

POTENCIAL DE RENDIMENTO DE TRIGO: CARACTERÍSTICAS ECOFISIOLÓGICAS ASSOCIADAS COM PRODUÇÃO (ANÁLISE DO PERÍODO ENTRE 1940-1992)

Rodrigues, O.¹

Introdução

Quando se discute sobre potencial de rendimento de trigo, está implícita nessa discussão a ausência de restrições como água, nutrição, pragas, doenças, acamamento etc., à cultura para que esta possa expressar seu máximo potencial produtivo. Para tal propósito, várias ferramentas devem ser utilizadas, principalmente, quando se quer comparar o avanço do potencial de rendimento em função da introdução de cultivares em diferentes épocas. Nesse sentido, deve-se fazer uso de fungicidas, pois sua eficiência no controle de doenças do trigo, permite a expressão fenotípica de diferentes caracteres da planta e a expressão da produtividade dos genótipos (Moreira *et al.*,1978; Baier,1982). A nutrição também condiciona a expressão do potencial produtivo do trigo, seja pela melhor eficiência das cultivares no aproveitamento de nutrientes ou pelas condições do solo através da sua maior disponibilidade (Austin *et al.*,1980) decorrente da fertilidade natural ou pelo incremento elevado de macronutrientes (Kochhann,1982). Portanto, a nutrição não pode se constituir em fator de restrição e nem de favorecimento na comparação direta entre cultivares. A disponibilidade hídrica, com reflexo direto sobre a nutrição, também não pode ser um fator limitante, principalmente porque dependendo do estágio de desenvolvimento da cultivar, da intensidade e da velocidade em que ocorre, pode provocar efeito diferencial nos componentes de

¹ Pesquisador da Embrapa Trigo, Caixa Postal 451, 99001-970 Passo Fundo, RS. E-mail: osmar@cnpt.embrapa.br.

rendimento tendo reflexo negativo no rendimento de grãos (Rodrigues *et al.*,1998). O acamamento é outro fator importante que deve ser controlado quando se deseja estudar o potencial de rendimento de grãos em trigo, principalmente quando são usadas altas doses de nitrogênio, condição muito freqüente no manejo dos genótipos brasileiros (Muzzili & Hoepfner,1981). Para evitar o acamamento, o uso de proteção mecânica deve ser efetuado, possibilitando assim a comparação direta entre cultivares, sem restrição de nitrogênio e conseqüentemente sem reflexo negativo no potencial de rendimento.

Dessa forma, o potencial genético de produção pode ser manifestado, permitindo assim, desenvolver estudos de ganho genético, independentemente da interferência de outros fatores no melhoramento do potencial de rendimento. Estudos de ganho genéticos, cujo objetivo é determinar a contribuição do melhoramento vegetal para o avanço do potencial de produção de grãos, envolvendo comparação direta entre cultivares liberadas em diferentes épocas, deve ser realizado livre de confundimentos decorrentes de avanços tecnológicos ocorridos no período em estudo. Nesse sentido, o avanço no potencial de produção de grãos pode ser decorrente do ganho genético do potencial de produção de grãos, de outros ganhos genéticos (resistências a doenças, redução de acamamento, tolerância à estresse de ambiente) e ganhos tecnológicos ou de manejo (melhoria de máquinas e equipamentos, aumento na utilização de agroquímicos, decisões mais apropriadas de datas e densidade de semeadura)(Slafer & Satorre, 1994). Embora seja difícil separar essas influências, grande cuidado deve ser dispensado em estudos dessa natureza, com relação a práticas de manejo, condições de solo, controle de acamamento, controle de doenças e melhoramento tecnológico, que se modificaram ao longo do período analisado, para evitar tais confundimentos (Slafer & Andrade, 1991).

Estudos dessa natureza têm permitido conhecer as principais características morfológicas e fisiológicas determinantes desse potencial e desenvolver novos critérios de seleção, mais associados

ao incremento de rendimento (Duncan *et al.*,1978; Slafer & Andrade,1989; Tollenaar,1989 , 1991). Uma técnica que vem sendo utilizada com esse propósito, consiste em estudos comparativos entre cultivares liberadas em diferentes épocas, para entender as causas da variação no rendimento de grãos e os processos de crescimento que as produzem, principalmente em períodos críticos . Com esses propósitos, estudos em trigo têm sido desenvolvidos em vários países, entre os quais: Reino Unido (Austin *et al.*,1989), EUA (Decker *et al.*,1985; Cox *et al.*,1988), México (Waddington *et al.*,1986,1987), Austrália (Perry & D'Antuono, 1989; Siddique *et al.*,1989 a; 1989b) , Argentina (Slafer & Andrade, 1989 a; Slafer *et al.*,1990) , e também em outras culturas como: milho (Tollenaar, 1991), soja (Gay *et al.*,1980) e cevada (Wych & Rasmusson, 1983).

No Brasil, considerando o rendimento de grãos por unidade de área (Banco do Brasil-CTRIN), os dados indicam um incremento no rendimento de 16,2 kg/ha/ano no período entre 1962 a 1992. Esse aumento de produtividade nas últimas décadas, teve início a partir dos anos 70, com a introdução de cultivares de porte mais baixo, ciclo mais precoce e com maior potencial de rendimento, além da resistência ou tolerância às principais doenças (Relatório Interno – Melhoramento –CNPT-1991). Associado à introdução de novas cultivares mais produtivas, desenvolveu-se um manejo mais adequado de solos, de plantas daninhas, de doenças, de época e densidade de semeadura, de adubação, de rotação de culturas que, no conjunto, colocaram à disposição dos agricultores um potencial de rendimento para o trigo superior a 4.000 kg/ha. Nesse potencial, a introdução de cultivares modernas, têm desempenhado um papel fundamental no aumento da produtividade de trigo. No Sul do Brasil, ensaios realizados por Moreira *et al.*,(1982) comparando rendimento de grãos de cultivares novas e antigas de trigo, evidenciaram que os materiais mais antigos produziram 14% menos que a cultivar Nobre, (recomendada na década de 70) e que as cultivares lançadas mais recentemente superaram a Nobre em 22%, caracterizando o progresso ocorrido no programa de melhoramento. Resultados semelhantes foram obtidos por Torres *et al.*, (1982).

Nedel (1994), estudando genótipos de trigo liberados entre 1940 e 1992, demonstrou um ganho genético devido ao melhoramento de trigo no período, de 17,3 kg/ha/ano. Entretanto, mais importante do que separar ganho genético no potencial de rendimento de grão, de ganho tecnológico, é determinar quais foram as mudanças fisiológicas que estiveram mais associadas aos incrementos de rendimento de grãos, nesse intervalo de tempo. A partir dessas informações, torna-se possível estabelecer como tais características poderiam ser potencializadas pelo manejo e utilizadas como novo critério de seleção pelo melhoramento genético.

Com esses objetivos foram desenvolvidos estudos durante três anos no Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, EMBRAPA, em Passo Fundo, RS (28° 15'S, 52° 24'W e 684 m de altitude) para avaliar o impacto do melhoramento na produção de grãos de trigo, independentemente de acamamento e de resistência às doenças, para identificar características fisiológicas associadas com essas mudanças. Para tal, foram utilizadas doze cultivares de trigo, que tiveram expressão em área de cultivo num período de 52 anos (Frontana,1940; BH 1146,1955; IAC 5,1966; Nobre,1969; IAS 54,1970; CNT 8,1976; Minuano 82,1982; CEP 14-Tapes,1985; Trigo BR 23,1987; Trigo BR 35,1989; Embrapa 16,1992 e CEP 24-Industrial,1992). Nesse estudo, foram avaliados a produção biológica, a massa seca da espiga, a partição de biomassa, a produção de grãos, o índice de colheita, os componentes do rendimento e estádios ontogenéticos conforme Nerson et al.,(1980). Resultados desse estudo são discutidos, com o objetivo de fornecer uma análise das principais mudanças produzidas pelo melhoramento genético do trigo em alguns atributos fisiológicos associados com a produção de grãos no sul do Brasil.

Rendimento de grãos

Considerando o rendimento de grãos entre as cultivares lançadas entre 1940 a 1992 no Sul Brasil, observou-se que as

cultivares modernas apresentaram melhor desempenho do que as cultivares antigas. As mudanças no rendimento de grãos em função dos anos de lançamentos das cultivares foram descritas por modelo quadrático, $Y = 0,624 X^2 - 63,825X + 3982,6$ ($r = 0,69$ $p < 0,01$), onde Y representa o rendimento de grãos em Kg/ha e X o ano de lançamento das cultivares. Esta relação matemática, sugere a ocorrência de dois períodos bem distintos no melhoramento: um antes e outro após os anos 70. Tal comportamento diferencial, pode ser decorrente de estratégias distintas adotadas nesses períodos. Numa primeira fase, até próximo aos anos 70, o rendimento de grãos das cultivares introduzidas no mercado, foram iguais ou semelhantes às precedentes. A partir daí, as cultivares liberadas foram mais produtivas que as antecedentes. Uma possível explicação para o comportamento das cultivares lançadas nessa primeira fase, poderia ser atribuída ao maior esforço do melhoramento na seleção para resistência às doenças, para resistência ao acamamento, bem como ao alumínio, do que para o potencial de rendimento de grãos. Numa segunda fase, após os anos 70, aparentemente o critério usado pelo melhoramento foi de aumento no potencial de rendimento, associado às outras características de interesse. Comportamento semelhante foi observado em estudos similares na Inglaterra (Austin, 1980, 1989), na Nova Zelândia (McEvan & Crow 1979), na Argentina (Slafer & Andrade, 1989 a), no Canadá (Huncl & Baker, 1987), na Austrália (Perry & D'Antuono, 1989) entre outros (Slafer & Satorre, 1994). No sul do Brasil, comportamento semelhante também tem sido apontado (Nedel, 1994). Observa-se ainda, que o avanço no rendimento, a partir dos anos 70 não atingiu um limite, sugerindo que a eficiência dos programas de melhoramento pode e está sendo continuamente aumentada, com vistas ao potencial de rendimento.

Considerando apenas o período entre 1955 a 1992, no qual a análise de regressão linear entre o rendimento de grãos e anos de lançamento foi significativa ($r = 0,66$, $p < 0,01$), calculou-se um ganho genético de 30,3 kg/ha/ano. Resultados semelhantes foram obtidos por Nedel (1994), adotando-se o mesmo procedimento. Este ganho

genético, considerando o mesmo período abrangido pelo estudo, é inferior aos valores obtidos no México e na Nova Zelândia, mas superior a outros países (Slafer & Andrade, 1991). Comparando-se o ganho genético obtido no sul do Brasil, com os valores de ganho genético apresentado por Slafer & Andrade (1991), observa-se que independente de condições políticas, econômicas, de ambiente e culturais, os programas de melhoramento do sul Brasil foram tão ou mais efetivos do na Argentina, Austrália, Canadá, Inglaterra, Suécia e Estados Unidos da América.

No México, estudo realizado por Waddington *et al.*(1986), envolvendo cultivares liberadas entre 1950 a 1982, indicam um alto valor de ganho genético (58,4 Kg/ha/ano), bem superior aos valores obtidos pelos países acima citados. Este alto valor obtido no México, tem sido atribuído ao impacto do gene de nanismo(Rht) e ao grande investimento realizado pelo CIMMYT no melhoramento genético do trigo (Austin *et al.*,1989). Contudo, se for expressado, para efeito de comparação, o ganho genético como o percentual em relação a média do rendimento de grãos do experimento (ganho genético relativo-GGR), observa-se para o Sul do Brasil um valor de 1,05 % .ano⁻¹. Esse valor é bastante próximo aos valores de ganho genético relativo no México (0,90 % .ano⁻¹) conforme Slafer & Andrade(1991). No Brasil, coincidentemente a partir da década de 70, com a introdução da cultivar IAS 54 (com gene Rht) observou-se um avanço progressivo no potencial de rendimento, possivelmente decorrente do impacto desse gene.

Ganho genético e outros ganhos no rendimento de grãos

Nesta análise, seguindo a definição inicialmente apresentada, o ganho no potencial de rendimento de trigo é dividido em duas partes: a) ganho genético no potencial de produção de grãos e b) outros ganhos (melhoria de máquinas e equipamentos, aumento na utilização de agroquímicos, decisões mais apropriadas de datas e

densidade de sementeira, melhoramento genético na resistências/tolerância à adversidades químicas, biológicas e de ambiente). Para separação desses componentes foram utilizados dados sobre rendimento nas lavouras de trigo no Rio Grande de Sul, no período compreendido pelo estudo (CTRIN –Banco do Brasil). Esses dados, incluem o efeito do melhoramento genético, do melhoramento tecnológico e de ambiente. O efeito do ambiente nessa análise foi reduzido , uma vez que se usou a média móvel envolvendo um período de 4 anos. Para avaliação do efeito do melhoramento genético no potencial de rendimento, controlou-se o acamamento e as doenças nos ensaios durante todo o período de estudo, conforme já descrito.

Com base nos dados obtidos em lavouras do RS, calculou-se o ganho total no período entre 1955 a 1992 . Esse valor foi obtido através da análise de regressão entre a produtividade de grãos de trigo (média de 4 anos) e os correspondentes anos ao final de cada período. Nessa análise obteve-se um coeficiente correlação positivo ($r = 0,77$; $n = 10$ $p < 0.01$) e um coeficiente de regressão de 22,35 kg/ha/ano. A partir desses dados e utilizando-se o mesmo procedimento de Slafer & Andrade,(1991), foi possível calcular o ganho total relativo de 2,4 % . ano⁻¹ (% do ganho total em relação à médias de rendimento de grãos no período analisado - GTR). A diferença entre GTR e GGR (1,05 % . ano⁻¹) corresponde então a outros ganhos (1,35% .ano⁻¹). Dessa forma, a contribuição relativa do ganho genético e outros ganhos foi de 42% e 58% no potencial de rendimento de grãos do trigo, respectivamente. Apesar das dificuldades da referida análise para estimar a interação entre o melhoramento tecnológico e genético, das diferenças entre períodos e dos diferentes cultivares estudados , os valores de ganhos (genético e outros) obtidos por Slafer & Andrade (1991) na Argentina e por Jensen (1978) nos EUA, foram semelhantes aos obtidos para o Sul do Brasil.

Rendimento biológico e Índice de Colheita

Nos anos de estudos, as mudanças na produção biológica em função dos anos de liberação das cultivares, foi melhor descrita por um modelo quadrático ($r = 0,57$ $p < 0,01$). Por outro lado, a análise de regressão entre índice de colheita e anos de liberação das cultivares, revelou a inexistência de associação significativa ($r = 0,34$ n.s.). Considerando que a produção de grãos (uma parte do total de massa seca produzida pela cultura) foi melhorada geneticamente durante o período analisado e que o índice de colheita permaneceu quase inalterado, a maioria desse avanço na produção de grãos deve ter sido devida a mudanças relacionadas com a produção de biomassa total. Resultados semelhantes foram obtidos no México, em cultivares liberadas durante o período de 1950 a 1982 (Waddington *et al.* 1986). No Canadá, Hucl & Baker (1987), encontraram também um significativo e positivo coeficiente de correlação entre a biomassa na maturação e os anos de liberação das cultivares. Contudo, em outras situações, os maiores rendimentos de grãos estiveram associados a aumentos semelhantes na biomassa e no índice de colheita (Perry & D'Antuono, 1989). Por outro lado, a maioria dos estudos sobre a base fisiológica do melhoramento genético do rendimento de grãos em trigo, indicam que a biomassa na maturação não mudou substancialmente ao longo da história do melhoramento (Slafer & Satorre, 1994).

Com relação as variações no rendimento de grãos das cultivares, observou-se que no período em estudo, foram mais associadas a produção de biomassa total ($r = 0,74$ $p < 0,01$) do que ao índice de colheita ($r = 0,62$ $p < 0,01$).

O limite máximo de partição de fotoassimilados a órgãos reprodutivos (índice de colheita) que pode ser alcançado pelo melhoramento genético, está ao redor de 62% (Austin, 1980). Considerando esse limite, o aumento de biomassa poderia representar, para as nossas condições, uma possibilidade real de avanço no potencial de rendimento. Assim, a identificação e

exploração de genótipos com maior capacidade de produção de biomassa, pode ser um caminho para o futuro progresso no melhoramento genético do rendimento de grãos (Austin, 1980).

As bases fisiológicas para aumentar a produção de biomassa total, estão relacionadas com a interceptação de radiação fotossinteticamente ativa e a eficiência da sua conversão em biomassa (Gifford *et al.*, 1984). Dessa forma, nas condições do estado, onde freqüentemente experimentamos restrições hídricas durante o cultivo do trigo, a melhor forma de incrementar o rendimento de grãos seria aumentar a eficiência de conversão da radiação em biomassa, como sugerido por Deckerd *et al.*, (1985). Por outro lado, vários estudos têm apontado uma associação direta entre o aumento na produção biológica e a maior altura das cultivares (Hanson *et al.*, 1985 ; Brooking & Kirby, 1981), o que pode estar relacionado com a melhor distribuição da radiação no dossel da planta (Law *et al.*, 1978). Entretanto, cuidado deve ser tomado nessa estratégia de aumento do potencial de rendimento , uma vez que o aumento na estatura das plantas geralmente favorece o acamamento.

Produção de biomassa na antese

A massa seca total da parte aérea, acumulada até a antese e a taxa de crescimento entre os estádios de espiguetta terminal e antese, não foram correlacionadas com os anos de liberação das cultivares, indicando ausência de tendência no melhoramento em relação a estas variáveis. Dessa forma o aumento de biomassa total na maturação observado, deve-se fundamentalmente ao aumento no rendimento de grãos. Estes resultado, contrariam o conceito de que o melhoramento genético no rendimento de grãos avançou somente através da produção de mais grãos e menos palha, mantendo o rendimento biológico inalterado (Austin *et al.*, 1980; Donald & Hamblin, 1976; Gifford & Evans, 1981).

Partição de biomassa a antese

Dentro do aspecto de produção de biomassa, o período de pré-antese, que corresponde ao crescimento da espiga, têm sido apontado como principal determinante do rendimento de grãos em trigo (Fischer, 1985 & Kirby, 1988). Desse modo, avaliações da produção de massa seca de cultivares na antese, bem como sua partição à espiga, têm fornecido indicações da capacidade produtiva da planta. Nesse aspecto, Slafer & Andrade (1990), observaram que a partição de biomassa aérea à espiga, foi o fator mais afetado pelo melhoramento genético de trigo na Argentina no período entre 1912 a 1980. Dada a importância do período de pré-antese para o rendimento de grãos em trigo, algumas características fisiológicas associadas com esse período, foram analisadas na evolução das cultivares lançadas no Sul do Brasil no período entre 1940 a 1992. Nesse análise, observou-se que a diferença encontrada na massa seca das espigas na antese entre as cultivares estudadas foi relacionada com diferenças no nível de partição de biomassa entre os órgãos vegetativo e reprodutivo (partição de biomassa à espiga) ($r = 0,62$ $p < 0,01$) não havendo correlação significativa com a biomassa total acumulada até antese ($r = 0,07$ n.s.). Assim, o padrão de distribuição de biomassa entre os órgãos vegetativo e reprodutivos na antese podem estar condicionando à massa seca da espiga. Dessa forma, as variações no número de grãos por unidade de área e índice de colheita, podem estar associadas à massa seca de espigas e/ou à partição de biomassa à espiga, fato demonstrado pela associação positiva entre o número de grãos/m² e a massa seca de espigas na antese ($r = 0,58$ $p < 0,01$). Esta relação pode ser decorrente da produção de fotoassimilados em pré-antese e de sua translocação à espiga, determinando assim, o maior número de grãos (Fischer, 1980; Fischer & Stockman, 1986; Thorne & Wood, 1987). Portanto, é possível que o melhoramento genético de trigo afetou o rendimento de grãos através do seu efeito durante a pré-antese, refletindo diretamente na determinação do número de grãos/m². A correlação positiva e significativa observada, entre o

rendimento de grãos e massa seca de espigas na antese ($r = 0,51$; $p < 0,01$) e entre o índice de colheita (partição de biomassa à maturação) e partição de biomassa à espiga ($r = 0,76$ $p < 0,01$), reforçam tal possibilidade.

Considerando que a cultura do trigo parece ser mais limitada pela capacidade de produzir grãos (número de grãos/m²) do que pela sua capacidade para abastecer esses drenos (Fischer, 1985; McManey *et al.*, 1986), estratégias para potencializar o período de pré-antese assume grande importância. Vários estudos demonstram uma estreita relação entre a massa seca da espiga na antese e o número de grãos/m² (Fischer, 1985; Fischer & Stocmann, 1986 ; Savin & Slafer, 1991; Thorne & Wood, 1987 e Wall, 1979). Dessa maneira, o estabelecimento do número de grãos/m² parece depender da capacidade da planta em acumular massa seca e particioná-la às estruturas reprodutivas em pré-antese.

Durante o período de crescimento da espiga observa-se também um rápido crescimento do colmo e uma competição entre ambos por fotoassimilados, o que dependendo da competição, pode favorecer a uma maior disponibilidade de açúcar para a sobrevivência das flores e, conseqüentemente o estabelecimento dos drenos reprodutivos (Brookink & Kirby, 1981; Siddique *et al.*, 1989b; Stockmann *et al.*, 1983; Lendent, 1986; Slafer & Andrade, 1993). Considerando que a planta de trigo limitada principalmente pelos drenos reprodutivos, o período de crescimento da espiga próximo à antese, fornece uma indicação da capacidade da planta em estabelecer um determinado número de grãos. O desenvolvimento mais lento da espiga e um período cronológico de pré-antese maior pode ser responsável pela produção e sobrevivência de uma maior quantidade de espigas com maior número de grãos e também para uma produção suficiente de carboidratos para sustentar o crescimento de grãos adicionais (Waddington *et al.*, 1986).

Forte melhoramento no sincronismo do desenvolvimento da espiga e do pistilo na espiga pode também oferecer possibilidade para aumentar o número de grãos, além da influência dos genes de

nanismo (Rht). Estes genes parecem responsáveis por modificações no padrão morfogenético da espiga, resultando em maior número de grãos por espiguetas e com pouco efeito no número de espiguetas/espigas (Gale, 1979). Por outro lado, existe ainda dúvidas sobre o efeito dos genes de nanismo sobre a fertilidade da espiga, uma vez que têm-se observado um avanço no número de grão /espigas em genótipos possuidores do gene Rht, lançados em diferentes épocas (Waddington *et al.*, 1986).

Sendo o crescimento da espiga considerado um período crítico, a concentração de esforços para potencializar a disponibilidade de assimilados para a espiga em crescimento, representa uma estratégia eficiente na obtenção de altos rendimentos. Com relação à potencialização da quantidade de fotossintatos disponíveis para o crescimento da espiga, tem-se sugerido o uso da relação entre radiação e temperatura, conhecido como quociente fototérmico. Esse quociente integra o efeito da temperatura no tempo de duração do crescimento de cada órgão, com a quantidade de radiação recebida. Fischer (1985), utilizou-se do quociente em pré-antese para explicar diferenças no número de grãos/m², indicando-o como importante determinante da produção de grãos. Considerando que o quociente fototérmico é fixado pela posição geográfica, uma possibilidade para potencializar o crescimento da espiga nessa situação, seria assegurar uma coincidência desta fase com a maior relação fototérmica. Isso poderia ser obtido através de um planejamento da época de semeadura, com base na soma térmica, para que o estágio de crescimento da espiga seja coincidente com o máximo coeficiente fototérmico e índice de área foliar (Rawson, 1987). Nessa situação, estaríamos aumentando a eficiência de captação da radiação, porém, não parece ser o caminho mais racional, uma vez que alterações nas datas de semeaduras implicariam em maior risco à incidência de geadas, condição freqüente nas regiões de cultivo de trigo no estado do RS. Por outro lado, o aumento da conversão da radiação interceptada em massa seca parece se constituir num mecanismo mais racional. Para tal, têm sido indicado o uso de

cultivares com folhas mais estreitas e com entrenós mais curtos (Loomis & Williams, 1965), além do uso de variabilidade genética na eficiência de utilização da radiação interceptada para produzir massa seca (Green, 1989).

O aumento do período de crescimento da espiga, também poderia ser uma estratégia para aumentar a produção de massa seca da espiga. Nesse aspecto Midmore *et al.*, (1982), observaram que em cultivares sensíveis ao fotoperíodo, a duração do período entre espiguetas terminal a floração não foi alterado com o aumento da temperatura média. Contudo, em cultivares insensíveis ao fotoperíodo ocorre um aumento significativo desse período. Assim, apesar de que a sensibilidade ao fotoperíodo e vernalização ocorre na fase vegetativa, parece existir diferenças varietais na magnitude de resposta total ao fotoperíodo também na fase reprodutiva (Wall, 1979). Isso demonstra a possibilidade de uso da resposta fotoperiódica para se aumentar o período reprodutivo em pré-antese.

Componentes do rendimento de grãos

Com relação aos componentes de rendimento de grãos, observa-se que o número de grãos/m² foi significativamente associado com os anos de liberação dos cultivares ($r = 0,55$; $p < 0,01$). Uma vez que o melhoramento do potencial genético foi claramente associado com o maior estabelecimento de drenos, observou-se grande correlação entre o rendimento de grãos das cultivares em estudo com o número de grãos/m² ($r = 0,92$ $p < 0,01$). Esta alta associação também tem sido observada por outros autores (Slafer & Andrade, 1989; Waddington *et al.*, 1986; Cox *et al.*, 1988; Austin *et al.*, 1989; Siddique *et al.*, 1989a; Perry & D'Antouno, 1989; Slafer *et al.*, 1990). O número de grãos por m², por sua vez, foi mais associado com o número de grãos por espigas ($r = 0,78$ $p < 0,01$) do que com o número de espigas/m² ($r = 0,54$ $p < 0,01$). Assim, no Sul do Brasil, nos últimos 52 anos, o melhoramento genético para produção de grãos esteve relacionado à mudanças nos atributos fisiológicos incidente em pré-antese, nas cultivares modernas de

trigo.

Com relação peso de grãos não se observou associação positiva com os anos de liberação das cultivares ($r=0,06$ n.s.; $p < 0,05$) e com o rendimento de grãos durante o período estudado. Por outro lado, observou-se correlação negativa do peso de grãos com o número de grãos/m². Essa associação tem sido obtida freqüentemente entre cultivares modernas e seus antecessores (Waddington *et al.*, 1986, 1987; Perry & D'Antuono, 1989; Siddique *et al.*, 1989a; Slafer & Andrade, 1989a).

A associação negativa entre o número e o peso de grãos/m², apesar de ser óbvia, aparentemente possui duas causas. A primeira, refere-se à quantidade total de assimilados disponíveis para o crescimento dos grãos (fotossíntese corrente e reservas geradas na pré-antese), a qual não sendo suficientes para satisfazer a demanda para o completo crescimento dos grãos (Fischer & Aguilar, 1976) acarreta a redução do peso de todos os grãos. A segunda causa, diz respeito a produção adicional de mais grãos, decorrente de um maior estabelecimento de drenos reprodutivos, os quais, podem estar localizados na porção distal dentro das espiguetas centrais, e/ou se localizarem nas espiguetas das extremidades da espiga. Assim, como os grãos originários desses dois locais possuem menor potencial de peso, seu peso final será menor do que os localizados nas demais posições, independentemente da disponibilidade de assimilados para o seu crescimento. Nessa situação o peso médio dos grãos será menor.

Slafer & Andrade (1993) correlacionado o peso individual de grãos com o número de grãos/m², observaram que a redução do peso de grãos não foi resultado da compensação no aumento do número de grãos/m², observado nas cultivares modernas. Utilizando o mesmo procedimento de análise, para as cultivares liberadas durante o período de 1940 a 1992 no Sul do Brasil, semelhantes resultados foram observados. Esses resultados indicam que a demanda estabelecida para o crescimento dos grãos foi plenamente satisfeita nas cultivares antigas e modernas. Assim, é possível considerar o número de grãos por unidade de área como um indicador do potencial de rendimento de grãos. Essa forte associação entre o número de grãos por unidade de área e rendimento,

estaria indicando que o fornecimento de assimilados ao crescimento dos grãos (capacidade da fonte), em conjunto com as reservas acumuladas em órgãos vegetativos em pré-antese, foram suficientes para satisfazer a demanda dos grãos em crescimento (capacidade dos destinos). Dessa forma, estratégias de aumento de rendimento de grãos, deveria dirigir seus esforços no aumento do número de grãos, pois ao contrário do índice de colheita (Austin, 1980), não tem sido apontado um teto-limite para essa variável. Nesse sentido, o estágio de desenvolvimento do genótipo onde ocorre o máximo tamanho do órgão reprodutivo, tem sido apontado como um possível critério de seleção.

Conclusões e perspectivas

As mudanças produzidas no rendimento de grãos de trigo, nos últimos 52 anos foram devidas, principalmente a mudanças no rendimento biológico do que no índice de colheita, associados ao número de grãos por m^2 .

Considerando, os valores de índices de colheita atualmente obtidos, a estratégia para aumentar o rendimento de grãos poderia ser através do aumento da biomassa, que melhoraria a captação da radiação e a eficiência de conversão da radiação em matéria seca pela cultura.

O melhoramento genético do rendimento de grãos em trigo foi claramente associado ao período de pré-antese, afetando a produção de grãos através do aumento no número de grãos/ m^2 (maior número de destinos).

O número de grãos/ m^2 foi associado significativamente à massa seca da espiga na antese.

O aumento do período de crescimento da espiga, poderia ser um caminho para aumentar a produção de massa seca da espiga, que pode ser obtido através da adequação do período de crescimento da espiga a uma maior disponibilidade de radiação/temperatura.

O aumento da resistência ao frio, poderia permitir a

antecipação dos plantios e em conseqüência, aumento do período de crescimento da espiga, em cultivares insensíveis ao fotoperíodo.

A resposta ao fotoperíodo e a vernalização na etapa reprodutiva (crescimento da espiga), sugere o uso de tal resposta para aumentar o período de crescimento da espiga.

Estimativas de biomassa parecem estar mais próximas ao potencial de rendimento de grãos. Portanto, tais estimativas deveriam ser realizadas em estádios de desenvolvimento mais precoce, como no espigamento e na antese.

Referências Bibliográficas

- AUSTIN, R.B.; BINGHAM, J.; BLACKWELL, R.D.; EVANS, L.T.; FORD, M.A.; MORGAN, C.L.; TAYLOR, M. Genetic improvements in winter wheat yield since 1900 and associated physiological changes. **Journal of Agricultural Science**, v.94, p.675-689, 1980.
- AUSTIN, R.B.; FORD, M.A.; MORGAN, C.L. Genetic improvement in the yield of winter wheat: a further evaluation. **Journal of Agricultural Science**, v.112, p.295-301, 1989.
- BAIER, A.C. Eficiência de fungicidas e inseticidas em trigo e triticale. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, n.1, p.85-91, 1982.
- BROOKING, I.R.; KIRBY, E.J.M. Interrelationships between stem and ear development in winter wheat: the effect of Norin 10 dwarfing gene, Gai/rht2. **Journal of Agricultural Science**, v.97, p.373-381, 1981.
- COX, T.S.; SHROYER, J.P.; BEN-HUI, L.; SEARS, R.G.; MARTIN, T.J. Genetic improvement in agronomic traits of hard red winter wheat cultivars from 1919 to 1987. **Crop Science**, v.28, p.756-760, 1988.
- DECKERD, E.L.; BUSCH, R.H.; KOFOID, K.D. Physiological aspects of spring wheat improvement. In: HASPER, J.; SCRADER, L.; HOWEL, R., ed. **Exploitation of physiological and genetics variability to enhance crop productivity**. Madison: American Society Plant Physiologists, 1985. p.45-54.

- DONALD, C.M.; HAMBLIN, J. The biological yield and harvest index of cereal as agronomic and plant breeding criteria. **Advances in Agronomy**, v.28, p.361-405, 1976.
- DUNCAN, W.G.; McCLOUD, D.E.; MAcGRAW, R.L.; BOOTE, K.J. Physiological aspects of peanut yield improvement. **Crop Science**, v.18, p.1015-1020, 1978.
- FISCHER, R.A. Number of kernels in wheat crops and influence of solar radiation and temperature. **Journal of Agricultural Science**, v.105, p.447-461, 1985.
- FISCHER, R.A.; AGUILAR, I.M. Yield potential in a dwarf spring wheat and the effect of carbon dioxide fertilization. **Agronomy Journal**, v.68, p.749-752, 1976.
- FISCHER, R.A.; STOCKMAN, Y.M. Increased kernel number in Norin 10-derived dwarf wheat: evaluation of a cause. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.13, p.767-784, 1986.
- FRANCO, F.A.; CARVALHO, F.I.F. Progresso genético no rendimento do trigo e sua associação com diferentes caracteres sob variações ambientais. **Pesquisa Agropecuária**, v.22, n.3, p.311-321, 1987.
- GALE, M.D. The effects of Norin 10 dwarfing genes on yield. Proc. **Int.Wheat Genet. Symp.** 5th 1979:p.978-987,1979.
- GAY, S.; EGLI, D.B.; REICOSKY, D.A. Physiological aspects of yield improvement in soybeans. **Agronomy Journal**, v.72, p.387-391, 1980.
- GARDNER, F.P.; PEARCE, R.B.; MITCHELL, R.L. **Physiology of crop plants**. Ames: The Iowa State University, 1985. 327p.
- GIFFORD, R.M.; EVANS, L.T. Photosynthesis carbon partitioning and yield. **Annual Review of Plant Physiology**, v.32, p.495-509, 1981.
- GIFFORD, R.M.; THORNE, J.H.; ITZ, W.D.; GIAQUINTA, R.T. Crop productivity and photoassimilate partitioning. **Science**, v.225, p.801-808, 1984.
- GREEN, C.F. Genotypic difference in the growth of *Triticum aestivum* in relation to absorbed solar radiation. **Field Crops Research**, v.19, p.285-235, 1989.
- HANSON, P.R.; RIGGS, T.J.; KLOSE, S.J.; AUSTIN, R.B. High biomass genotype in spring barley. **Journal of Agricultural Science**, v.105, p.73-78, 1985.

- HUCL, R.; BAKER, R.J. A study of ancestral and modern Canadian spring wheat. **Canadian Journal of Plant Science**, v.67, p.87-97, 1987.
- JENSEN, N.F. Limit to growth in world food production. Ceiling for wheat yield are coming in developed countries. **Science**, v.201, p.317-320, 1978.
- KIRBY, E.J.M. Analysis of leaf, stem and ear growth in wheat from terminal spikelet stage to anthesis. **Field Crops Research**, v.18, p.127-140, 1988.
- KOCHHANN, R.A. Adubação da cultura do trigo. In: SEMINÁRIO SOBRE TECNOLOGIA DE TRIGO, 6., Montevideo, 1982. **Diálogo...** Montevideo: CIMMYT, 1982. p.23-48.
- LAW, C.N.; SNAPE, J.W.; WORLAND, A.J. The genetical relationship between height and yield in wheat. **Heredity**, v.40, p.133-151, 1978.
- LEDENT, J.F. Comparación entre cultivares antiguos y modernos, respecto a la relación entre mejoramiento de los rendimientos y caracteres morfológicos y fisiológicos. In: CONGRESO NACIONAL DE TRIGO, Pergamino, Argentina. **Actas....** Buenos Aires: INTA, 1986. Cap.5, p.97-113.
- LOOMIS, R.S.; WILLIAMS, W.A. Productivity and morphology of crop stands: patterns with leaves. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY. **Physiological aspects of crop yield** ., 1969. p.27-47.
- McEWAN, J.M.; CROSS, R.J. Evolutionary changes in New Zealand wheat cultivars. In: INTERNATIONAL WHEAT GENETIC SYMPOSIUM, 5., 1979, New Delhi, India. **Proceedings.**, p.198-201.
- MACMANEY, M.; DIAZ, M.; SIMON, C.; GIOIA, A.; SLAFER, G.A.; ANDRADE, F.H. Respuesta a la reducción de la capacidad fotosintética durante el llenado de granos en trigo. In: CONGRESO NACIONAL DE TRIGO, Pergamino, Argentina. **Actas....** Buenos Aires: INTA, 1986. p.178-190.
- MEDEIROS, C.M.; SHLEHUBER, A.M. Produção de grãos e componentes das produções de certas variedades Brasileiras de Trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.6, p.45-52, 1971.

- MIDMORE, D.J.; CARTWRIGHT, P.M.; FISCHER, R.A. Wheat in tropical environments. 1-phasid development and spike size. **Field Crops Research**, v.5, p.198-200,1982.
- MOREIRA, J.C.S.; IGNACZAK, J.C.;MEDEIROS, M.C.; SOUZA, C.N.A.; DOTTO, S.R. Reação de cultivares de trigo ao tratamento fitossanitário. In. REUNIÃO CONJUNTA DE PESQUISA DE TRIGO, 10., Porto Alegre, 1978. **Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1978. p.25-38.
- MOREIRA, J.C.S.; MEDEIROS, M.C.; SCHLEHUBER, A.M. Estudo de correlações entre ensaios de variedades de trigo realizados no Rio Grande do Sul, Brasil, nos anos de 1966,1967 e 1968. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.6, p.53-56, 1971.
- MOREIRA, J.C.S.; SOUZA, C.N.A.; MEDEIROS, M.C. Avaliação do progresso na criação de cultivares de trigo. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE TRIGO, 12., Cascavel, 1982. **Resumo e Comunicado Técnico...** Cascavel: OCEPAR, 1982. p.159-161.
- MUZILLI, O.; HOEPFNER, M.A. Adubação mineral do trigo no Estado do Paraná. In. IAPAR (Londrina, PR). **Cultura do trigo no estado do Paraná**. Londrina, 1981. p.35-56. (IAPAR. Circular 22).
- NEDEL, J.L. Progresso genético no rendimento de grãos de cultivares de trigo lançadas para cultivo entre 1940 e 1992. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29 ,n.10, p.1565-1570, 1994.
- NERSON, H.; SIBONY, M.; PINTHUS, J.M. A scale for the assessment of the developmental stage of the wheat spike **Annals of Botany**, v.45, p.203-204, 1980.
- PERRY, M.W.; D'ANTUONO, M.F. Yield improvement and associated characteristics of some Australian spring wheat cultivars introduced between 1960 and 1982. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.40, p.457-472, 1989.
- RAWSON, H.M. Effects of high temperature on the development and yield of wheat and practices to reduce deleterious effects. In: KLATT, A.R., ed. **Wheat production constraints in tropical environment**. Chiang Mai, Thailand, EDITORA, 1987. p.44-62.
- RELATÓRIO INTERNO DO CNPT-Genética e Melhoramento.[s.l.: s.n., s.d.] 34p.**

- RODRIGUES, O.; LHAMBY, J.C.B.; DIDONET, A.D.; MARCHESE, J.A.; SCIPIONI, C. Efeito da deficiência hídrica na produção de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.6,p.839-846,1998.
- SAVIN, R.; SLAFER, G.A. Shading effects on the yield of an Argentinian wheat cultivar. **Journal of Agricultural Science**, v.116, p.1-7, 1991.
- SIDDIQUE, K.H.M.; BELFORD, R.K.; PERRY, M.W.; TENNANT, D. Growth, development and light interception of old and modern wheat cultivars in a Mediterranean-type environment. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.40, p.473-487, 1989a.
- SIDDIQUE, K.H.M.; KIRBY, E.I.M.; PERRY, M.W. Ear:stem ratio in old and modern wheat varieties; relationship with improvement in number of grain per ear and yield. **Field Crops Research**, v.26, p.59-78, 1989b.
- SLAFER, G.A.; ANDRADE, F.H. Genetic improvement in bread wheat (*T.aestivum*) yield in Argentina. **Field Crops Research**, v.21, p.289-296, 1989.
- SLAFER, G.A.; ANDRADE, F.H. Changes in physiological attributes of the dry matter economy of bread wheat (*Triticum aestivum*) through genetic improvement of grain yield potential at different regions of the world. **Euphytica**, v.58, p.37-49, 1991.
- SLAFER, G.A.; ANDRADE, F.H. Physiological attributes related to the generation of grain yield in bread wheat cultivars released at different eras. **Field Crops Research**, v.31, p.351-367, 1993.
- SLAFER, A.G.; ANDRADE, F.H.; SATORRE, E.H. Genetic-improvement effects on pré-anthesis physiological attributes related to grain-yield. **Field Crops Research**, v.23, p.255-263, 1990.
- SLAFER, G.A.; SATORRE, E.H. Increase in grain yield in bread wheat from breeding and associated physiological changes. In: SLAFER, G.A., ed. **Genetic improvement of field crops**. New York: Marcel Decker, 1994. p.1-68.
- STOCKMAN, Y.M.; FISCHER, R.A.; BRITTAIN, E.G. Assimilate supply and floret development within the spike of wheat. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.10, p.585-594, 1983.

- TAVELLA, C.M.; SOUZA, P.G.; LAZZAROTTO, C. Rendimento de grãos de cultivares e linhagens de trigo e algumas características anatômicas e fisiológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.22, n.1, p.59-61, 1987.
- THORNE, G.N.; WOOD, D.W. Effects of radiation and temperature on tiller survival, grain number and grain yield in winter wheat. **Annals of Botany**, v.59, p.413-426, 1987.
- TOLLENAAR, M. Genetic improvement in the grain yield commercial maize hybrids grown in Ontario from 1959 to 1988. **Crop Science**, v.29, p.1365-1373, 1989.
- TOLLENAAR, M. Physiological basis of genetic improvement of maize hybrids in Ontario from 1959 to 1988. **Crop Science**, v.31, p. 119-124, 1991.
- TORRES, L.A.M.; MATZENBACKER, R.G.; SVOBODA, L.H.; MOR, M.J. Ensaio comparativo de rendimento de grãos entre cultivares de trigo antigos e novos. In: **FECOTRIGO (Cruz Alta, RS). Contribuição do C.E.P. a XII Reunião Nacional de Pesquisa de Trigo**. Cruz Alta, 1982. p.36-41. Trabalho apresentado na XII Reunião Nacional de Pesquisa de Trigo, Cascavel, 1982.
- WADDINGTON, S.R.; RANSOM, J.K.; OSMANZAI, M.; SAUDERS, D.A. Improvement in the yield potential of bread wheat adapted to northwest Mexico. **Crop Science**, v.26, p.698-703, 1986.
- WADDINGTON, S.R.; OSMANZAI, M.Y.; RANSOM, J.K. The yield of durum wheats released in Mexico between 1960 and 1984. **Journal of Agricultural Science**, v.108, p.469-477, 1987.
- WALL, P.C. **An analysis of factors limiting grain numbers and yield of spring wheat in low-latitude environment**. Reading: University of Reading, 1979. 135p. Ph.D. Thesis
- WYCH, R.D.; RASMUSSEN, D.C. Genetic improvement in malting barley cultivars since 1920. **Crop Science**, v.23, p.1037-1040, 1983.