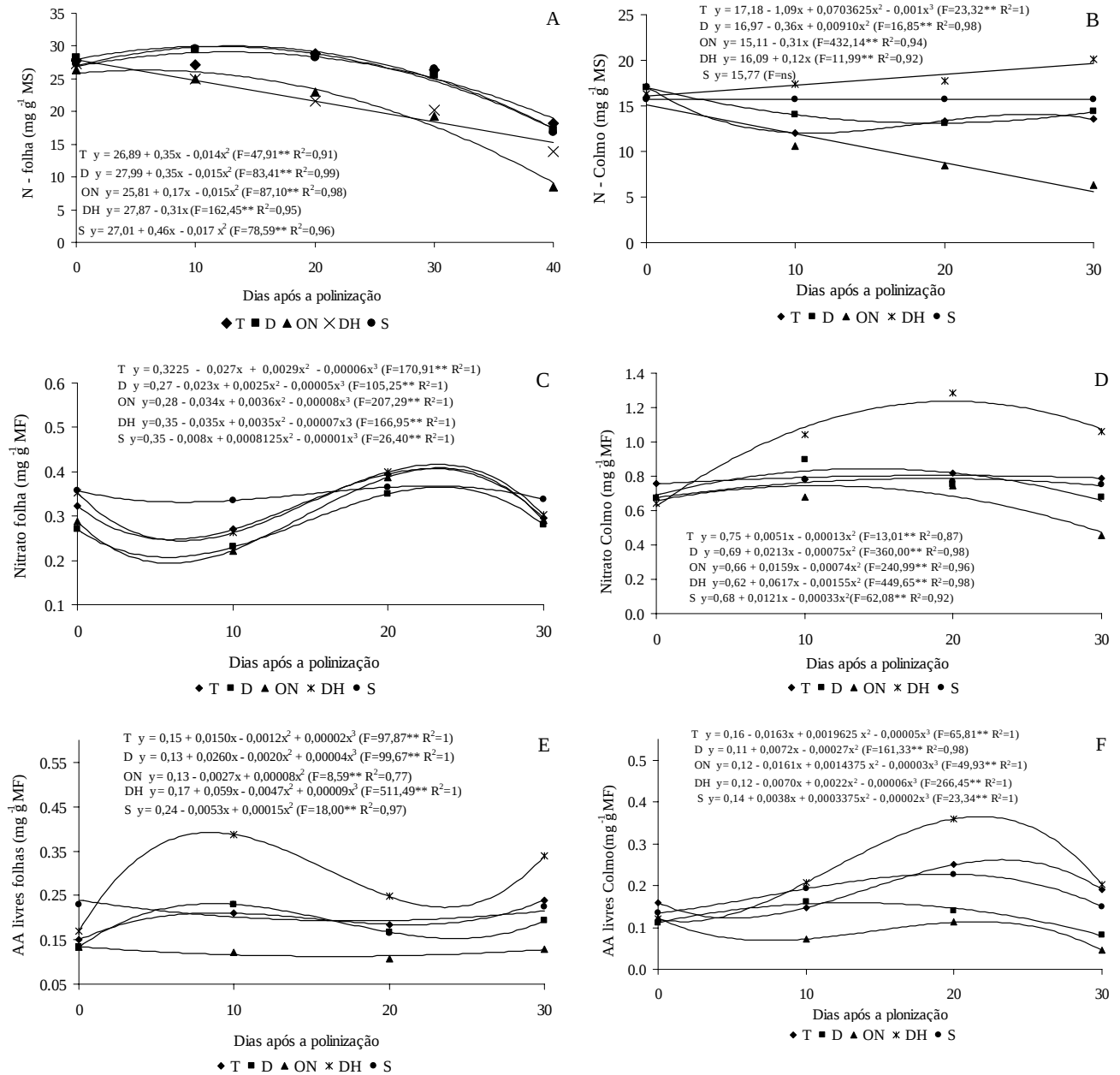
O sombreamento e o déficit hídrico estimularam o acúmulo de nitrato nas folhas enquanto que no colmo somente o déficit hídrico promoveu aumento dessa forma de N (Tabela 1 e Figuras 1C e 1D). O desfolhamento e a supressão do nitrogênio promoveram diminuição nos teores de nitrato nas folhas e colmos dos 20 aos 30 DAP (Figuras 1C e 1D).

Os teores de aminoácidos livres nas folhas e colmos aumentaram em plantas sob estresse hídrico, diminuíram em plantas com supressão de N, reduziu no colmo de plantas desfolhadas, enquanto o sombreamento não diferiu da testemunha (Tabela 1). Observa-se nas Figuras 1E e 1F picos nos teores de aminoácidos livres aos 10 e 30 e aos 20 DAP nas folhas e colmos, respectivamente, nas plantas submetidas ao déficit hídrico.

**Tabela 1.** N-total, nitrato, aminoácidos livres (AA) nas folhas e colmos de plantas de milho submetidas a diferentes estresses na fase reprodutiva. UNESP, Jaboticabal-SP, 2005.

| Trat. (A) | N-Total               |                       | N-Total               |                       | Nitrato               |                       | Nitrato               |                       | AA                    |                       |
|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|           | folhas                | colmo                 | folhas                | colmo                 | folhas                | colmo                 | folhas                | colmo                 | folhas                | colmo                 |
|           | mg g <sup>-1</sup> MS | mg g <sup>-1</sup> MS | mg g <sup>-1</sup> MF | mg g <sup>-1</sup> MF | mg g <sup>-1</sup> MF | mg g <sup>-1</sup> MF | mg g <sup>-1</sup> MF | mg g <sup>-1</sup> MF | mg g <sup>-1</sup> MF | mg g <sup>-1</sup> MF |
| T         | 25,64 a               | 14,03 c               | 0,32 b                | 0,79 b                | 0,19 bc               | 0,19 b                | 0,19 bc               | 0,19 b                | 0,19 b                | 0,19 b                |
| D         | 25,78 a               | 14,80 c               | 0,28 c                | 0,75 c                | 0,18 c                | 0,12 c                | 0,18 c                | 0,12 c                | 0,18 c                | 0,12 c                |
| ON        | 20,43 c               | 10,35 d               | 0,29 c                | 0,64 d                | 0,12 d                | 0,08 d                | 0,12 d                | 0,08 d                | 0,12 d                | 0,08 d                |
| DH        | 21,58 b               | 17,89 a               | 0,33 ab               | 1,01 a                | 0,29 a                | 0,22 a                | 0,29 a                | 0,22 a                | 0,29 a                | 0,22 a                |
| S         | 25,69 a               | 15,77 b               | 0,35 a                | 0,74 c                | 0,21 b                | 0,17 b                | 0,21 b                | 0,17 b                | 0,21 b                | 0,17 b                |
| F         | 119,42 **             | 244,19 **             | 34,85 **              | 876,62 **             | 140,04 **             | 2235,52 **            | 140,04 **             | 2235,52 **            | 140,04 **             | 2235,52 **            |
| DMS (5%)  | 1,08                  | 0,80                  | 0,01                  | 0,02                  | 0,02                  | 0,01                  | 0,02                  | 0,01                  | 0,02                  | 0,01                  |
| CV(%)     | 4,48                  | 4,86                  | 5,59                  | 2,32                  | 9,97                  | 8,71                  | 9,97                  | 8,71                  | 9,97                  | 8,71                  |
| DAP (B)   | -                     | -                     | -                     | -                     | -                     | -                     | -                     | -                     | -                     | -                     |
| 0         | 27,40 a               | 16,55 a               | 0,32 b                | 0,68 d                | 0,16 d                | 0,13 c                | 0,16 d                | 0,13 c                | 0,16 d                | 0,13 c                |
| 10        | 27,22 ab              | 13,99 b               | 0,26 d                | 0,84 b                | 0,24 a                | 0,16 b                | 0,24 a                | 0,16 b                | 0,24 a                | 0,16 b                |
| 20        | 26,03 b               | 13,73 b               | 0,38 a                | 0,87 a                | 0,17 c                | 0,22 a                | 0,17 c                | 0,22 a                | 0,17 c                | 0,22 a                |
| 30        | 23,59 c               | 14,01 b               | 0,30 c                | 0,75 c                | 0,26 b                | 0,13 c                | 0,26 b                | 0,13 c                | 0,26 b                | 0,13 c                |
| 40        | 14,89 d               | -                     | -                     | -                     | -                     | -                     | -                     | -                     | -                     | -                     |
| F         | 279,57 **             | 37,29 **              | 231,73 **             | 378,04 **             | 208,24 **             | 259,34 **             | 208,24 **             | 259,34 **             | 208,24 **             | 259,34 **             |
| DMS (5%)  | 1,24                  | 0,82                  | 0,01                  | 0,02                  | 0,01                  | 0,01                  | 0,01                  | 0,01                  | 0,01                  | 0,01                  |
| CV(%)     | 5,86                  | 6,66                  | 4,47                  | 2,52                  | 5,94                  | 7,09                  | 5,94                  | 7,09                  | 5,94                  | 7,09                  |
| F(A x B)  | 6,04 **               | 20,13 **              | 11,16 **              | 167,27 **             | 55,59 **              | 63,03 **              | 55,59 **              | 63,03 **              | 55,59 **              | 63,03 **              |

DAP (Dias Após a Polinização): <sup>ns</sup> não significativo; \* significativo a 5% e \*\* significativo a 1% pelo teste F. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



**Figura 1.** N-Total nas folhas (A), no colmo (B), Nitroto nas folhas (C), colmo (D), aminoácidos livres nas folhas (E), no colmo (F) de plantas de milho submetidas a diferentes estresses na fase reprodutiva. UNESP, Jaboticabal-SP, 2005.

O déficit hídrico encurtou o período de enchimento de grão e diminuiu a atividade metabólica da planta, isso resultou em menor assimilação do N absorvido e estocado no período vegetativo da cultura, refletindo no aumento dos teores de N-total no colmo, nitrato e aminoácidos livres nas folhas e colmos a partir dos 10 DAP. Fica evidente que plantas submetidas ao déficit hídrico sofreram estresse pela desidratação de seus tecidos e não por outros fatores, como por exemplo, deficiência de N. Vale lembrar que o déficit hídrico foi aplicado somente na fase reprodutiva da cultura e até este momento as plantas estavam bem supridas de água e nutrientes; em situações de déficit hídrico durante o período vegetativo da cultura a planta pode responder de forma diferenciada.

Os menores teores de todas as formas de N avaliadas nas folhas e colmos de plantas com supressão de N na fase reprodutiva são resultantes da grande translocação para a viabilização da produção de grãos (Figura 1).

Plantas sombreadas apresentam aumento no teor de N-total no colmo (Figura 1A) e nitrato nas folhas (Figura 1C), provavelmente em função da limitação da redução assimilatória do N pela restrição da atividade da enzima redutase do nitrato e pela menor disponibilidade de carbono proveniente da fotossíntese.

Limitando-se a fonte de fotoassimilados através do desfolhamento parcial, observa-se diminuição dos teores de nitrato nas folhas e colmos (Figuras 1C e 1D) e aminoácidos livres no colmo (Figura 1F) quando comparado às plantas do tratamento testemunha. Esta resposta pode ser verificada, pois a planta ajusta o tamanho do dreno à disponibilidade de fotoassimilados e metabólitos nitrogenados através do abortamento de parte dos grãos do ápice da espiga na fase de estabelecimento dos grãos (primeiros 10 dias).

Plantas sob sombreamento de 70% da radiação incidente tiveram diminuição nos teores de açúcares redutores nas folhas, sacarose e amido nas folhas e colmos (Tabela 2 e Figuras 2A, 2B, 2C, 2D, 2E e 2F). Este comportamento das plantas sombreadas pode ser atribuído à inibição da fotossíntese que induziu a remobilização dos carboidratos das folhas e colmos para os grãos durante o período de estabelecimento e enchimento dos mesmos.

**Tabela 2.** Açúcares redutores (AR), sacarose e amido nas folhas e colmos de plantas de milho submetidas a diferentes estresses na fase reprodutiva. UNESP, Jaboticabal-SP, 2005.

| Trat. (A) | AR<br>folhas<br>mg g <sup>-1</sup> MF | AR<br>colmo<br>mg g <sup>-1</sup> MF | Sacarose<br>folhas<br>mg g <sup>-1</sup> MF | Sacarose<br>colmo<br>mg g <sup>-1</sup> MF | Amido<br>folhas<br>mg g <sup>-1</sup> MF | Amido<br>colmo<br>mg g <sup>-1</sup> MF |
|-----------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|
| T         | 20,78 a                               | 16,89 b                              | 8,39 a                                      | 50,01 b                                    | 15,58 c                                  | 15,78 a                                 |
| D         | 18,75 c                               | 17,20 b                              | 7,05 b                                      | 45,40 c                                    | 16,02 c                                  | 12,33 b                                 |
| ON        | 19,62 b                               | 16,48 b                              | 9,65 a                                      | 62,28 a                                    | 21,33 a                                  | 15,57 a                                 |
| DH        | 19,81 b                               | 24,14 a                              | 6,86 b                                      | 39,85 d                                    | 17,62 b                                  | 10,88 c                                 |
| S         | 14,36 d                               | 16,42 b                              | 5,84 b                                      | 35,08 e                                    | 13,73 d                                  | 10,18 c                                 |
| F         | 190,25 **                             | 103,85 **                            | 27,72 **                                    | 473,34 **                                  | 566,49 **                                | 99,89 **                                |
| DMS (5%)  | 0,82                                  | 1,46                                 | 1,26                                        | 2,16                                       | 0,54                                     | 1,17                                    |
| CV(%)     | 3,90                                  | 7,15                                 | 14,89                                       | 4,13                                       | 2,85                                     | 8,06                                    |
| DAP (B)   | -                                     | -                                    | -                                           | -                                          | -                                        | -                                       |
| 0         | 20,13 b                               | 21,04 b                              | 5,73 c                                      | 38,32 c                                    | 22,12 a                                  | 12,94                                   |
| 10        | 11,45 d                               | 22,34 a                              | 6,22 c                                      | 68,09 a                                    | 17,78 c                                  | 12,69                                   |
| 20        | 17,38 c                               | 16,93 c                              | 7,37 b                                      | 38,60 c                                    | 20,51 b                                  | 12,93                                   |
| 30        | 25,70 a                               | 12,60 d                              | 10,92 a                                     | 41,09 b                                    | 7,00 d                                   | 13,23                                   |
| F         | 567,11 **                             | 370,49 **                            | 124,72 **                                   | 1479,59 **                                 | 7817,47 **                               | 0,85 ns                                 |
| DMS (5%)  | 0,93                                  | 0,86                                 | 0,79                                        | 1,41                                       | 0,29                                     | 0,90                                    |
| CV(%)     | 5,96                                  | 5,61                                 | 12,42                                       | 3,61                                       | 2,04                                     | 8,03                                    |
| F(A x B)  | 40,98 **                              | 21,44 **                             | 20,57 **                                    | 140,73 **                                  | 437,62 **                                | 20,03 **                                |

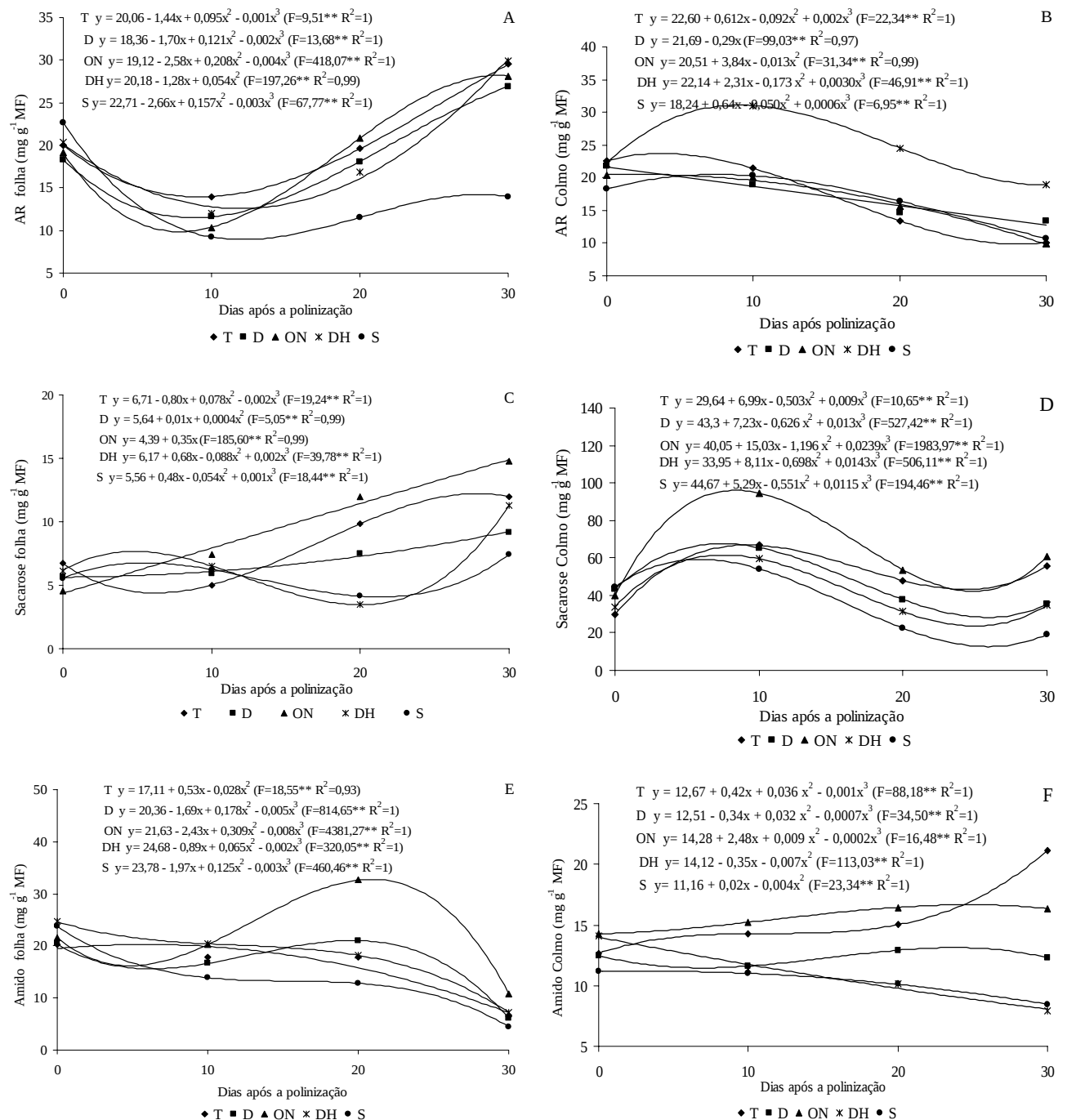
DAP (Dias Após a Polinização); <sup>ns</sup> não significativo; \* significativo a 5% e \*\* significativo a 1% pelo teste F. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O desfolhamento também diminuiu o teor de açúcares redutores e sacarose nas folhas e sacarose e amido nos colmos (Figuras 2A, 2C, 2D e 2F), da mesma forma que para os metabólitos nitrogenados a limitação da fonte através do desfolhamento parcial das plantas limitou a fotossíntese e ocorreu translocação para atender a demanda dos grãos.

Plantas com supressão do nitrogênio tiveram aumento nos teores de sacarose no colmo e amido nas folhas (Tabela 2 e Figura 2). Nas avaliações ao longo do período de estresse destaca-se o aumento linear, do zero aos 30 DAP, da sacarose nas folhas e um grande pico nos valores deste metabólito nos colmos, aos 10 DAP (Figuras 2C e 2D). As plantas de milho submetidas à supressão de N tiveram o aumento na concentração de sacarose, pois este metabólito é um componente importante na assimilação do N, portanto a fotossíntese resulta em maior quantidade de sacarose, que aumenta a eficiência de assimilação de N, minimizando a falta desse elemento (TSAI et al., 1983).

Os teores de amido mais elevados nas folhas de plantas sob déficit hídrico e deficiência de N são resultantes, provavelmente, da menor remobilização deste metabólito para o enchimento dos grãos em função da limitação do metabolismo glicídico e nitrogenado por estes tratamentos e também pelo acúmulo de açúcares redutores na planta (Tabela 2 e Figura 2E).

Por outro lado os baixos teores de amido nas folhas e colmos em plantas desfolhadas e sombreadas parcialmente deve-se principalmente à limitação da fotossíntese pela redução da área foliar e redução da atividade fotossintética da planta, respectivamente. Isto resultou em maior exaustão das reservas acumuladas durante o período que antecedeu os estresses.



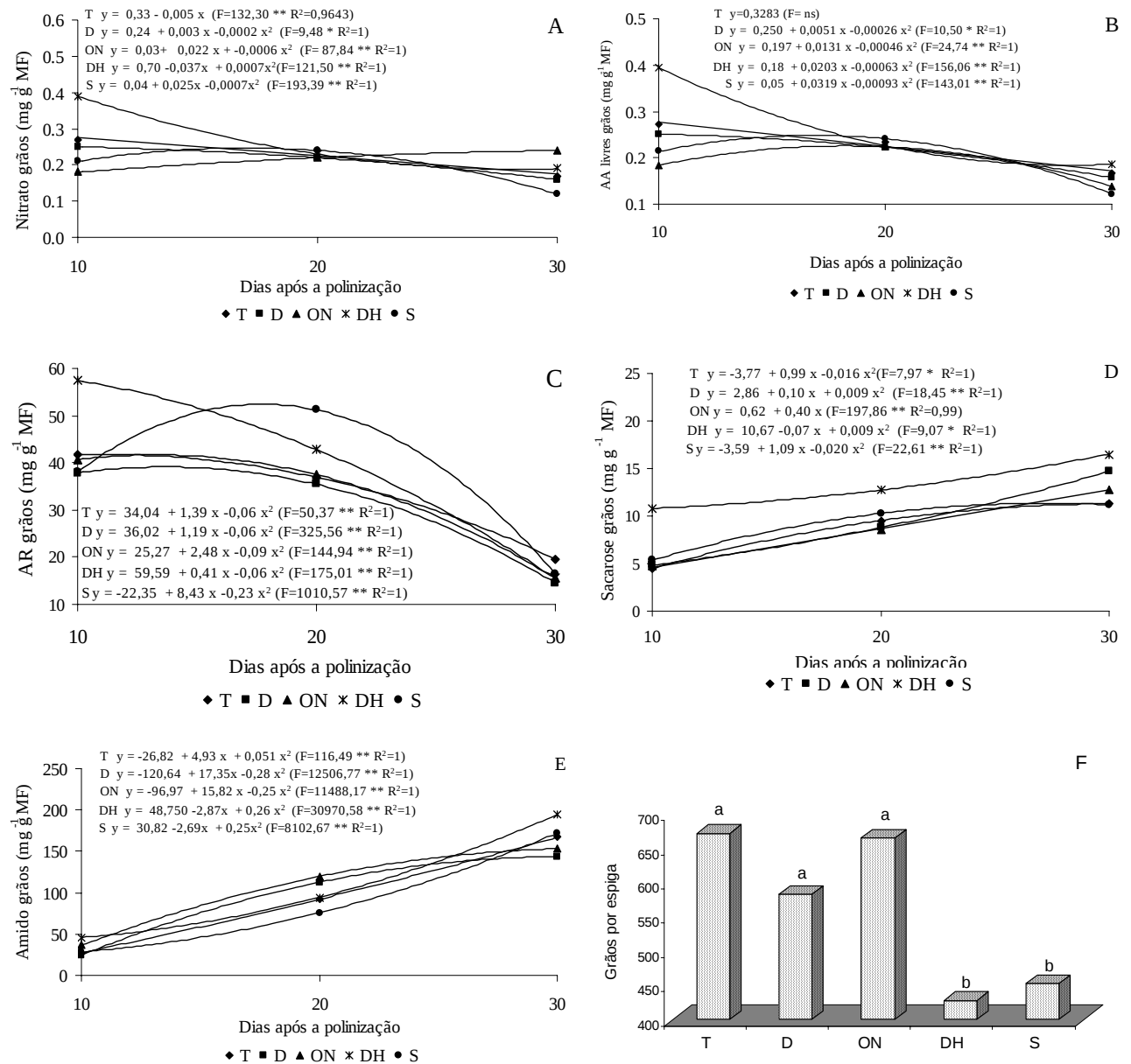
**Figura 2.** Açúcares redutores - AR nas folhas (A), colmo (B), sacarose na folhas (C), colmo (D), amido nas folhas (E), colmos (F) de plantas de milho submetidas a diferentes estresses na fase reprodutiva. UNESP, Jaboticabal-SP, 2005.

Observa-se maior teor de sacarose nos grãos do ápice da espiga e menor quantidade de amido, paralelamente estava ocorrendo consumo de N reduzido, causando diminuição de AA livres dos 10 aos 30 DAP (Tabela 3 e Figura 3). Observa-se que não houve diferença entre os teores de nitrato nos grãos da base e do ápice da espiga (Tabela 3).

**Tabela 3.** N-total, nitrato, aminoácidos livres (AA), açúcares redutores (AR), sacarose e amido nos grãos de plantas de milho submetidas a diferentes estresses na fase reprodutiva. UNESP – Jaboticabal - SP, 2005.

| Trat. (A)      | N-Total<br>mg g <sup>-1</sup> MS | Nitrato<br>mg g <sup>-1</sup> MF | AA<br>mg g <sup>-1</sup> MF | AR<br>mg g <sup>-1</sup> MF | Sacarose<br>mg g <sup>-1</sup> MF | Amido<br>mg g <sup>-1</sup> MF |
|----------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| T              | 22,18 ab                         | 0,22 b                           | 0,29 a                      | 32,76 bc                    | 8,45 c                            | 95,56 c                        |
| D              | 18,21 d                          | 0,21 b                           | 0,23 c                      | 29,27 d                     | 9,45 b                            | 93,53 d                        |
| ON             | 19,08 cd                         | 0,18 c                           | 0,24 bc                     | 31,22 cd                    | 8,69 bc                           | 103,04 b                       |
| DH             | 23,63 a                          | 0,27 a                           | 0,29 a                      | 38,60 a                     | 13,35 a                           | 111,59 a                       |
| S              | 20,94 bc                         | 0,19 c                           | 0,25 b                      | 35,32 c                     | 8,94 bc                           | 92,16 e                        |
| F              | 20,71 **                         | 114,21 **                        | 54,59 **                    | 25,91 **                    | 125,48 **                         | 5503,59 **                     |
| DMS (5%)       | 2,19                             | 0,01                             | 0,02                        | 3,22                        | 0,82                              | 0,49                           |
| CV(%)          | 6,61                             | 7,20                             | 6,75                        | 10,48                       | 9,10                              | 0,54                           |
| <b>DAP (B)</b> |                                  |                                  |                             |                             |                                   |                                |
| 10             | -                                | 0,26 a                           | 0,29 a                      | 43,17 a                     | 6,05 c                            | 32,53 c                        |
| 20             | 23,03 a                          | 0,23 b                           | 0,30 a                      | 40,75 b                     | 9,98 b                            | 98,89 b                        |
| 30             | 18,57 b                          | 0,15 c                           | 0,18b                       | 16,37 c                     | 13,30 a                           | 166,11 a                       |
| F              | 88,56 **                         | 656,65 **                        | 629,07 **                   | 933,02 **                   | 811,78 **                         | 38301,98**                     |
| DMS (5%)       | 1,01                             | 0,01                             | 0,01                        | 1,69                        | 0,44                              | 0,38                           |
| CV(%)          | 7,2                              | 6,38                             | 6,31                        | 9,18                        | 8,25                              | 0,69                           |
| <b>PE (C)</b>  |                                  |                                  |                             |                             |                                   |                                |
| Base           | -                                | 0,22 a                           | 0,25 b                      | 33,56 a                     | 9,21 b                            | 104,41 a                       |
| Ápice          | -                                | 0,21 a                           | 0,27 a                      | 33,31 a                     | 10,34 a                           | 93,94 b                        |
| F              | -                                | 3,85 ns                          | 147,97 **                   | 0,22 ns                     | 73,20 **                          | 8795,00 **                     |
| DMS (5%)       | -                                | 0,04                             | 0,005                       | 1,10                        | 0,27                              | 0,23                           |
| CV(%)          | -                                | 5,60                             | 5,09                        | 8,95                        | 7,40                              | 0,62                           |
| F (A x B)      | 1,32 ns                          | 79,03 **                         | 8,11 **                     | 30,77 **                    | 17,53 **                          | 4819,81 **                     |
| F (A x C)      | -                                | 25,44 **                         | 12,08 **                    | 4,53 **                     | 16,23 **                          | 841,43 **                      |
| F (B x C)      | -                                | 7,91 **                          | 155,96 **                   | 41,64 **                    | 547,50 **                         | 1590,37 **                     |
| F (AxBxC)      | -                                | 31,72 **                         | 19,13 **                    | 18,16 **                    | 18,52 **                          | 1351,77 **                     |

DAP (Dias Após a Polinização), PE (Posição na espiga), <sup>ns</sup> não significativo, \* significativo a 5% e \*\*significativo a 1% pelo teste F. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



**Figura 3.** Nitrato (A), aminoácidos livres (B), açúcares redutores – AR (C), sacarose (D), amido (E) nos grãos em plantas de milho submetidas a diferentes estresses em relação aos dias após polinização e números de grãos por espiga (F). UNESP, Jaboticabal-SP, 2005.

O déficit hídrico provocou uma deficiência na translocação dos aminoácidos das folhas e colmos (Figuras 1E e 1F), nitrato no colmo (Figura 1D) e N-total no colmo (Figura 1B) para os grãos, o que diminui a formação de amido (Figura 3E) verificado pelo acúmulo de sacarose principalmente nos grãos do ápice da espiga (Figura 4D). O acúmulo de sacarose nas plantas tem como finalidade aumentar o potencial osmótico da planta para evitar a desidratação, além de ser resultante da baixa síntese de amido, inibindo a translocação da sacarose das folhas (Figura 2C) e do colmo (Figura 2D).

As plantas submetidas ao déficit hídrico apresentam o teor de amido igual entre base e o ápice da espiga (Figura 4E), por outro lado, o peso dos grãos é significativamente menor comparado com a planta controle (Figura 4F), mostrando que este estresse provoca redução no período de enchimento dos grãos, uma vez que os grãos da base em condições normais apresentam teor de amido superior aos grãos do ápice porque são polinizados primeiros. Estes dados estão de acordo com TOLLENAAR & DAYNARD (1978) que identificaram o estágio crítico para o desenvolvimento dos grãos de plantas de milho como sendo 2 a 3 semanas após a polinização, e constataram que a duração da fase linear de acúmulo de massa seca do grão contribuiu para a variação do peso de grãos nas diferentes posições da espiga. Estes autores afirmam ainda que tratamentos que restringem o suprimento de carboidratos durante este período reduzem o número de grãos, seu desenvolvimento e o potencial de produção.

Outro fator limitante ao acúmulo de MS nos grãos pode ter sido a diminuição da atividade da enzima invertase que é um ponto crítico no processo fisiológico de acumulação de massa seca. SHANNON & DOUGHERTY (1972) demonstraram que a sacarose é hidrolisada pela invertase ácida em glicose e frutose, antes de entrar no endosperma dos grãos de milho. Mesmo com maior disponibilidade de sacarose pode não haver aumento na massa do grão, caso ela não seja invertida com maior eficiência pela invertase (MAGALHÃES & JONES, 1990a).

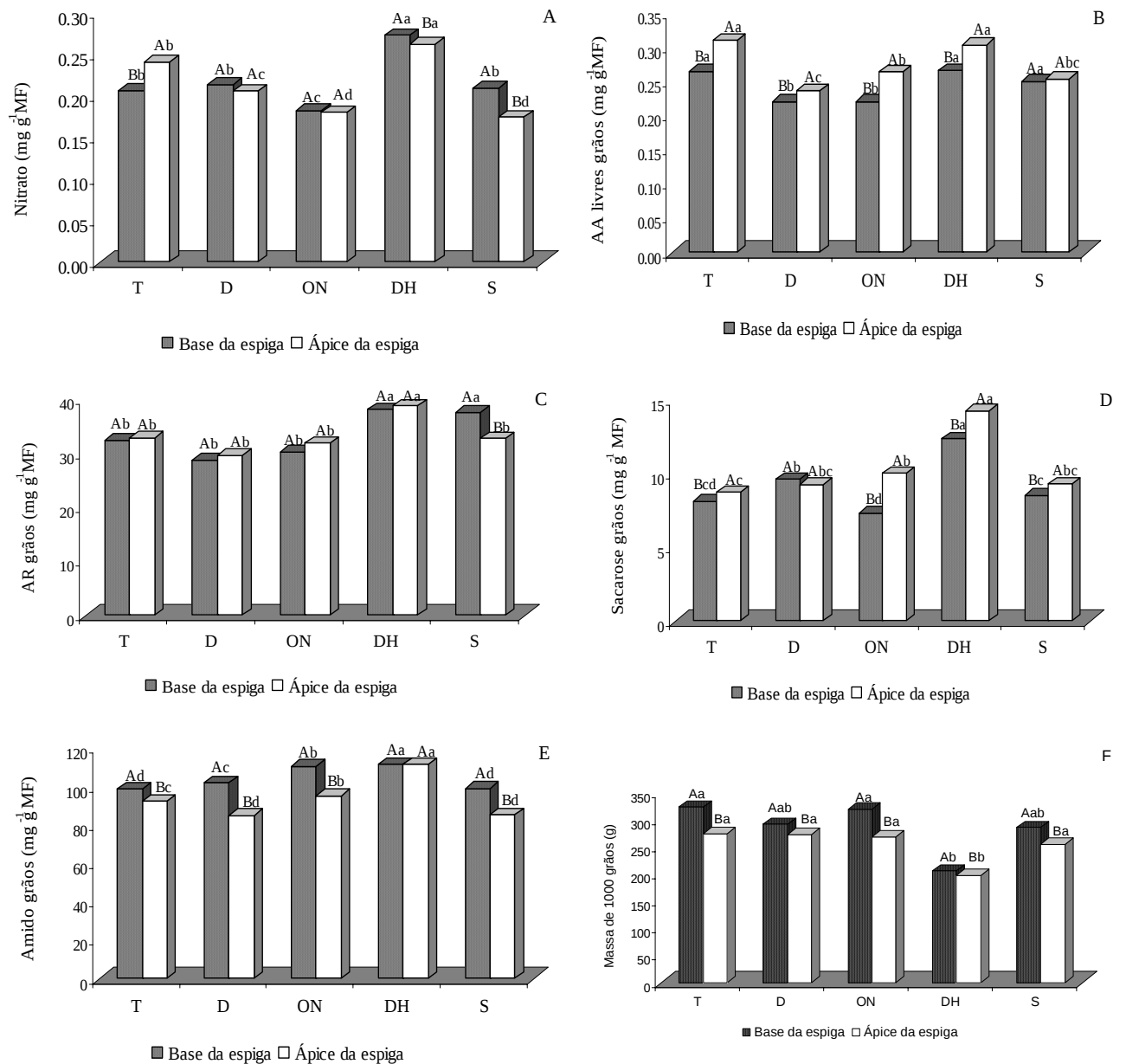
Para as plantas submetidas ao sombreamento não ocorre diferença no teor de amido no grão quando comparado ao tratamento testemunha (Figura 3E), embora a fotossíntese atual tenha sido afetada pelo sombreamento, a planta drena os metabólitos nitrogenados (Figura 1) e glicídicos (Figura 2) das folhas e colmo para os grãos (Figura

4E). Esta resposta foi observada, pois segundo ZINSELMEIER et al. (1995), quando a reserva de sacarose no colmo é insuficiente para atender a demanda do grão, durante o crescimento, uma vez que decresce o acúmulo e partição de massa seca para os grãos, a fotossíntese é rapidamente e completamente inibida comprometendo a produção de grãos.

Já as plantas submetidas à deficiência de N apresentam seus teores de metabólitos nitrogenados nas folhas, colmos (Figura 1) e grãos (Figuras 3A e 3B) estáveis, mostrando que estas translocam N para suprir a necessidade dos grãos conseqüentemente aumentando os teores de metabólitos glicídicos (Figuras 2A, 2C e 2E). Observa-se, porém, um aumento nos teores de sacarose e amido no colmo (Figura 2D e 2F), provenientes da redução dos açúcares redutores (Figura 2B) que apresentam um decréscimo nos valores do zero aos 30 DAP devido à deficiência de N que as plantas estavam submetidas.

A desfolha atua de forma semelhante ao estresse provocado pelo sombreamento, o que caracteriza uma diminuição na produção de grãos (Figura 4E), porém de forma menos acentuada nas plantas desfolhadas e devido ao menor abortamento que pode ser verificado pelo maior número de grãos por fileiras (Figura 3F). Como a área foliar diminui com a desfolha diminui o fornecimento de fotoassimilados, por outro lado ocorre intensa translocação dos metabólitos nitrogenados (Figuras 1B, 1D e 1F) e metabólitos glicídicos (Figura 2B, 2D e 2F) para os grãos, provocando um aumento no teor de amido nos grãos.

O aumento de fotoassimilados no colmo das plantas submetidas ao desfolhamento é devido à melhora na eficiência fotossintética em decorrência de uma maior interceptação de luz por unidade de área foliar. Por outro lado o que garante o pleno enchimento dos grãos é a intensa translocação dos fotoassimilados do colmo para os grãos (MAGALHÃES & JONES, 1990 b).



**Figura 4.** Nitrato (A), aminoácidos livres (B), açúcares redutores – AR (C), sacarose (D), amido (E) nos grãos em plantas de milho submetidas a diferentes estresses em relação à posição dos grãos na espiga (Base e ápice) e peso de 1000 grãos (F) UNESP, Jaboticabal-SP, 2005. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey. Letras minúsculas comparam tratamentos e maiúsculas posição na espiga dentro de cada tratamento.

## CONCLUSÕES

1. O fator que mais provocou distúrbios fisiológicos no metabolismo glicídico e nitrogenado foi o déficit hídrico.
2. A supressão do nitrogênio na fase reprodutiva não provocou distúrbios nas plantas de milho.
3. Em plantas sombreadas a limitação da fotossíntese é suprida pela remobilização de açúcares redutores, sacarose e amido do colmo e folhas para os grãos, entretanto, esse estresse resulta no abortamento, menores teores de amido e produção de grãos.
4. O déficit hídrico reduziu o período de enchimento dos grãos, promoveu abortamento no ápice da espiga, acúmulo de açúcares redutores e aminoácidos livres nas folhas e colmos, o que resultou em menor massa de 1000 grãos e produção por planta.
5. O desfolhamento reduziu os teores de N-total, aminoácidos, açúcares redutores e amido nos grãos, resultando em redução do número e produção de grãos por planta.

## REFERÊNCIAS

- BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. *Experimentação agrícola*. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 247p.
- BELOW, F.E. Fisiologia, nutrição e adubação nitrogenado do milho. *Informações agronômicas*, Piracicaba, v.43, n.99, p. 7 – 12, 2002.
- BERGONCI, J.I. et. al. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.36, n.7, p.941-948, 2001.
- BROWM, C.S.; HUBBER, S.C. Reserve mobilization and starch formation in soybean (*Glycine max*) cotyledon in relation to seedling growth. *Plant Physiology.*, Rockville, v.72, n.1, p. 518-24, 1988.

CANTARELLA, H.; DUARTE, A.P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V. *Tecnologia de produção de milho*. Viçosa: UFV, 2004. p.139 - 182.

CATALDO, D.A. et al. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 6, n. 1, p. 71-80, 1975.

CAZETTA, J.O., SEEBAUER, J.R.C, BELOW, F.E. Sucrose and nitrogen supplies regulate growth of maize kernels growing in vitro. *Annals of Botany*, London, v.84, p. 747 – 754, 1999.

CLIQUET, J.B.; DELÉENS, E.; MARIOTTI, A. C and N mobilization from stalk and leaves during kernel filling by  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  tracing in *Zea mays* L. *Plant Physiology*, Rockville, v.94, n. 4, p. 1547-1553, 1990.

FALEIROS, R.R.S.; SEEBAUER, R.J.; BELOW, F.E. Nutritionally induced changes in endosperm of shrunken<sup>-1</sup> and brittle<sup>-2</sup> maize kernels grown in vitro. *Crop science*, Madison, v.36, n. 3, p.947-54, 1996.

FIEW, S.; WILLENBRINK, J. Sucrose synthase and sucrose phosphate synthase in sugar beet plants (*Beta vulgaris* L. ssp. *altissima*). *J. Plant Physiology*, Stuttgart, v.131, n. 1, p.153-162, 1987.

HEBERER, J.A.; BELOW, F.E; HAGEMAN, R.H. Drying method effect on leaf chemical constituents of four crop species. *Crop Science*, Madison, v.25, n.1, p. 1117-1119, 1985.

HENDRIX, D.L. Rapid extraction and analysis of nonstructural carbohydrates in plant tissues. *Crop Science*, Madison, v.33, n. 3, p.1306-1311, 1993.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. *The Water-culture method for growing plants without soil*. University of California, Berkeley, 1950, 32p. (Circular Técnica, 347).

JONES, R.J.; SIMMONS, S.R. Effect of altered source sink relation on growth of maize kernels. *Crop Science*, Madison, v. 23, n. 8, p. 129 – 134, 1983.

KINIRY, J.R. et al. Nonstructural carbohydrates utilization by sorghum and maize shaded during grain growth. *Crop Science*, Madison, v. 32, p. 131 – 137, 1992.

MAGALHÃES, P.C.; JONES, R. Aumento de fotoassimilados sobre os teores de carboidratos e nitrogênio em milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.25, n.12, p. 1755 – 1761, 1990a.

MAGALHÃES, P.C.; JONES, R. Aumento de fotoassimilados na taxa de crescimento e peso final dos grãos de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.25, n.12, p. 1747 – 1754, 1990b.

MATTER, U.F.; SILVA, C.J.; CAZETTA, J.O. Concentração de carboidratos em plantas de milho sob alteração da fonte e dreno de fotoassimilados. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO 24., 2002, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: Sociedade Brasileira de Milho e Sorgo, 2002. 1 CD-ROM.

MOORE, S. Amino acids analysis: aqueous dimethylsulfoxide as solvent for the ninhydrin reaction. *Journal Biological Chemistry*, Baltimore, v.243, p.6281-6283, 1968.

OTEGUI, M. E.; ANDRADE, F.H. New relationships between light interceptions, ear growth, and kernel set in maize. In: WESTGATE, M.E.; BOOTE, K. (Ed.). *Physiology and modeling kernel set in maize*. Madison: Crop Science Society of America and American Society of Agronomy, 2000. p.89-102. (Special Publication, 29).

RAJCAN, I.; TOLLENAAR, M. Source:sink ratio and leaf senescent in maize: I. Dry matter accumulation and partitioning during grain filling. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 60, p. 245 – 253, 1999.

SANGOI, L. et al. Acúmulo de materia seca em híbridos de milho sob diferentes relações entre fonte e dreno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.37, n.3, p.259-267, 2002.

SCHUSSLER, J.R.; WESTEGATE, M.E. Assimilate flux determines kernel set at low water potential in maize. *Crop Science*, Medison, v.35, p.1074-1080, 1995.

SHANNON,J.C.; DOUGHERTY, T.C. Moviment of <sup>14</sup>C-labeled assimilates into kernels of *Zea mays* L. *Plant Physilogy*, Rockville, v. 49, n. 2, p. 203 – 206, 1972.

SILVA, C.J.; MATTER, U.F.; CAZETTA, J.O. Alterações da proporção de fonte/dreno e seus efeitos sobre o metabolismo do nitrogênio e o desenvolvimento de plantas de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: Sociedade Brasileira de Milho e Sorgo, 2002. 1 CD-ROM.

SINGLETARY, G.W. et al. Response of enzymes and storage proteins of maize endosperm to nitrogen supply. *Plant Physiology*, Rockville, v.94, p.858-64, 1990.

TOLLENAAR, M.; DAYNARD, T.B. Kernel growth and development in two positions on the ear of maize (*Zea mays* L.). *Cadian Journal Plant Science*, v. 58, n. 1, p. 189 -197, 1978.

TOLLENAAR, M. et al. Physiological parameters associated with differences in kernel set among maize hybrids. In: WESTGATE, M.E.; BOOTE, K. (Ed.). *Physiology and modeling kernel set in maize*. Madison: Crop Science Society of America and American Society of Agronomy, 2000. p.115-130. (Special Publication, 29).

TSAI, C.Y. et al. Interactions between the kernel sink, grain yield and protein nutritional quality of maize. *Journal. Science Food Agriculture.*, London, v.34, n.2, p.255-263, 1983.

UHART, S.A.; ANDRADE, F.H. Nitrogen deficiency in maize: II. Carbon-nitrogen interaction effects on kernel number and grain yield. *Crop Science*, Madison, v.35, n.4, p. 1384 – 1389, 1995.