

ÍNDICE DE COLHEITA GENÉTICO E AS POSSIBILIDADES DA GENÉTICA FISIOLÓGICA PARA MELHORAMENTO DO RENDIMENTO DE MILHO

FREDERICO OZANAN MACHADO DURÃES¹, PAULO CÉSAR MAGALHÃES¹, ANTÔNIO CARLOS DE OLIVEIRA¹

¹*Pesquisadores, Embrapa Milho e Sorgo. Caixa Postal 151, CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG, Brasil. E-mail: fduraes@cnpms.embrapa.br (autor para correspondência).*

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.1, n.1, p.33-40, 2002

RESUMO - O presente trabalho teve por objetivos apontar um caminho metodológico para avaliar cultivares de milho pelo índice de colheita genético (ICG) e discutir sobre o enfoque da utilização isolada do índice de colheita (IC) visando produtividade. Utilizaram-se dados experimentais primários e da literatura. Os resultados comprovam, de forma significativa, a interferência de fatores ambientais sobre a adaptação e o rendimento de grãos. O enfoque é diferenciado, porque procura entender os fatores que afetam o rendimento de grãos, buscando as causas (genéticas e ambientais) que resultam uma redução da capacidade máxima do genótipo em produzir grãos. A planta modelo é o milho e a análise dos dados apresentados sugere alternativas metodológicas para estimar o ICG, enfocando os rendimentos máximos e rendimentos sob condições adversas (estresses bióticos e abióticos, ou agricultura de baixos insumos). O procedimento poderá ser aplicado em programas de desenvolvimento de cultivares, de modo a contribuir no processo de seleção.

Palavras-chave: índice de colheita, índice de colheita genético, genótipo, milho, avaliação, seleção, efeito ambiental, matéria seca, rendimento de grãos.

GENETICAL HARVEST INDEX AND POSSIBILITIES OF THE PHYSIOLOGICAL GENETICS TO IMPROVE MAIZE YIELD

ABSTRACT - The objective of this study was to point out a methodological way to evaluate maize cultivars through genetical harvest index estimative (GHI). Furthermore, questions are raised about the unique utilization of harvest index (HI). It was used data from research experiments as well as from literature. The results showed a significant interference from environmental factors which limit adaptation of maize cultivars, affecting grain yield. The focus is differentiated, since one searches to understand the effects which result in grain yield, identifying the causes (genetic and environmental) which will result ultimately in a yield reduction of the genotype maximum capacity to produce grain. The model plant is the maize, and the analysis of the data presented suggests methodological alternatives to estimate the GHI of each genotype. This procedure will be useful in maize plant breeding programs, taking into consideration maximum yields as well as yields under adverse conditions (biotic and abiotic stresses), or agriculture of low technological inputs.

Key words: harvest index, genetical harvest index, genotype, corn, evaluation, selection, environmental effect, dry matter, grain yield.

A síntese, translocação, partição e acúmulo de produtos fotoassimilados na planta são controlados geneticamente e influenciados por fatores ambientais (Wilson *et al.*, 1973; Donald & Hamblin, 1976; Tollenaar, 1977; Setter, 1986; Durães *et al.*, 1993, 1995).

O entendimento da natureza da alocação diferencial de matéria seca durante o ciclo da planta de milho, sobretudo os fatores e processos relacionados à partição para o grão, é de grande importância no direcionamento do processo de melhoramento genético e do manejo para incrementar o rendimento de grãos.

A utilização do índice de colheita (IC, fração de grãos em relação à matéria seca total da planta) no contexto agrônômico é enfatizada em inúmeros estudos (Durães *et al.*, 1993, Monteiro *et al.* 1998).

Adversidades ambientais geralmente redundam em menor IC. Estudos têm mostrado que o IC de uma cultura é marcadamente influenciado pela densidade de plantio, disponibilidade de água e nutrientes e temperatura na estação de crescimento, o que torna inadequadas as comparações entre cultivares, com base nesse índice.

Por este fato, comparações entre cultivares (e entre espécies) podem ser baseadas no índice de colheita genético (ICG), ou seja, a expressão máxima da capacidade genética do material em resultar partição útil para o órgão econômico de interesse. Segundo Prihar & Stewart (1990), a hipótese básica para a estimação do ICG de uma cultivar é que IC esteja diretamente relacionado com a partição de fotoassimilados para o rendimento econômico, e seja um parâmetro relacionado à espécie. Assim, comparações entre cultivares poderiam ser baseadas nos IC que se aproximam do ICG sob determinadas condições ambientais. Dependendo da natureza e da extensão da condição ambiental, o IC observado de uma cultura difere em maior ou menor intensidade (desvio) do ICG.

As plantas procuram se adaptar às condições de ambiente, usando estratégias de modificar suas estruturas vegetativas e/ou reprodutivas, dependendo do seu estágio de desenvolvimento. Adversidades ambientais geralmente redundam em menor IC. Plantas bem adaptadas poderiam produzir próximo de seu ICG.

O objetivo deste trabalho foi questionar o enfoque da utilização do IC para avaliação e seleção de cultivares de milho, e com isto, derrubar o conceito de verificação exclusiva de efeitos que resultam rendimento de grãos, além de enfatizar a necessidade de utilização metodológica de estimação do ICG, bem como analisar os fatores e processos envolvidos no desvio do ICG, por cultivares de milho, em condições edafoclimáticas distintas (condições ideais favoráveis, de altos rendimentos, e condições reais, ou subótimas, de adversidades ambientais, e redução de rendimentos sob estresse).

Material e Métodos

Foram utilizados os dados experimentais apresentados por Durães *et al.* (1993), de três cultivares de milho de ciclos diferentes (c1- normal, c2- precoce, c3- superprecoce), cultivados em três densidades de população de plantas (d1- 33 mil, d2- 55 mil, d3- 77 mil plantas/ha), em delineamento de blocos casualizados, com parcelas subdivididas (parcela: cultivar, subparcela: densidade), com quatro repetições. Durante o ciclo das plantas, foram efetuadas avaliações para a caracterização das fases vegetativa e reprodutiva. As amostragens periódicas de plantas, por tratamento, foram realizadas em intervalos regulares de 14 dias, a partir do 21º dia após a semeadura (DAS). Isto permitiu verificar o acúmulo diferencial de matéria seca, nos diferentes órgãos das plantas: (colmo + bainha), folhas, pendão, espiga (brácteas + sabugo + grãos).

Utilizando-se os dados experimentais de Coelho *et al.* (comunicação pessoal, 2001), foram

calculados o IC da cultivar BR 201 (híbrido duplo de milho), sob irrigação, em dois locais distintos (Sete Lagoas e Janaúba, MG) em diferentes anos e época de semeadura.

As revisões de literatura, sem o propósito de serem exaustivas, buscaram mostrar a variabilidade do IC para milho, conforme apresentado por Jain et al. (1976), bem como identificar os valores mínimos e os máximos de IC obtidos em resultados experimentais e/ou campos de produção comercial, em ambientes e condições diferenciadas (Jain et al., 1976; Peterson et al., 1989; Voorshes et al., 1989; Fairbourn et al., 1970; Raun et al., 1989).

O ICG foi estimado a partir de dados teóricos sobre a utilização de recursos pelas plantas e dados de IC observados na literatura.

Resultados e Discussão

Avaliação do índice de colheita (IC)

Os índices de colheita (IC) observados estão mostrados na Tabela 1.

O IC, determinado pela relação entre matéria seca dos grãos e a matéria seca total da planta, variou de 0,39 a 0,45, segundo Durães *et al.* (1993, 1995); e de 0,45 a 0,59, em Sete Lagoas e de 0,43 a 0,56, em Curvelo (Monteiro *et al.*, 1998).

Diferenças no padrão de produção de matéria seca podem ser relacionadas com o rendimento final (Tehlan et al., 1979). Os IC teóricos apresentam um intervalo de 0,0 a 1,0 (0 a 100%), sendo o menor valor equivalente à produção nula e o maior valor, à produção teórica máxima. Os resultados observados, mostrados na literatura, apontam uma ampla variabilidade para o IC em milho (de 0,10 a 0,60).

Sendo o IC uma medida da eficiência do transporte de fotoassimilados para o grão, teoricamente, o maior IC observado por uma cultivar demonstra maior eficiência de conversão de produtos sintetizados em material de importância econômica.

Comparando-se os resultados de IC e rendimento de grãos (Tabela 1) alcançados pelas cultivares c1, c2 e c3, na maior densidade de cultivo (d3), observa-se que a cultivar c2 obteve maior IC (0,45) que as cultivares c1 (0,42) e c3 (0,41). Entretanto, nem sempre o maior IC está associado ao maior rendimento de grãos. Isto é o que se observa, por exemplo, nos tratamentos c1d1 e c1d3 e entre c1d3 e c3d2.

Avaliação do índice de colheita genético (ICG) para milho

O ICG para milho é um valor entre 0,60 e 1,0 e a sua estimativa teórica está relacionada ao conhecimento da capacidade de conversão bioquímica da espécie e dos genótipos melhorados.

O milho é considerado um vegetal de alta conversão fotossintética e uma “*máquina de produzir carboidratos*”. A captura de recursos requer a interceptação da radiação solar incidente pela copa do milho e absorção de nutrientes e água pelas raízes. Interceptação sazonal da radiação solar incidente, ou densidade de fluxo de fóton fotossintético pode ser aumentada pela extensão do período durante o qual 95% ou mais da radiação solar incidente é interceptada, que pode ser obtida pela rápida cobertura vegetal (McCullough et al., 1994), atraso de senescência foliar (Duvick, 1997; Crosbie, 1982), ou ambas, bem como pela eficiência de conversão fotossintética e partição para órgão útil (Crosbie, 1982; Dwyer & Tollenaar, 1989; Stevenson, 1985).

Do ponto de vista teórico, os caminhos para aumentar a utilização de recursos são: um aumento na taxa bruta da fotossíntese foliar (Crosbie, 1982; Tollenaar & Dwyer, 1998), uma redução na respiração (de crescimento e de manutenção) da planta (Penning de Vries et al., 1994), e um aumento no índice de colheita (Russell, 1985). IC declina quando a densidade de população de plantas é aumentada além do ótimo de densidade populacional para

rendimento de grãos em milho, e a densidade populacional ótima para rendimento de grãos é mais baixa para híbridos antigos do que para mais novos híbridos, o que pode explicar a associação entre IC

e época de liberação para híbridos cultivados em altas densidades populacionais (Tollenaar et al., 1994). Melhorias no rendimento têm sido registradas para híbridos de milho (Tollenaar et al., 1994).

TABELA 1. Valores de índice de colheita (IC) para vários genótipos de milho em diferentes situações. (Dados da pesquisa e revisão de literatura).

Genótipo	Local	Condição ¹	Altura ² de Planta (cm)	IC	Rendimento de Grãos (kg/ha)	Referências
<i>Genótipos de diferentes maturidades, em três densidades¹ de cultivo:</i>						
XL 380	Piracicaba, SP	c1d1	192,3	0,43	5.528	Durães et al. (1995)
		c1d2	203,5	0,39	6.927	
		c1d3	189	0,42	9.352	
BR 201		c2d1	202	0,43	5.837	
		c2d2	196,5	0,43	7.760	
		c2d3	203	0,45	11.189	
P 3072		c3d1	166,3	0,41	3.653	
		c3d2	172,3	0,43	5.230	
		c3d3	181,8	0,41	7.029	
<i>Calculados de dados não publicados:</i>						
BR 201	Sete Lagoas, MG	Irrigado, verão 1998/89		0,51		Coelho et al. (2001)
		Irrigado, verão 1989/90		0,49		
		Irrigado, verão 1990/91		0,47		
		Irrigado, inverno 1990		0,42		
		Irrigado, verão 1991/92		0,45		
		Irrigado, inverno 1989		0,46		
	Janaúba, MG	Irrigado, verão 1990/91		0,48		
		Irrigado, inverno 1991		0,48		
		Irrigado, verão 1991/92		0,53		
<i>Híbridos e Variedades:</i>						
Vários (12)	Sete Lagoas, MG			0,52		Monteiro et al. (1998)
	Curvelo, MG			0,48		
Vários	Quênia			0,1		Jain et al. (1976)
	Índia			0,34		
	Paquistão			0,38		
	EUA			0,43		
	Hungria			0,48		
	Iugoslávia			0,51		
	Espanha			0,53		
	Romênia			0,53		
Vários	Diferentes locais	Irrigado		0,58		Fairbourn et al. (1970)
		Irrigado		0,6		Raum et al. (1989)
		Irrigado		0,58		Voorshees et al. (1989)
		Não-irrigado		0,54		Peterson et al. (1989)

¹Condição: c1, ciclo normal; c2, ciclo precoce; c3, ciclo superprecoce; d1= 33 mil, d2= 55 mil, d3= 77 mil plantas/ha.

²Altura de planta (cm), aos 77 dias após semeadura.

Melhoria no rendimento geralmente pode ser atribuída ao melhoramento genético, mudanças nas práticas culturais, mudança climática e as interações entre esses fatores (Derieux et al., 1987; Tollenaar, 1989; Duvick, 1992). Entretanto, a contribuição relativa do ganho genético e os ganhos devido às influências agrônômicas e ambientais são difíceis de separar. Rendimentos máximos obtidos sob condições de campo representam um indicativo do rendimento genético potencial dos híbridos comerciais de milho. Em condições de fazenda, rendimento de 19,6 t/ha foi relatado por um produtor de milho em Illinois, EUA (Warsaw, 1985), e rendimento de 15,5 t/ha foi obtido em grandes parcelas experimentais em Ontario, CA (Stevenson, 1985).

O IC (determinado pela inclinação da linha que expressa o rendimento de grãos em função da matéria seca total) para o milho apresenta significativa variabilidade.

Jain et al. (1976) obtiveram IC para híbridos e variedades sintéticas de milho em oito países das regiões tropical e temperada, encontrando valores médios variando de 0,1 (Quênia) a 0,53 (Romênia). Dentre os valores constam 0,53 (Espanha), 0,51 (Iugoslávia), 0,48 (Hungria) e 0,43 (EUA). Dentre os menores valores relevantes relacionados, constam 0,38 (Paquistão) e 0,34 (Índia), apresentados na Tabela 1.

O máximo IC para o milho está próximo de 0,60, obtido em regiões temperadas, sendo: 0,60, (Raun et al., 1989); 0,58 (Fairbourn et al., 1970 e Voorshees et al., 1989). Para a cultivar BR 201, o máximo IC foi de 0,55 (Sete Lagoas, MG) e de 0,53 (Janaúba, MG), Tabela 1.

Efeito do ambiente no IC

A Figura 1 ilustra o efeito diferencial de rendimento entre cultivares e locais, confrontando com “linhas-padrão”, passando pela origem, e que representam diferentes inclinações, ou seja, diferentes

IC, resultantes de avaliações de cultivos de milho, sob condições determinadas.

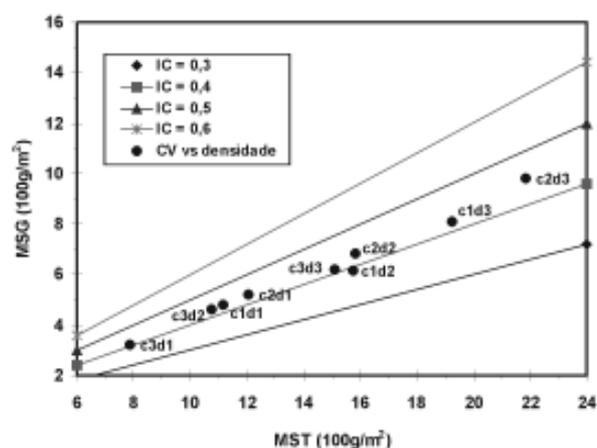


FIGURA 1. Produção de matéria seca de grãos (MSG) e matéria seca total (MST), em 100g/m², de cultivares de milho de diferentes ciclos de maturidade (c1- normal, c2- precoce, c3- superprecoce), em três densidades de cultivo (d1- 33 mil, d2- 55 mil, d3- 77 mil plantas/ha).

Para a cultivar normal (c1), IC com matéria seca total de 1.576 g/m² (IC = 0,39) foi menor do que com 1.114 g/m² (IC = 0,43). Observa-se que, entre cultivares, para os tratamentos que produziram quantidades semelhantes de matéria seca total (c1d2 = 1.576 g/m², c2d2 = 1.582 g/m², c3d3 = 1.511g/m²), resultaram IC diferentes, correspondendo a 0,39, 0,43 e 0,41, respectivamente (Figura 1). Estes resultados mostram que não é o tamanho da planta, mas a natureza do estresse que determina o IC. É o que se observa também em Stockle & Campbell (1985), ao relatarem que estresse hídrico, durante a polinização de milho, apresentou correlação negativa com IC, com alta significância (r=-0,99).

Tem-se observado que, geralmente, quando as densidades de plantas são aumentadas, especialmente acima do nível em que o rendimento de grãos é máximo, o IC decresce.

Plantas podem se adaptar para dessecação de um modo que preservam a produção de grãos.

Resultados experimentais têm mostrado que plantas pequenas, adaptadas para condições de estresse, resultam em altos (ou mais altos) IC que plantas maiores.

Os dados da Tabela 1 mostram, entretanto, que os maiores IC foram observados na cultivar superprecoce c3 (sobretudo nas menores densidades) e, nas menores densidades, para as cultivares normal c1 e precoce, c2.

Os dados evidenciam a pouca adaptação da cultivar superprecoce para plantio nas condições do experimento, bem como apontam maiores rendimentos de grãos e de matéria seca total para maiores populações de plantas por hectare.

Correlações entre IC em um local e rendimento de grãos em outro, obtidos experimentalmente, sugerem que medidas de IC em um ambiente não deve ter com rendimento de grãos em um ambiente diferente. Isto pode estabelecer que medidas de IC, isoladamente, não sejam úteis para pesquisadores e fitomelhoristas. Ao contrário, a caracterização do crescimento, em termos de como a matéria seca é particionada, deve continuar a ser um meio útil de avaliar a eficiência da produção de milho sob vários ambientes e sistemas de manejo. Esses comportamentos de plantas estabelecem, entretanto, que densidades e particularidades ambientais devem ser levadas em consideração, quando da avaliação da informação do IC.

Conclusões

Fatores ambientais que limitam a adaptação de cultivares de milho interferem, de forma significativa, no rendimento de grãos. Esse rendimento tende a ser limitado por processos que influenciam a oferta de assimilados no período de enchimento de grãos e/ou processos que controlam o desenvolvimento do grão-dreno.

Sendo a produção de grãos uma função da capacidade de produzir grandes quantidades de

matéria seca ou, alternativamente, da habilidade de dividir a matéria seca entre os órgãos e outras partes da planta, uma cultivar será eficiente quando combinar alta produção de matéria seca com a capacidade de dividi-la entre os componentes do rendimento econômico e dos demais componentes.

O índice de colheita não deve ser utilizado isoladamente para a seleção de cultivares de milho.

Literatura Citada

COELHO, A.M.; DURÃES, F.O.M.; MAGALHÃES, P.C.; FRANÇA, G.E.de. **Efeito de doses e parcelamento de potássio na eficiência de absorção e produção de milho sob condições irrigadas.** (Dados não publicados. Comunicação Pessoal, 2001).

CROSBIE, T.M. Changes in physiological traits associated with long-term breeding efforts to improve grain yield of maize. In: ANNUAL CORN AND SORGHUM CONFERENCE, 37., 1982, Chicago. **Proceedings...** Washington: American Seed Trade Association, 1982. p. 206-233. Edited by H. D. Loden; D. Wilkinson.

DERIEUX, M.; DARRIGRAND, M.; GALLAIS, A.; BARRIERE, Y.; BLOC, D.; MONTALANT, Y. 1987. Estimation du progress genetique realise chez le mais grain en France entre 1950 et 1985. **Agronomie**, Paris, v.7, p.1-11, 1987.

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.; 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**, São Carlos, v.5, n.1, p.90-91, 1993. Resumo 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.
- DUVICK, D.N. Genetic contributions to advances in yield of U.S. maize. **Maydica**, Bergamo, v.37, p.69-79, 1992.
- DUVICK, D.N. What is yield?. In: Edmeades, G.O et al. (Ed.) **Developing drought and low N-tolerant maize**. El Batan, Mexico: CIMMYT, 1997. p.332-335.
- DWYER, L.M.; TOLLENAAR, M. Genetic improvement in photosynthetic response of hybrid maize cultivars, 1959 to 1988. **Canadian Journal Plant Science**, Ottawa, v.69, p.81-91, 1989.
- FAIRBOURN, M.L.; KEMPER, R.W.D.; GARDNER, H.R. Effect of row spacing on evapotranspiration and yield of corn in a semi-arid environment. **Agronomy Journal**, Madison, v.72, p.795-797, 1970.
- JAIN, H.K.; MUKERJEE, B.K.; SINGH, R.D.; AGRAWAL, K.N. The present basis future possibilities of breeding for yield in maize. **Zeitschrift fur Pflanzenzuchtung**, Berlin, v.76, p.90-101, 1976.
- McCULLOUGH, D.E.; GIRARDIN, P.H.; MIHAJLOVIC, M.; AGUILERA, A.; TOLLENAAR, M. Influence of N supply on development and dry matter accumulation of an old and a new maize hybrid. **Canadian Journal Plant Science**, Ottawa, v.74, p.471-477, 1994.
- MONTEIRO, M.A.R.; DURÃES, F.O.M.; CRUZ, J.C.; OLIVEIRA, A.C. Índice de colheita; um forte conceito fisiológico de uso inadequado para seleção de cultivares de milho tropical. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 22., 1998, Recife. **Resumos ...** Recife: ABMS, 1998. CD-ROM.
- PENNING DE VRIES, F.W.T.; BRUNSTING, A.H.M.; LAAR, H.H. VAN; Products, requirements, and efficiency of biosynthesis: A quantitative approach. **Journal of Theoretical Biology**, London, v.45, p.339-377, 1994.
- PETERSON, G.A.; WESTFALL, D.G.; WOOD, C.W. **Crop and soil management in dryland agroecosystem**. Colorado State University, 1989. (Technical Bulletin, 89-3).
- PRIHAR, S.S.; STEWART, B.A. Using upper-bound slope through origin to estimate genetic harvest index. **Agronomy Journal**, Madison, v.82, p.1160-1165, 1990.
- RAUN, W.R.; SANDERS, D.H.; OLSON, R.A. Nitrogen fertilizer carries and their placement for minimum till corn under sprinkler irrigation. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, p.280-285, 1989.
- RUSSELL, W.A. Evaluations for plant, ear, and grain traits of maize cultivars representing different eras of breeding. **Maydica**, Bergamo, v.30, p.85-96, 1985.
- 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.
- STEVENSON, C.K. Maximum yield corn research. In: MUNSON R.D. (Ed.) **Physiology, biochemistry, and chemistry associated with maximum yield corn**. St. Louis: Potash Phosphate Lustritate, 1985. p.190-191.

- STOCKLE, C.; CAMPBELL, G. A simulation model for predicting effect of water stress on yield: An example using corn. **Advances in Irrigation**, New York, v.3, p.283-311, 1985.
- TEHLAN, R.S.; SINGH, R.K.; SHARMA, S.C. Impact of growth and dry matter production pattern on yield of wheat. In: INTERNATIONAL WHEAT GENETICS SYMPOSIUM, 5., 1979, New Delhi. **Proceedings...** New Delhi: Ludian Society of Genetics and Plant Breeding, 1979. p. 1004-1009.
- TOLLENAAR, M. Sink-source relationships during reproductive development in maize. A review. **Maydica**, Bergamo, v.22, p.49-75, 1977.
- TOLLENAAR, M. Genetic improvement in grain yield of commercial maize hybrids grown in Ontario from 1959 to 1988. **Crop Science**, Madison, v.29, p.1365-1371, 1989.
- TOLLENAAR, M.; DWYER, L.M. Physiology of maize. In: SMITH D.L.; HAMEL C. (Ed.) **Crop yield, physiology and processes**. New York: Springer, 1988. p.169-204.
- TOLLENAAR, M.; DWYER, L.M.; McCULLOUGH, D.E. Physiological basis of genetic improvement of corn. In: SLAFER G.A. (Ed.) **Genetic improvement of field crops**. New York: Marcel Dekker, 1994. p.183-236.
- VOORSHEES, W.B.; JOHNSON, J.F.; RANDALL, G.D.; NELSON, W.W. Corn growth and yield as affected by surface and sub-soil compaction. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, p.294-303, 1989.
- WARSAW, H. High yield corn production. In: MUNSON R.D. (Ed.) **Physiology, biochemistry, and chemistry associated with maximum yield corn**. St. Louis: Potash Phosphate Institute; 1985. p. 193-199.
- 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.