

# BASE FISIOLÓGICA DA RELAÇÃO ENTRE RENDIMENTO FINAL E FOTOSÍNTESE EM MILHO.

Frederico O. M. Durães<sup>1</sup>, Paulo César Magalhães<sup>1</sup>, Elto Eugenio Gomes e Gama<sup>1</sup>, Antonio Carlos de Oliveira<sup>1</sup>

## Introdução

Fotossíntese é a base da formação do rendimento vegetal e o conhecimento dos fluxos de CO<sub>2</sub> tem permitido elucidar as tres etapas básicas acopladas ao processo fotossintético: aspectos fotoquímicos, fotofísicos (de transferência eletrônica com a formação de ATP e NADPH) e bioquímicos da fixação de carbono. O desenvolvimento de métodos para regulação da fotossíntese e aumento da sua eficiência na utilização da energia solar é o mais importante meio de obter altas produções. No entanto, a relação entre fotossíntese e produção é bastante complexa, e por vezes contraditória. Isto se deve ao fato de que diversos fatores podem estar envolvidos, dentre os quais a abertura estomática e a condutância de CO<sub>2</sub> no interior das células do mesófilo, idade e localização das folhas, deficiência hídrica e comportamentos diferentes em plantas, tipo de via para fixação do carbono (C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> ou intermediária), ou concentração de nitrogênio nas folhas.

Milho (*Zea mays* L.) é um típico organismo fotoautotrófico que apresenta aspectos morfológicos, anatômicos e fisiológicos pertinentes à bioconversão (*de energia luminosa em energia química de moléculas orgânicas*). Altas produtividades têm sido proporcionadas pelo aumento da área foliar, alterações na relação fitomassa e órgãos reprodutivos e por outras alterações morfofisiológicas.

A síntese, translocação, partição e acúmulo de produtos fotoassimilados na planta são controlados geneticamente e influenciados por fatores ambientais, como: CO<sub>2</sub>, luz, temperatura, aparato foliar, nutrientes, *status* hídrico, pragas e doenças, etc. (WILSON et al., 1973; DONALD & HAMBLIN, 1976; TOLLENAAR, 1977; SETTER, 1986; DURÃES et al, 1993, 1995, 2002a).

O entendimento da natureza da alocação diferencial de matéria seca durante o ciclo da planta de milho, sobretudo os fatores e processos relacionados a partição para o grão, é de fundamental importância no direcionamento do processo de melhoramento genético e do manejo para incrementar o rendimento de grãos, porquanto as respostas de plantas cultivadas sob plenas condições ou sob estresses ambientais (bióticos e abióticos) dependem da atividade metabólica, morfologia e estágio de desenvolvimento.

Caracterizar o ambiente e identificar características primárias (*componentes do rendimento de grão*) e secundárias (*sao características de plantas, como ângulo foliar, folhas verde-escuro, stay-green, pendão pequeno, intervalo entre florescimentos masculino e feminino, etc. - apresentam-se como de rápido e baixo custo de mensuração, e alta herdabilidade – e que estão relacionadas com rendimento de grão e performance do genótipo sob pressão de seleção para determinado estresse ambiental, como de seca, de baixo Nitrogênio, doenças, etc*) de plantas visando a obtenção, seleção e uso de genótipos responsivos a fatores ambientais subótimos e melhorias nas práticas de manejo são tarefas complexas e requerem métodos adequados.

Fotossíntese pode ser medida diretamente pela absorção de CO<sub>2</sub> ou a evolução de O<sub>2</sub>. Embora tais medidas sejam importantes, informações sobre performance fotossintética não podem ser facilmente obtidas apenas pelas medidas de trocas gasosas. Medidas da fluorescência da clorofila tem-se apresentado como uma importante técnica em estudos fisiológicos de ecologia de plantas. O rendimento da fluorescência da clorofila revela o nível de excitação da energia no sistema de pigmentos que dirige a fotossíntese e tem-se constituído em potente ferramenta de *screening* para tolerância de plantas de milho a condições adversas, principalmente, sob estresse hídrico (seca e encharcamento), eficientes para uso de nitrogênio e fósforo, e tolerantes a alumínio (DURÃES et al. 2002b, 2003).

---

<sup>1</sup> Eng. Agr., Ph.D., Pesquisador Embrapa Milho e Sorgo (Caixa Postal 151, 35701-970 Sete Lagoas, MG, Brasil. <http://www.cnpms.embrapa.br>. Contacto: [fduraes@cnpms.embrapa.br](mailto:fduraes@cnpms.embrapa.br))

Neste trabalho, objetivou-se demonstrar o potencial de parâmetros de fluorescência da clorofila na caracterização de genótipos de milho quanto à eficiência fotossintética, e como ferramenta para seleção de genótipos sob estresse abiótico, principalmente de água e nitrogênio.

## Material e métodos

**Plantas:** Três linhagens de milho (L137, TTC2, T39) foram cultivadas em casa de vegetação (temperatura:  $25 \pm 2$  °C, umidade relativa do ar:  $50 \pm 5\%$ , fotoperíodo: 12 horas luz/escuro, com 8 lâmpadas de 1000 W), envasadas em 15,0 kg de substrato (solo:areia:vermiculita, 2:1:1 v/v), com adubação básica equivalente a  $160:90:90 \text{ kg.ha}^{-1}$  de NPK + micronutrientes, em 3 aplicações (no substrato de plantio, V4 e V6 estádios de crescimento). As irrigações foram plenas, e realizadas manualmente com referência à diferença de pesagem diária de 5 vasos com e 5 sem plantas.

**Mensurações:** (Medidas realizadas na folha madura característica do estágio fenológico V4, V6 ou V8, e na folha da espiga durante o florescimento, em 3 plantas por genótipo, em 3 repetições).

**Área foliar e altura de planta:** Por método não-destrutivo, computando-se os máximos comprimento e largura de folhas, em cm.

**Conteúdo de Clorofila** foi determinado de acordo com ARNON (1949), e pelo uso de leituras (média de 5 leituras por folha) do SPAD meter (Model 502, Minolta). Para avaliar a necessidade de nitrogênio em plantas de milho foi construído o Índice de Suficiência de Nitrogênio (**ISN =  $100 \times$  média de leituras SPAD por genótipo/média de leituras SPAD referência**) e, adotou-se o limite de mínimo de 95% de ISN para aplicação de N extra.

**Medidas de trocas gasosas:** A taxa de fotossíntese foliar ( $A$ , assimilação em  $\mu\text{moles de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e condutância estomática foram medidas usando-se um LI-6400 Portable Photosynthesis System, com os seguintes ajustes: Fluxo de quanta (Total PAR vermelho+azul,  $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e 10% azul); Taxa de fluxo de  $\text{CO}_2$ ,  $500 \mu\text{mol/s}$ ;  $\text{CO}_2$  referência,  $400 \mu\text{mol/mol}$ ; temperatura foliar,  $25$  °C. Foram medidos “*in vivo*” o rendimento quântico da assimilação de  $\text{CO}_2$  ( $\Phi\text{CO}_2$ ) e a taxa de transporte de elétrons através do fotossistema 2 ( $\Phi\text{PSII}$ ).

**Medidas de parâmetros de fluorescência da clorofila *a* (*Chl a Flr*):** Foram medidos com o LI-6400 System, acoplado-se uma câmara LI-6400-40 LCF. A eficiência fotoquímica do fotossistema 2 ( $\Phi\text{PSII}$ ) em folhas adequadamente escuro-adaptadas ( $F_v/F_m$ ) e em folhas irradiadas cuja fotossíntese estiveram constante “steady-state” ( $\Delta F/F_m'$ ) foram medidas em folhas não-destacadas. Os cálculos foram de acordo com as equações de GENTY et al. (1989). A taxa de aparente transporte de elétrons fotossintético através do fotossistema 2 ( $ETR$ , Apparent photosynthetic electron transport rate, em  $\mu\text{moles quanta m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) foi calculado com a equação de SCHREIBER et al. (1994). O transporte de elétrons através do fotossistema 2 ( $\Phi\text{PSII}$ ) foi calculado pela inclinação inicial da curva de resposta a  $ETR$  para diferente densidade de fluxo de foton fotossintético ( $PPFD$ , photosynthetic photon flux density).

## Resultados e discussão

Nas Figuras 1 e 2 apresentam-se as performances das três linhagens de milho (L137, TTC2 e T39) quanto ao conteúdo de clorofila e taxas médias de transporte de elétrons ( $ETR$ ) e de assimilação de  $\text{CO}_2$  ( $A$ ), durante o florescimento. Além das médias gerais, apresentam-se as médias de repetições por genótipo que mostram a mesma tendência para os valores de clorofila e de  $ETR$  e  $A$ . Do conteúdo de clorofila, por genótipo, construiu-se um índice de suficiência de nitrogênio (ISN), indicando a L137 significativamente acima da média e as duas outras (TTC2 e T39) abaixo da média. Considerando-se um critério de limite  $\geq 95\%$  para aplicação de N extra, as linhagens TTC2 e T39 necessitam de correção de adubação nitrogenada.

Nas Figura 2 e 3,  $ETR$  e  $A$  demonstram forte correlação, e foram capazes de discriminar diferenças significativas entre dois grupos de linhagem: G1 (L137) e G2 (TTC2 e T39).

As Figuras 4a,b,c mostram a maior capacidade fotossintética da L137 em relação a TTC2 e T39, explicada pela maior eficiência de carboxilação da L137. Essa mesma resposta ocorreu em produção de fitomassa total aérea e de grão (dados não apresentados).

Os resultados mostram que nitrogênio é um importante fator do rendimento de milho, e que pode ser monitorado pelo conteúdo de clorofila e de parâmetros fotoquímicos de fotossíntese. *ETR* tem forte correlação com trocas gasosas fotossintéticas (*A*) e se presta como um significativo parâmetro para avaliação de genótipos contrastantes, cultivados em condições plenas e sob estresse de nitrogênio e de água (dados não apresentados).

A produtividade vegetal é um fenômeno complexo e o entendimento e a utilização de características secundárias podem orientar pesquisadores e produtores na obtenção de ganhos de eficiência quanto à recomendação de cultivares e de práticas de manejo da cultura. A produtividade depende do número de grãos polinizados e desenvolvidos e da quantidade de fotoassimilados disponíveis (fotossíntese). Portanto, atenção deve ser dada para características de plantas que tem forte relação com o componente do rendimento “número de grão” e dos eventos de enchimento pós-polinização.

## Conclusões

O conteúdo de clorofila constitui-se em parâmetro importante para avaliar diferenças genotípicas e do estado nutricional de plantas de milho.

Medidas de fluorescência da clorofila podem ser usadas como técnicas para caracterizar a resposta fisiológica de genótipos de milho em ambientes diferenciados.

O monitoramento de respostas de plantas de milho para avaliar diferenças genotípicas e de *status* n<sup>1</sup>  
Eng. Agr., Ph.D., Pesquisador Embrapa Milho e Sorgo (Caixa Postal 151, 35701-970 Sete Lagoas, MG, Brasil. <http://www.cnpms.embrapa.br>. Contacto: [fduraes@cnpms.embrapa.br](mailto:fduraes@cnpms.embrapa.br))

utricional serve à pesquisa para a obtenção de novos cultivares, e também para reorientar práticas de manejo durante o ciclo da cultura.

## Referências bibliográficas

ARNON, D.I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiol.** 24:1-15. 1949.

DONALD, C.M., HAMBLIN, J. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. **Advances in Agronomy**, Madison, v.28, p.361-405, 1976.

DURÃES, F.O.M., RUSSELL, W.K., SHANAHAN, J.F., MAGALHÃES, P.C. Assessing the contribution of chlorophyll fluorescence parameters for studying environmental stress tolerance in maize. **In:** ARNEL R. HALLAUER INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT BREEDING. CIMMYT; Iowa State University. Mexico City, Mexico. Aug. 17-22, 2003. (*Abstracts and Proceedings ...*)

DURÃES, F.O.M., MAGALHÃES, P.C.; OLIVEIRA, A.C.de. Índice de colheita genético e as possibilidades da genética fisiológica para melhoramento do rendimento de milho. **Rev. Bras. de Milho e Sorgo**, v.1, n.1, p.33-40, 2002a.

DURÃES, F.O.M., GAMA, E.E.G., MAGALHÃES, P.C., MARRIEL, I.E., CASELA, C.R., OLIVEIRA, A.C., LUCHIARI JR., A., SHANAHAN, J.F. The usefulness of chlorophyll fluorescence in screening for water, N use efficiency, Al toxicity, and disease in maize. **In:** 7<sup>th</sup> EASTERN AND SOUTHERN AFRICA MAIZE CONFERENCE AND SYMPOSIUM ON LOW-NITROGEN AND DROUGHT TOLERANCE IN MAIZE. CIMMYT; KARI. Nairobi, Kenya. Feb. 11-15, 2002b. (*Abstracts and Proceedings ...*)

DURÃES, F.O.M., MAGALHÃES, P.C., OLIVEIRA, A.C., FANCELLI, A.L., COSTA, J.D. Partição de fitomassa e limitações do rendimento de milho (*Zea mays* L.) relacionadas com a fonte-dreno. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Sao Carlos, v.5, n.1, p.90-91. Resumos ... 189.

DURÃES, F.O.M., MAGALHÃES, P.C., COSTA, J.D., FANCELLI, A.L. Fatores ecofisiológicos que afetam o comportamento de milho em semeadura tardia (safrinha) no Brasil Central. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.52, n.3, p.491-501, set./dez. 1995.

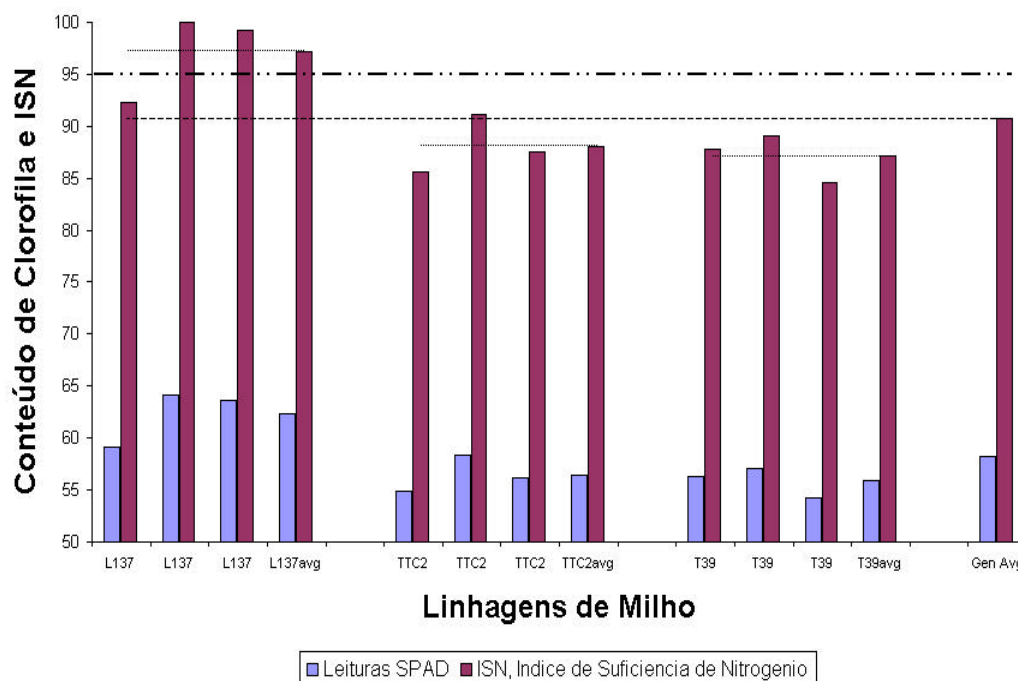
GENTY, B., BRIANTAIS, J.-M., BAKER, N.R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochim. Biophys. Acta** 990:87-92, 1989.

SCHREIBER, U., BILGER, W., NEUBAUER, C. Chlorophyll fluorescence as a non-intrusive indicator for rapid assessment of *in vivo* photosynthesis. **In: Schulze, E.-D, Caldwell, M.M. (ed.): Ecophysiology of Photosynthesis**. pp. 49-70. Springer-Verlag, Berlin, 1994.

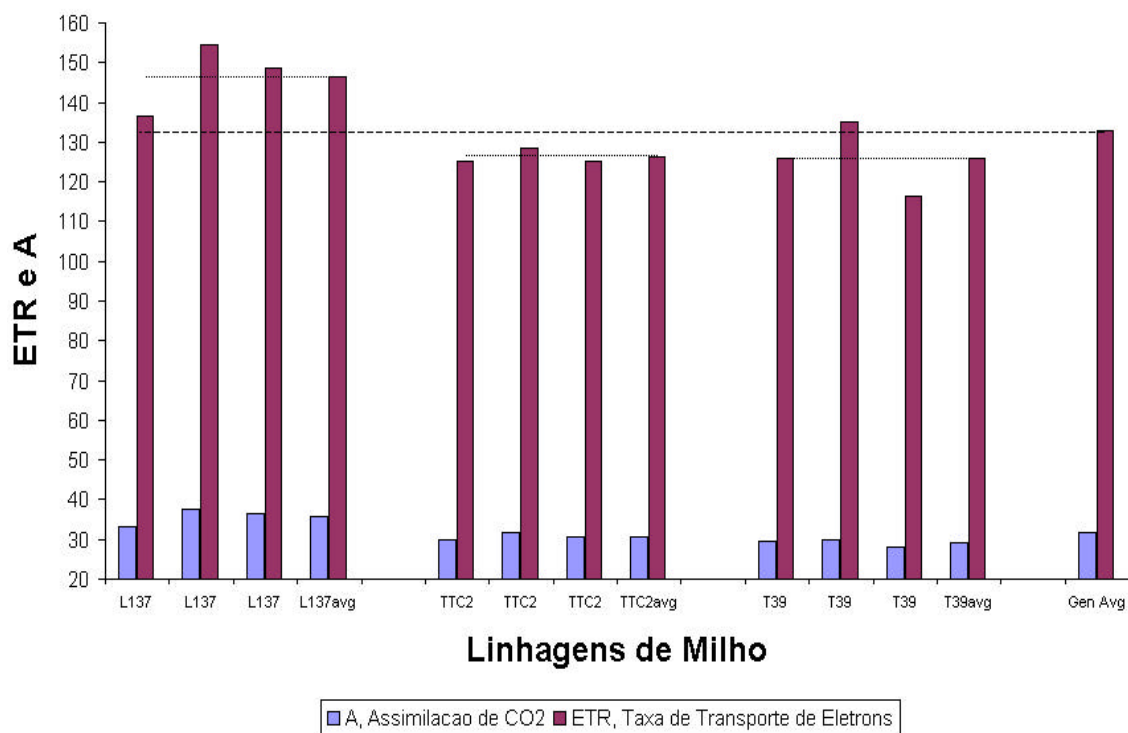
SETTER, T.L. Partitioning of carbon among competing sinks. **In: SHANNON, J.C., KNIEVEL, D.P., BOYER, C.D. (Ed.) Regulation of carbon and nitrogen reduction and utilization in maize**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 1986. p. 261-271.

TOLLENAAR, M. Sink-source relationships during reproductive development in maize. A review. **Maydica**, Bergamo, v.22, p.49-75, 1977.

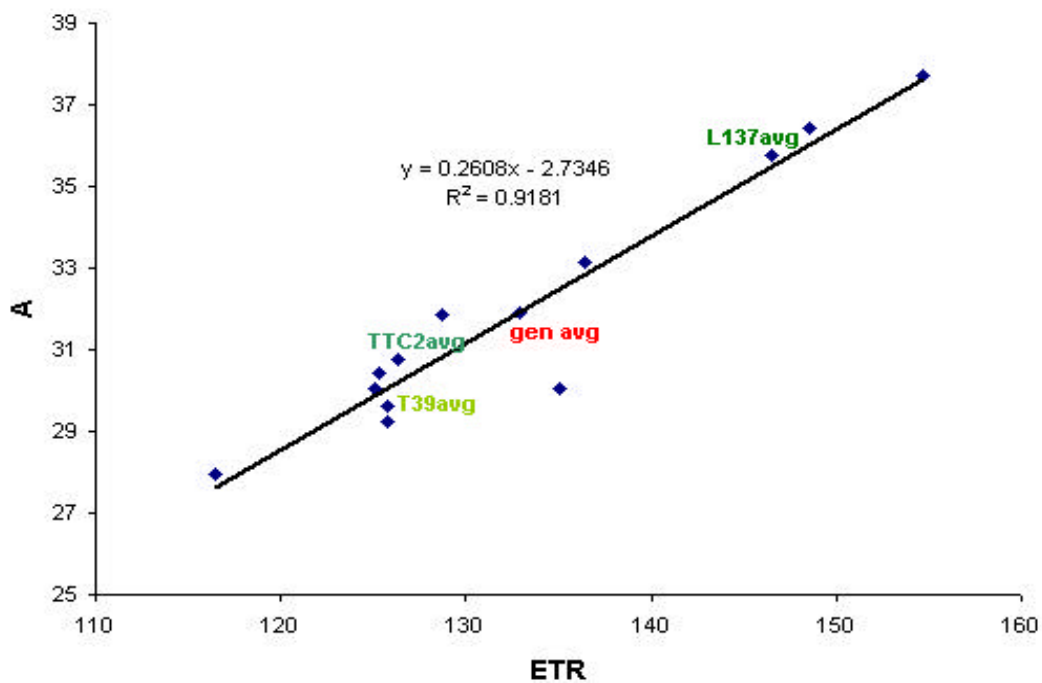
WILSON, J.H., CLOWES, M.St.J., ALLISON, J.C.S. Growth and yield of maize at different altitudes in Rhodesia. **Annals of Applied Biology**, Cambridge, v.73,n.1, p.77-84. 1973.



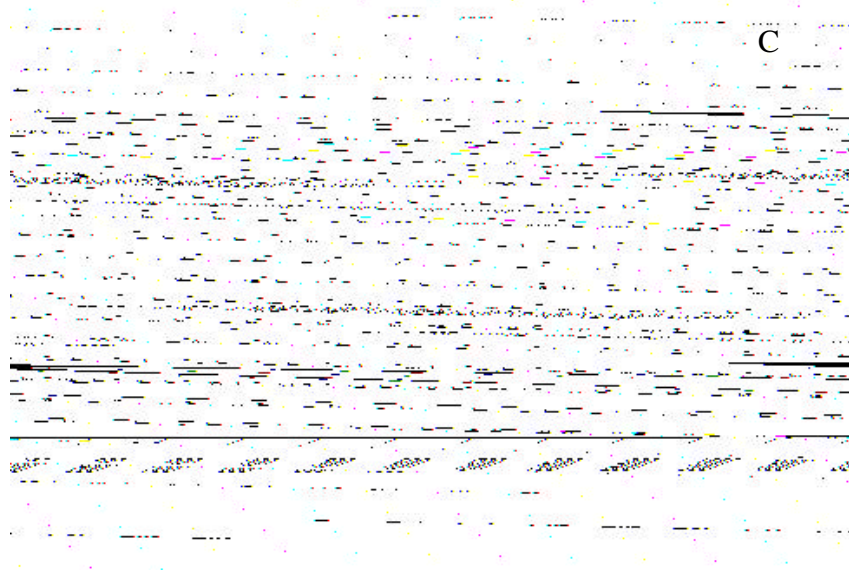
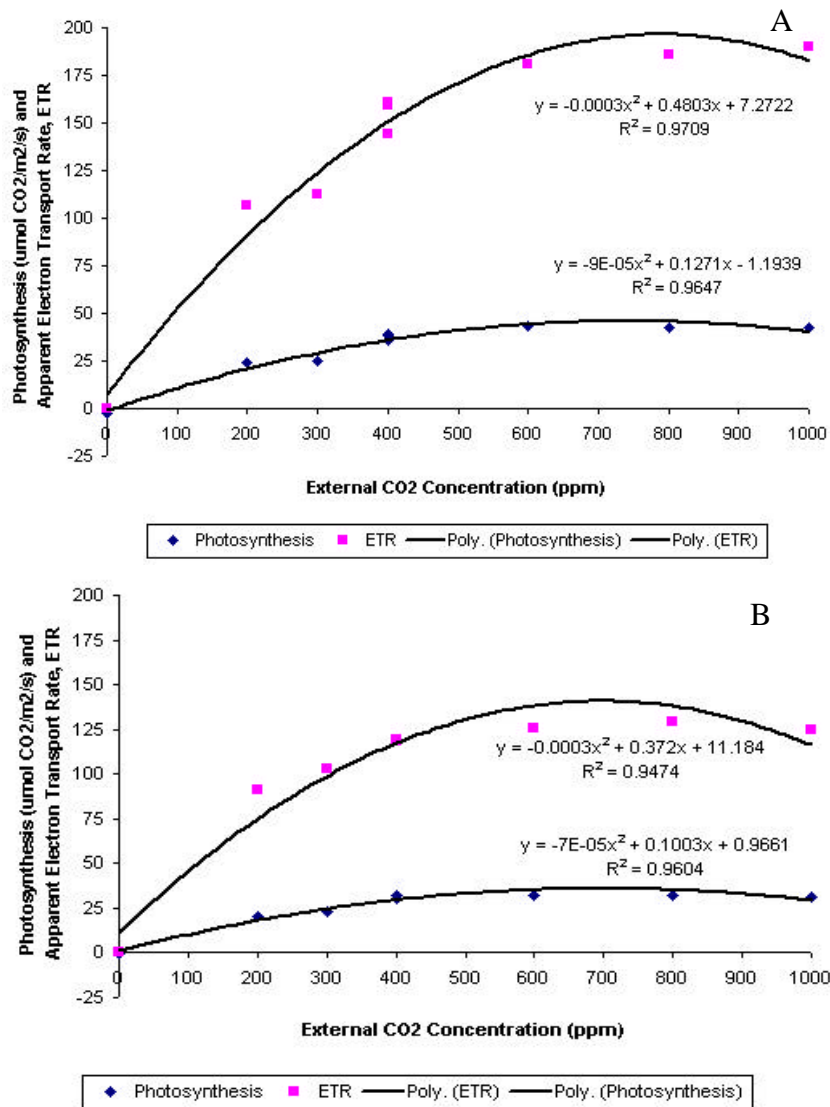
**Figura 1.** Conteúdo de clorofila para avaliar a necessidade de Nitrogênio em plantas de milho.(ISN, Índice de Suficiência de Nitrogênio=100\*leitura/referência. Limite de 95% para aplicar N extra).



**Figura 2.** Taxas médias de transporte de elétrons (ETR,  $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e de assimilação de  $\text{CO}_2$  (A,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em linhagens de milho.



**Figura 3.** Correlação entre as taxas médias de transporte de elétrons (ETR,  $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e de assimilação de  $\text{CO}_2$  (A,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em linhagens de milho.



**Figura 4.** Taxas de transporte de elétrons (ETR,  $\mu\text{mol quanta m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) e de assimilação de CO<sub>2</sub> (A,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) em linhagem L137 (A), em linhagem TTC2 (B), em linhagem T39 (C) de milho.