

MELHORAMENTO GENÉTICO DO ARROZ: EXPLORAÇÃO DA HETEROSE NO DESENVOLVIMENTO DE CULTIVARES

Péricles de Carvalho Ferreira Neves
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
pericles@cnpaf.embrapa.br

Resumo

O arroz é alimento básico para mais da metade da população mundial, com mais de 90% de sua produção de 467 milhões de toneladas concentrada na Ásia. Fora da Ásia, o Brasil é o principal produtor com 11,26 milhões de toneladas. O Rio Grande do Sul é o Estado maior produtor de arroz no Brasil, com 61,5% da produção nacional. Na China, os híbridos ocupam 18,6 milhões de ha, ou 63,2 % da área cultivada com arroz, com ganho médio de 30,8 % em relação às cultivares convencionais. Assim, têm sido vistos como uma das principais ferramentas para solucionar a crescente demanda de arroz. Em função do seu sucesso na China, outros países passaram a adotar seu cultivo. No Brasil as pesquisas começaram em 1985, com a cooperação da Embrapa com o IRAT, atual Cirad. Em 2003 foi lançado o primeiro híbrido pela empresa RiceTec, ano em que começaram as pesquisas do IRGA em colaboração com a Fazenda Ana Paula e o Instituto de Pesquisa de Arroz de Hunan, na China. São grandes os desafios para adaptar a tecnologia chinesa ao cultivo extensivo e preferências de mercado brasileiros. As soluções vão desde a estratégia para produção de sementes até as metodologias do melhoramento genético. A Embrapa e o Cirad optaram pelo melhoramento de genitores por seleção recorrente. A alta qualidade de grãos, nos padrões do mercado brasileiro e internacional, inicialmente de difícil obtenção, já está presente em híbridos comerciais. Desse modo, a tecnologia de híbridos, que representava alternativa para superar em produtividade as cultivares convencionais, pela impossibilidade de reutilizar suas sementes passa a ser também atraente como proteção de direitos sobre novas tecnologias genéticas. Novos genes são integrados nos melhores híbridos, com destaque para aqueles que conferem tolerância a herbicidas.

1. Introdução

O arroz é o segundo cereal mais produzido no mundo, e a cultura mais importante para a segurança alimentar. É alimento básico para mais da metade da população mundial, com 90% de sua produção, de 467 milhões de toneladas em 2010, concentrada em seis países asiáticos: China, Índia, Indonésia, Bangladesh, Vietnã e Tailândia, com China e Índia produzindo mais da metade de todo o arroz no mundo (FAO, 2010). Fora da Ásia, o Brasil é o principal produtor, seguido dos Estados Unidos.

No Brasil, o arroz é cultivado em todas as regiões, produzindo 11,26 milhões de toneladas em 2,765 milhões de ha. O consumo, entretanto, tem superado a produção em 0,94 toneladas (CONAB, 2010). Cultiva-se o arroz em dois sistemas: Irrigado em várzeas inundadas e Terras Altas. O Rio Grande do Sul é o maior produtor de arroz irrigado do Brasil, com 61,5% da produção nacional em cerca de 1.080 mil hectares, e produtividade média de 6,4 ton.ha⁻¹. É seguido por Santa Catarina, com média de 7,06 ton.ha⁻¹ em 149,7 mil ha. Em terras altas, Mato Grosso é o maior produtor, com 742,7 mil toneladas, porém com produtividade média de 3,008 ton.ha⁻¹ (CONAB, 2010). Um dos principais desafios do

melhoramento genético tem sido aumentar a produtividade do arroz em ambos os sistemas. No país, a partir da década 1980, os ganhos em produtividade do arroz têm sido pequenos e derivados, de modo geral, mais do aumento do uso de insumos e outras tecnologias que do crescimento do potencial genético (Santos et al., 1999; Castro et al., 1999). Híbridos de arroz, que têm apresentado ganho médio de 30.8 % em relação a cultivares linhagens convencionais (Li et al. 2009), têm sido vistos como solução para o aumento sustentável da produtividade.

2. Heterose em arroz

O vigor híbrido é relatado em arroz desde 1926, quando Jones (1926) observou que alguns híbridos F_1 tinham mais colmos e produtividade que seus pais. Durante os 35 anos seguintes, vários outros pesquisadores também confirmaram sua ocorrência (Virmani, 1994), embora não houvesse interesse em sua exploração comercial. Os relatos de heterose, e heterobeltiose, vão desde os componentes da produtividade, como grãos por panícula, peso de grãos e panículas por planta, a outras características agrônômicas, sendo geralmente positiva para altura de planta, vigor vegetativo, tolerância à salinidade, ao déficit hídrico e à submergência na água, e negativa para ciclo vegetativo (Virmani, 1994). Os valores, entretanto, são altamente dependentes dos genitores envolvidos.

Duas hipóteses têm dominado o debate em torno da base genética da heterose: a dominância e a sobredominância. A primeira (Davenport, 1908; Bruce, 1910; Keeble and Pellew, 1910 e Jones, 1917), supõe que a heterose é devida ao cancelamento, no híbrido F_1 , de recessivos deletérios de um genitor pelos alelos dominantes do outro. A sobredominância, por seu turno (Shull, 1908 e East, 1908), assume que a combinação heterozigota de alelos é superior a ambas combinações homozigotas no mesmo locus. Estudo conduzido por Xiao et al. (1995) com uso de mapas moleculares de ligação, permitiu a análise individual de loci envolvidos na heterose para produtividade em arroz. Obteve-se o contrário dos resultados obtidos com marcadores moleculares em milho, por Stuber et al. (1992), onde os heterozigotos da maioria dos QTLs detectados tinham maior valor fenotípico que ambos homozigotos, e assim sugerindo que a sobredominância é o principal fator controlando a heterose em espécies de polinização aberta. Em arroz, o vigor de um dos mais produtivos híbridos entre as subspecies *indica* e *japonica* foi predominantemente devido à dominância complementar entre os QTLs estudados. Nesse caso os heterozigotos estavam sempre entre os valores de ambos homozigotos.

3. Exploração comercial da heterose em arroz

Os relatos da literatura concluem pela existência de significativa heterose, que poderia ser explorada comercialmente com o desenvolvimento de híbridos F_1 . Na década de 1960 surgiram sugestões de exploração comercial na Índia (Richharia, 1962), EUA (Stansel e Craigmiles, 1966), Japão (Shinjyo e Omura, 1966) e China (Yuan, 1966). Entretanto, os pesquisadores chineses foram os primeiros a buscar aplicação prática da heterose, sendo a maior causa a dificuldade de produzir grande quantidade de sementes. A produção de sementes F_1 em grande escala só foi possível com o uso do sistema genético citoplasmático (CMS) de esterilidade masculina, controlado pela interação de genes do citoplasma e do núcleo. A presença de genes nucleares homozigotos recessivos para restauração da fertilidade, associados a fatores genéticos do citoplasma torna a planta macho-estéril. Esse tipo de esterilidade foi primeiramente relatada em arroz por Sampath e Mohanty (1954). O

fator genético no citoplasma é considerado parte do DNA mitocondrial (Virmani, 1994). A planta homocigota recessiva para esses genes, na ausência do citoplasma indutor da esterilidade, é designada mantenedora. Possuindo gene restaurador dominante, com ou sem o citoplasma macho-estéril, a planta restaurará a fertilidade do híbrido derivado do cruzamento com uma planta CMS, e essa planta é denominada restauradora. A linhagem macho-estéril é mantida e multiplicada por cruzamento com a linhagem isonuclear mantenedora. Híbridos F_1 comerciais são produzidos pelo cruzamento de uma linhagem macho-estéril com uma restauradora apropriada. Várias fontes de citoplasma, no sistema genético citoplasmático de esterilidade masculina, são conhecidas na China, identificadas arbitrariamente pelo nome da linhagem onde foi encontrada. Dentre elas, Virmani (1994) lista 35 citoplasmas. Entretanto, o mais disseminado tem sido o cms-WA, encontrado em *O. sativa f. spontanea*, linhagem "wild abortive" (Lin e Yuan, 1980). Para a produção de sementes F_1 , outros sistemas foram desenvolvidos, destacando-se o PGMS (Photoperiod-Sensitive Genetic Male Sterility) e o TGMS (Thermosensitive Genetic Male Sterility), conhecidos como sistemas de duas linhagens. Esses sistemas ofereceriam várias vantagens sobre o de três linhagens, destacando-se o baixo custo da produção de sementes e aceleração do processo de melhoramento. O primeiro, detectado em 1973 na cultivar Nong-ken 58 (Shi, 1981), é caracterizado pelo comportamento de macho-esterilidade quando a planta floresce sob períodos de dias longos, voltando a ser macho-férteis sob dias curtos. O grau de macho-esterilidade foi de 99 a 100% quando a floração ocorria sob luz artificial de mais de 14h, mas as plantas se tornavam macho-férteis com luz artificial de menos de 13h 45 min (Lu e Wang, 1988). A instabilidade da esterilidade masculina, altamente afetada pela temperatura ambiente, tem restringido o uso desse sistema. O gene TGMS, relatado primeiramente por pesquisadores do Japão (Maruyama et al. 1991), foi uma mutação induzida por 20 kr de raios gama na variedade japonesa Ramei. O mutante não produzia sementes entre 24 e 31°C, era parcialmente fértil quando a temperatura variava de 21 a 28°C, mas completamente fértil com temperaturas entre 15 e 25°C. Esse sistema também tem encontrado pouco uso, em decorrência da imprevisibilidade na variação na temperatura durante a floração das plantas.

O advento da esterilidade masculina permitiu que híbridos F_1 pudessem ser cultivados na China desde 1976 (Lin e Yuan, 1980), incrementando a produção nacional em mais de 200 milhões de toneladas até 1991, quando passou a ser cultivado em 55% da área (Yuan, 1992). Em 2008, os híbridos ocuparam cerca de 63.2% da área cultivada com arroz, ou 18,6 milhões de ha, com ganhos de produtividade que chegaram a 53% (Li et al., 2009). Nos últimos anos outros países também passaram a utilizar, em escala comercial, a tecnologia dos híbridos. Além dos EUA, em 2007 foi registrado seu cultivo em Bangladesh (300 mil ha), Índia (1,1 milhões de ha), Indonésia (130 mil ha), Filipinas (341 mil ha) e Vietnã (650 mil ha) (Xie, 2008). Desde 2003 híbridos são lançados anualmente e cultivados na América Latina, incluindo o Brasil (RICETEC, 2010). Os híbridos ocupam atualmente 3,16 % da área arrozeira do Rio Grande do Sul, ou cerca de 34.000 ha (IRGA, 2010).

No Brasil, o primeiro programa de pesquisas para a criação de híbridos de arroz foi estabelecido em 1985, como colaboração entre a Embrapa e o "Institut de Recherches en Agronomie Tropicale – IRAT", da França. Os avanços desse trabalho incentivaram o engajamento de diferentes instituições da região, que, com o apoio da FAO, estabeleceram na Embrapa Arroz e Feijão, em 1994, o Grupo de Trabalho em Híbridos de Arroz para a América Latina e Caribe. Embora as atividades desse grupo não tenham se expandido, foi vislumbrada a importância que as cultivares híbridas alcançariam na orizicultura. Recentemente, em 2004, foi reestabelecida a pesquisa conjunta da Embrapa com a parte

francesa, agora “Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement - Cirad”, ao mesmo tempo em que novas iniciativas aportaram no país. O primeiro híbrido de arroz foi lançado no mercado brasileiro pela empresa RiceTec em 2003, o Avaxi (RICETEC, 2010), que desde então se esmera no lançamento de cultivares mais adaptadas ao mercado. Naquele ano foi estabelecida a colaboração do Instituto Riograndense do Arroz (IRGA) com a Fazenda Ana Paula e o Instituto de Pesquisa de Arroz de Hunan, na China, visando o melhoramento genético de híbridos (Arroz, 2003). E em 2009, a empresa Bayer anunciou a parceria técnica com o IRGA e Fazenda Ana Paula para viabilizar a produção e comercialização de um híbrido de arroz.

Programa de pesquisa Embrapa - Cirad

A tecnologia dos híbridos chineses é pouco adaptada às exigências da agricultura extensiva brasileira. A produção de sementes em pequenas áreas, de cerca de 500 m², altamente dependente de acompanhamento pelo agricultor em todas as fases de desenvolvimento da planta, o grão glutinoso, e a dependência de genitores previamente desenvolvidos com boa performance em condições locais, exigiram novas estratégias. As mais importantes são a produção de sementes em condições de Terras Altas em baixas latitudes, independente do sistema recomendado para o cultivo do híbrido, e o melhoramento genético de genitores por seleção recorrente. No primeiro caso, as principais vantagens são: a ausência das taipas comuns em áreas de arroz irrigado, o que permite a mecanização eficiente do plantio à colheita; a redução do custo da produção, pela ausência de gastos com irrigação; ausência de arroz vermelho, erva daninha com piores e crescentes efeitos na agricultura do arroz irrigado, especialmente no Rio Grande do Sul; e aumento na produtividade de sementes, devido à melhor sincronização da floração entre os genitores do híbrido. Já no melhoramento genético, o sucesso do melhoramento populacional por seleção recorrente foi amplamente demonstrado na criação de linhagens superiores em arroz (Breseghello et al., 2009). Assim, desenvolvem-se populações independentes objetivando a criação de linhagens mantenedoras e restauradores, no sistema de híbridos de três linhagens. Os resultados indicam a possibilidade de melhoramento de genitores com ganhos genéticos crescentes na Capacidade de Combinação (Neves et al., 2009). Com base nessas premissas, foi lançado em 2010, para o Rio Grande do Sul, o primeiro híbrido de arroz da colaboração Embrapa-Cirad, o BRSCIRAD 302, atendendo a todos os elos da cadeia produtiva, com destaque para a alta qualidade do grão, em termos de dimensões, cocção, teor de amilose, temperatura de gelatinização, gosto e cheiro, e heterose padrão de 9 a 16%.

Programa de pesquisa IRGA – Fazenda Ana Paula

O maior desafio do programa de melhoramento da colaboração IRGA - Fazenda Ana Paula tem sido obter híbridos com aspecto de grãos similar às cultivares convencionais existentes no mercado e com heterose padrão de 20% (Rosso, comunicação pessoal). Houve grandes avanços desde o início do programa, e, entre os últimos híbridos, vários apresentam grãos com o aspecto desejado. Dentre os melhores há híbridos com produtividade média de 11,1 ton.ha⁻¹ e heterose padrão em torno de 15%. O programa de pesquisa também é conduzido no sistema de três linhagens, com ensaios em Goiás, Alagoas e todo o Estado do Rio Grande do Sul (Rosso et al., 2009).

4. Considerações finais

Os híbridos de arroz, considerados inicialmente como alternativa para superar o rendimento das cultivares linhagens, têm atraído renovado interesse. Em razão da impossibilidade de reutilização das sementes, possuem a grande vantagem da proteção de direitos sobre novas tecnologias genéticas. Desse modo, novos genes que conferem tolerância a herbicidas, melhor qualidade de grãos, resistência a pragas e doenças, dentre outros, são introduzidos nos melhores híbridos. No Brasil já são disponíveis híbridos RiceTec com tolerância a herbicidas do grupo das imidazolinonas. As empresas públicas deverão seguir a tendência, e se associar com outras empresas públicas ou privadas que detêm as tecnologias.

O sucesso dos híbridos na agricultura mundial têm levado à expectativa de que eles dominem as regiões relevantes para a produção de arroz. Nesse contexto, pode-se esperar o maior envolvimento das instituições de pesquisa, tanto públicas quanto privadas, no desenvolvimento de cultivares híbridas.

Agradecimentos

Agradecemos ao Dr. Antônio Folgiarini de Rosso (IRGA), Dr. James Emile Taillebois (Cirad) e Dr. Ricardo Scherer (Fazenda Ana Paula), pela colaboração na elaboração deste artigo.

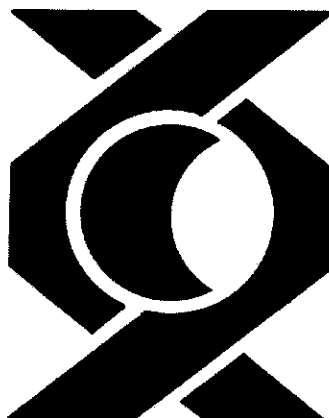
Referências

- ARROZ Híbrido: Irga - Fazenda Ana Paula: produtividade e qualidade no mesmo prato. Porto Alegre: Irga, [2003?]. 1 folder.
- Breseghele, F.; Morais, O. P.; Castro, E. M.; Prabhu, A. S.; Bassinello, P. Z.; Pereira, J. A.; Utumi, M. M.; Ferreira, M. E.; Soares, A. A. 2009. Recurrent selection resulted in rapid genetic gain for upland rice in Brazil. *IRRN*, 34:1-4.
- Bruce, A. B. 1910. The Mendelian theory of heredity and the augmentation of vigor. *Science*, 32: 627-628.
- Castro, E. M.; Breseghele, F.; Rangel, P.H.; Moraes, O. P. 1999. Melhoramento do arroz. In: Borém, A. (Ed.) Melhoramento de espécies cultivadas. UFV, Viçosa, p. 95-130.
- CONAB. 2010. 12º Levantamento da safra de grãos. (<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/7e05515f8222082610088f5a2376c6af.pdf>, acessado em 23/09/2010).
- Davenport, C. B. 1908. Degeneration, albinism and inbreeding. *Science*, 28: 454-455.
- East, E. M. 1908. Inbreeding in corn. Reports of the Connecticut Agricultural Experiment Station for years 1907-1908, 419-428.
- FAO. 2010. (<http://www.fao.org/news/story/pt/item/44618/icode/en/>, acessado em 23/09/2010).
- Xie, F. 2008. IRRI's Role in Development Tropic Hybrid Rice. (http://hrdc.irri.org/images/5thHybridRiceSymposiumPresentations/5.%20fangming%20xie_irri%27s%20role%20in%20developing%20tropic%20hybrid%20rice.pdf, acessado em 23/09/2010).
- IRGA. 2010. Cultivares – Safra 09/10. (http://www.irga.rs.gov.br/index.php?action=dados_safra_detalhes&cod_dica=277, acessado em 23/09/2010).
- Jones, D. F. 1917. Dominance of linked factors as a means of accounting for heterosis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 3: 310-312.
- Jones, J. W. 1926. Hybrid vigor in rice. *J. Am. Soc. Agron.*, 18:423-428.
- Keeble, F.; Pellew, C. 1910. The mode of inheritance of stature and of time of flowering in peas (*Pisum sativum*). *J. Genetics*, 1:47-56.

- Lin, S. C.; Yuan, L. P. 1980. Hybrid rice breeding in China. *In: Innovative approaches to rice breeding*. International Rice Research Institute, P.O.Box 933, Manila, Philippines.
- Li, J.; Xin, Y.; Yuan, L. 2009. Hybrid rice technology development. Ensuring China's food security. (<http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/ifpridp00918.pdf>, acessado em 23/09/2010).
- Lu, X.; Wang, J. 1988. Fertility transformation and genetic behavior of Hubei photoperiod-genetic sensitive genetic male sterile rice. *In: Hybrid rice. Proc. Int. Symp. on Hybrid rice, Changsha, Hunan, China, 6-10 de outubro de 1986*. IRRI, Manila, Philippines. p. 129-138.
- Maruyama, K.; Araki, H.; Kato, H. 1991. Thermosensitive genetic male sterility induced by irradiation. *In: Rice genetics II*. IRRI, Manila, Philippines. p. 227-232.
- Neves, P. de C. F.; Taillebois, J.; Moura Neto, F. P. 2009. Variação da habilidade combinatoria em população mantenedora para o desenvolvimento de linhagens A em arroz. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 6., 2009, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: IRGA, 2009. p. 96-99.*
- RiceTec, 2010. <http://www.ricetec.com.br/america.php> (acessado em 23/09/2010).
- Riccharia, R. H. 1962. Clonal propagation as a practical means for exploiting hybrid vigor in rice. *Nature*, London, 194:598.
- Rosso, A. F.; Scherer, R.; Wang, L.; Yuntian, W.; Dongqi, Y.; Leal, C. E. B. 2009. Programa de melhoramento de arroz híbrido da parceria Instituto Riograndense do Arroz / Fazenda Ana Paula, safra 2007/2008. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 6., 2009, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: IRGA, 2009. p. 100-103.*
- Sampath, S.; Mohanty, H. K. 1954. Cytology of semi-sterile rice hybrid. *Curr. Sci.*, 23:182-183.
- Santos, P.G.; Soares, P.C.; Soares, A. A.; Morais, O. P.; Cornélio, V.M. de O. 1999. Avaliação do progresso genético do obtido em 22 anos no melhoramento do arroz irrigado em Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v.34, n.10, p.1889-1896.
- Shi, M. S. 1981. Preliminary report of later japonica natural 2-lines and applications. *Hubei Agric Sci*, 7.
- Shinjo, C.; Omura, T. 1966. Cytoplasmic male sterility and fertility restoration in rice, *Oryza sativa* L. *Sci. Bull. Col. Agric. Univ. Ryukyus*, 22:1-57.
- Shull, G. H. 1908. The composition of a field of maize. *Am. Breed. Assn.*, 4: 296-301.
- Stuber, C. W.; Lincoln, S. E.; W olf, D. W. ; Helentjaris, T.; Lander, E. S. 1992. Identification of genetic factors contributing to heterosis in a hybrid from two elite maize inbred lines using molecular markers. *Genetics*, 132: 823-839.
- Stansel, J. W. ; Craigmiles, J. P. 1966. Hybrid rice : problems and potentials. *Rice J.*, 69(5) : 14-15.
- Virmani, S. S. 1994. Heterosis and hybrid rice breeding. Springer-Verlag, Berlin. 189p.
- Xiao, J.; Li, J.; Yuan, L.; Tanksley, S. D. 1995. Dominance is the major genetic basis of heterosis in rice as revealed by QTL analysis using molecular markers. *Genetics*, 140: 745-754.
- Yuan, L. P. 1966. A preliminary report on male sterility in rice. *Sci Bull.*, 4:32-34 (Sumário em inglês).
- Yuan, L.P. 1992. Development and prospects of hybrid rice breeding. *In: Agricultural Biotechnology, Proceeding of Asian-Pacific Conference on Agricultural Biotechnology*. Ed. C. B. You; Z. L. Chen. China Agriculture Press, Beijing, p. 97- 105.

**ANAIS
27º ENCONTRO SOBRE
TEMAS DE GENÉTICA E MELHORAMENTO**

VOLUME 27



**“EXPLORAÇÃO DE HÍBRIDOS NO
MELHORAMENTO GENÉTICO VEGETAL
COMEMORAÇÃO DO CENTENÁRIO DO
USO DO MILHO HÍBRIDO”**

**5 E 6 DE OUTUBRO DE 2010
Piracicaba - SP**

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”
DEPARTAMENTO DE GENÉTICA
2010**