

PONTÍFICA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO

PUC-SP

PAULO HENRIQUE GAVIOLI

**As contribuições de Ernesto Paterniani para o
desenvolvimento da genética no Brasil: estudos sobre o
melhoramento do milho**

MESTRADO EM HISTÓRIA DA CIÊNCIA

SÃO PAULO

2008



ERNESTO PATERNIANI

PONTÍFICA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO
PUC-SP

PAULO HENRIQUE GAVIOLI

**As contribuições de Ernesto Paterniani para o
desenvolvimento da genética no Brasil: estudos sobre o
melhoramento do milho**

**Dissertação apresentada à Banca
Examinadora como exigência parcial para
obtenção do Título de Mestre em História da
Ciência pela Pontifícia Universidade Católica
de São Paulo sob a orientação da Profa. Dra.
Lilian Al-Chueyr Pereira Martins**

MESTRADO EM HISTÓRIA DA CIÊNCIA

São Paulo

2008

Gavioli, Paulo Henrique

“As contribuições de Ernesto Paterniani para o desenvolvimento da genética no Brasil: estudos sobre o melhoramento do milho”

São Paulo, 2008

62 p.

Dissertação de Mestrado – PUC – SP

Programa: História da Ciência

Orientadora: Profª Drª Lilian Al-Chueyr Pereira Martins

BANCA EXAMINADORA

Autorizo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta Dissertação por processos fotocopiadores ou eletrônicos.

São Paulo, ____ de _____ de _____

Assinatura: _____

paulogavioli@yahoo.com.br

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

Primeiramente a Deus que tem me ajudado dando-me plena saúde física e mental, guiando-me para a realização deste sonho.

Ao meu pai Onofre de Paula Gavioli e minha querida mãe Maria Ribeiro da Silva Gavioli pelo apoio, carinho, compreensão e estímulo nas horas de dificuldade.

Aos meus queridos irmãos e irmãs que em mútuo respeito ao meu sonho juntaram as forças para me auxiliar.

À minha orientadora, Lilian Al-Chueyr Pereira Martins, pela paciência, compreensão e apoio, durante a elaboração e conclusão deste trabalho.

À minha querida amiga Maria Aparecida Chierentim que me ofereceu seu ombro amigo e lindo sorriso para sempre me fortalecer.

À colega e amiga Ana Paula Oliveira Pereira de Moraes Brito pela revisão deste trabalho.

Ao Prof. Ernesto Paterniani pela atenção, entrevistas concedidas e material bibliográfico disponibilizado. .

Às Profas. Ana Maria Haddad Baptista e Maria Elice B. Prestes pelas sugestões dadas durante a qualificação.

À Secretaria de Educação do Estado de São Paulo pela bolsa concedida.

Aos professores e Secretária do Programa de Estudos Pós-Graduados em História da Ciência com os quais convivi durante esses dois últimos anos.

RESUMO

O objetivo desta pesquisa é discutir um pouco acerca de algumas das contribuições de Ernesto Paterninani (nascido em 1928) para a genética em nosso país, especificamente para o melhoramento do milho. Esta dissertação contém uma introdução e quatro capítulos. O Capítulo 1 apresenta uma visão geral do panorama científico da época em que Paterniani desenvolveu suas investigações sobre o melhoramento do milho comentando também acerca de sua carreira e interesses profissionais. O Capítulo 2 trata da origem e evolução do milho. O Capítulo 3 aborda as técnicas que Paterniani utilizou para o melhoramento do milho. O Capítulo 4 apresenta algumas considerações finais sobre o assunto. Este estudo levou à conclusão de que a contribuição de Paterniani foi bastante relevante pois além de introduzir modificações que contribuíram para o aperfeiçoamento de técnicas existentes, ele introduziu novas técnicas bastante eficientes para o melhoramento do milho.

Palavras-chave: História da genética; melhoramento do milho; Paterniani, Ernesto

ABSTRACT

The aim of this study is to discuss some contributions made by Ernesto Paterniani (born in 1928) for genetics in Brazil, particularly concerning the improvement of maize. This dissertation contains an introduction and four chapters. Chapter 1 presents a general view of the scientific context of the period in which Paterniani developed his researches on the improvement of maize, and an overview of Paterniani's career. Chapter 2 deals with the origin and evolution of maize. Chapter 3 discusses the techniques employed by Paterniani in the improvement of maize. Chapter 4 presents some final considerations on the subject. This study led to the conclusion that Paterniani's contributions were relevant since besides introducing some modifications in the existent techniques which contributed to their improvement, he also introduced new efficient techniques for the improvement of maize.

Key-words: History of genetics; maize improvement; Paterniani, Ernesto.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1. PATERNIANI E SEU CONTEXTO	3
CAPÍTULO 2. O MILHO: ORIGEM E EVOLUÇÃO	14
CAPÍTULO 3. PATERNIANI E O MELHORAMENTO DO MILHO: ALGUNS ESTUDOS, TÉCNICAS E EXPERIMENTOS	20
CAPÍTULO 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
BIBLIOGRAFIA	47

INTRODUÇÃO

Esta dissertação trata da história da genética no Brasil analisando particularmente as contribuições do engenheiro agrônomo e geneticista Ernesto Paterniani¹ (1928 –) para a genética vegetal acerca do melhoramento do milho.

O objetivo que constava no projeto inicial era averiguar em que estas se diferenciavam do que havia sido feito antes, principalmente em relação à proposta de seu mestre, o Prof. Friedrich Gustav Brieger². Sabe-se que Brieger introduziu em suas pesquisas uma nova metodologia, passando a utilizar a análise genética das populações em milho e hortaliças, abandonando o antigo método da hibridação³.

Um levantamento bibliográfico inicial mostrou que Paterniani publicou uma grande quantidade de trabalhos (dentre livros e artigos) sendo que, a maior parte deles trata do melhoramento do milho. Além disso, sua contribuição é reconhecida por geneticistas atuais.⁴

Como não encontramos estudos historiográficos tratando especificamente das contribuições de Paterniani, pensamos que este seria um tema que valeria a pena ser explorado. Nesse sentido, esperamos que esta pesquisa possa trazer alguma contribuição para a historiografia da genética no Brasil.

A hipótese que nos ocorreu no início desta pesquisa é que provavelmente o Professor Paterniani não teria elaborado suas técnicas mais sofisticadas de

¹ Ernesto Paterniani fez seu doutoramento em Genética vegetal na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), São Paulo e depois desenvolveu investigações sobre o mesmo assunto nesta instituição.

² Friedrich Brieger foi pesquisador em genética vegetal na Universidade de Breslau, no *John Innes Centre* e na ESALQ/Piracicaba.

³ O método de hibridação consiste no cruzamento entre variedades seguido de seleção nas gerações segregantes. Além do cruzamento entre duas variedades, inúmeras variações têm sido propostas e empregadas como cruzamentos múltiplos envolvendo várias variedades. Os estudos desenvolvidos sobre a genética do milho por East e Shull no início do século XX, que foram aperfeiçoados por Jones trouxeram contribuições para o melhoramento genético das plantas. A partir da segunda década do século XX, o vigor híbrido ou heterose na geração F1 passou a ser empregado com muito sucesso no milho, sorgo, berinjela, cebola, etc.

⁴ Como Aldo Mellender Araújo, por exemplo (Comunicação pessoal, Agosto de 2007).

melhoramento do milho, se não tivesse tomado como ponto de partida os trabalhos de Friedrich .G. Brieger.

Esta pesquisa segue a linha de História e Teoria da Ciência. Procuraremos investigar as contribuições para o melhoramento do milho feitas pelo professor E. Paterniani dentro de seu contexto. Para isso utilizamos alguns trabalhos originais (artigos e livros) deste cientista. Consultamos também alguns estudos mais gerais sobre a História da Genética no Brasil.

Este trabalho também inclui uma série de entrevistas com o professor Paterniani que foram feitas com o intuito de obter esclarecimentos acerca de aspectos técnicos sobre o melhoramento do milho e sobre o contexto científico de sua época, já que ele ainda vive.

Esta dissertação contém esta introdução e quatro capítulos. O Capítulo 1 apresenta um idéia geral do panorama científico da época em que Paterniani desenvolveu suas pesquisas sobre o melhoramento do milho comentando também acerca de sua carreira interesses profissionais. O Capítulo 2 trata da origem e evolução do milho. O Capítulo 3 aborda as técnicas que Paterniani utilizou para o melhoramento do milho. O Capítulo 4 apresenta algumas considerações finais sobre o assunto.

CAPÍTULO 1

PATERNIANI E SEU CONTEXTO

1.1 UM PANORAMA GERAL DA SITUAÇÃO

A genética é uma ciência recente em termos históricos, sendo que a genética clássica, no âmbito mundial, se desenvolveu principalmente nas três primeiras décadas do século XX, quando ocorreu o desenvolvimento da teoria cromossômica da hereditariedade⁵. O estabelecimento desta teoria foi o resultado de trabalho coletivo de vários indivíduos de diferentes nacionalidades⁶. As investigações desenvolvidas por esses indivíduos incluíam estudos de cruzamentos experimentais e estudos citológicos. O material experimental utilizado nas investigações era constituído tanto por animais como por vegetais.

Paralelamente ao desenvolvimento da genética de *Drosophila* por Thomas Hunt (1866-1945) Morgan e seus colaboradores a partir de 1910-1911, desenvolveu-se também nos Estados Unidos, uma genética do milho através das investigações de cientistas como E. M. East, por exemplo, cujos experimentos indicavam que características contínuas podiam ser herdadas de forma mendeliana.⁷

De acordo com Ernst Mayr, no período compreendido entre 1936 e 1947, biólogos de diversos países e das mais variadas sub-áreas da biologia, chegaram a algumas conclusões que incluíam: o processo evolutivo é principalmente gradual sendo que a seleção natural atua sobre as pequenas mudanças genéticas; as espécies são agregados de populações isoladas geneticamente sendo que fatores ecológicos agem sobre a diversidade e origem das categorias mais elevadas. Julian

⁵ Ver a respeito em Lilian Al-Chueyr Pereira Martins, *A teoria cromossômica: proposta fundamentação, crítica e aceitação*. Tese de Doutorado (Campinas: UNICAMP, 1997).

⁶ Ana Paula Oliveira Pereira de Moraes Brito, *Nettie Maria Stevens e suas contribuições par a teoria cromossômica da hereditariedade: estudos sobre a determinação de sexo*, (São Paulo: PUC, 2004), p. 5.

⁷ Ernst Mayr, *The growth of biological thought. Diversity, evolution and inheritance*. (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1982), p. 791.

Huxley (1942) denominou este movimento de “síntese evolutiva”. Há diferentes interpretações sobre este movimento como a de Vassiliki Betty Smocovitis ou a de Aldo Araújo, sendo que este último questiona se foi realmente uma síntese, ou se se tratou de uma constrição ou redução de teorias⁸. Entretanto, embora seja um assunto bastante relevante não será discutido neste trabalho. O que importa aqui é que o período estudado é o período que se seguiu à síntese evolutiva. Aos autores que procuraram construir pontes entre as diversas subáreas da biologia Mayr chamou de “arquitetos da síntese”.⁹, dentre os quais incluiu o geneticista ucraniano Theodosius Dobzhansky (1900-1975), autor do livro *Genetics and the origin of species* (1937). O nome de Dobzhansky está ligado ao desenvolvimento de uma das importantes escolas de genética em nosso país que será mencionado mais adiante neste capítulo. Dentre outros aspectos, Dobzhansky destacou a relevância dos mecanismos de isolamento reprodutivo para o processo de especiação.

No Brasil, a genética se desenvolveu principalmente em três centros de pesquisa que estavam localizados no Estado de São Paulo: Instituto Agrônomo de Campinas, (liderada por Carlos Arnaldo Krug); Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (liderado por Friedrich Gustav Brieger) e, a Faculdade de Filosofia da Universidade de São Paulo (liderado por André Dreyfus).

Podemos dizer que as pesquisas em genética no Brasil nesse período estavam divididas em duas linhas. Uma delas se concentrava no melhoramento vegetal e se encontrava nos dois primeiros centros de pesquisa que citamos anteriormente (IAC e ESALQ) desde sua fundação.¹⁰ A segunda linha, ligada aos estudos dos animais, basicamente de invertebrados, foi adotada pelo grupo da USP.

A disciplina de genética começou a ser ensinada no Brasil em 1918 nas cadeiras de zootecnia e agricultura da ESALQ e, em cursos particulares de embriologia e histologia organizados por André Dreyfus (1897-1952).¹¹ No entanto,

⁸ Aldo Mellender de Araújo, “Síntese evolutiva, constrição, ou redução de teorias: há espaços para outros enfoques?”, in: Maria Elice B. Prestes; Lílian A.-C. P. Martins & Waldir Stefano, *Filosofia e História da Biologia 1*. (São Paulo: Mack Pesquisa, 2006). Pp. 5-19.

⁹ Mayr, *The growth of biological thought*, p. 568.

¹⁰ José Franco Monte. Sião, *Theodosius Dobzhansky e o desenvolvimento da genética de populações de Drosophila no Brasil:1943-1960*. (São Paulo: PUC, 2008), p. 7

¹¹ Monte Sião, *Theodosius Dobzhansky e o desenvolvimento da genética de populações de Drosophila no Brasil:1943-1960*, p. 7

“o momento crucial para o desenvolvimento da genética no Brasil foi o convite feito a Theodosius Dobzhansky (1900-1975), para trabalhar na USP, com o apoio da Fundação Rockefeller, através da intermediação de Harry M. Miller.”¹²

André Dreyfus (1897-1952), um dos membros do grupo que criou a Universidade de São Paulo, contribuiu para a institucionalização da genética no Brasil. ¹³ Antonio Brito da Cunha¹⁴ comenta sobre a atuação de Dreyfus:

Recebeu, no seu departamento, docentes de vários laboratórios do Brasil e do exterior, contribuindo para a sua formação científica e didática. Um ponto marcante para o desenvolvimento da Genética no Brasil foi a descoberta de Dreyfus pelo Dr. Harry M. Miller Jr., da Fundação Rockefeller. A admiração por Dreyfus e a confiança nele depositada levou a Fundação Rockefeller a trazer para o seu laboratório, na FFCL, o professor Theodosius Dobzhansky, um dos maiores geneticistas e pensadores da Biologia, assim como a financiar a compra de equipamentos e a pesquisa de laboratório. Dreyfus, Dobzhansky, seus amigos e colegas Brieger, em Piracicaba, Krug no Instituto Agrônomo de Campinas e o Dr. Harry Miller Jr. são os primeiros responsáveis pelo desenvolvimento da Genética moderna no Brasil.¹⁵

A convite de Dreyfus e com o apoio da Fundação Rockefeller, Dobzhansky fez sua primeira viagem ao Brasil em 1943. Sua motivação inicial era estudar o comportamento de *Drosophila* na natureza e as diversas regiões climáticas tropicais brasileiras forneciam uma excelente oportunidade para isso.

Dobzhansky acabou visitando o Brasil várias vezes, porém foram quatro delas as consideradas mais relevantes. Isso se deveu à interação com o grupo de Dreyfus

¹² *Ibid.*, p. 8

¹³ *Ibid.*

¹⁴ Professor emérito da USP, ingressou no curso de História Natural em 1942, e fez parte do grupo de pesquisas de Dreyfus e Dobzhansky.

¹⁵ Antonio Brito da Cunha, “André Dreyfus”, *Estudos Avançados*, p.186, *apud*, José Franco Monte Sião, *Theodosius Dobzhansky e o desenvolvimento da genética de populações de Drosophila no Brasil:1943-1960*, p. 8

e a uma parceria com o mesmo através de um projeto financiado pela Fundação Rockefeller.¹⁶

Nessa época, o professor alemão Friedrich Gustav Brieger (1900-1985) comandava o Departamento de Genética da ESALQ. Brieger havia se graduado em Botânica pela Universidade de Breslau. Além disso, ele trabalhou por dois anos no *Jonh Innes Centre*, um importante centro de pesquisas genéticas, principalmente com vegetais, do Reino Unido. Em 1924, de acordo com Simon Schwartz, contra a opinião de pessoas com quem trabalhava e que consideravam a ciência alemã superior à americana, Brieger candidatou-se a uma bolsa da Fundação Rockefeller para um período de aperfeiçoamento nos Estados Unidos. Em 1928 fez o concurso para livre docente na Universidade de Berlim. Em 1936 Brieger partiu, então, para sua “aventura tropical”, como ele próprio a definiu, iniciando suas atividades na ESALQ. No Brasil, seus primeiros trabalhos foram com milho e hortaliças. No caso do milho, foi quem aplicou inicialmente o método de análise genética de populações na busca de melhoramento das espécies, substituindo o método de hibridação, até então, o único usado.¹⁷ Brieger publicou uma série de trabalhos sobre o assunto¹⁸

A trajetória científica de Brieger permitia que tivesse contato com várias formas de trabalho. Este fato permite compreender sua atuação na ESALQ.

Como mencionamos anteriormente, outro importante centro de pesquisa neste período foi Instituto Agrônomo de Campinas liderado por Carlos Arnaldo Krug (1928-1973).¹⁹ Ele se graduou em Piracicaba pela Escola Superior de

¹⁶ Monte Sião, *Theodosius Dobzhansky e o desenvolvimento da genética de populações de Drosophila no Brasil:1943-1960*, p. 8.

¹⁷ Simon Schwartzman, *Formação da comunidade científica no Brasil*, (São Paulo: Editora Nacional/Finep,1979), p. 273.

¹⁸ Dentre os trabalhos que Brieger publicou individualmente sobre o assunto podem ser incluídos os seguintes: F. G. Brieger, “Híbridos de milho com referência especial à precocidade”. *Agric. Piracicaba* (13, 1938): 348-360; Brieger, “Considerações sobre o milho indentado”. *Ciência e Cultura* 2 (1950): 60 e juntamente com outros autores, incluindo Paterniani: F. G. Brieger, J. T. A. Gurgel, E. Paterniani, A. Blumenschein & M. R. Alleoni. “Races of maize in Brazil and other Eastern South American countries”, .593 . (Washington: National Academy of Sciences, 1958).

¹⁹ O Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) foi fundado em 1887 pelo Imperador D. Pedro II tendo sido chamado na época de sua fundação de “Imperial Estação Agrônoma de Campinas”. A sede da Instituição começou a ser construída em 1887 em um terreno comprado pelo Governo Imperial, no bairro do Guanabara sendo inaugurada em 1888. No ano de 1892, passou a pertencer ao Governo

Agricultura “Luis de Queiroz” e, em 1928, ingressou no Instituto Agrônômico na recém-criada Seção de Genética.²⁰

Durante o período 1930-1932, Krug foi estudar na *Cornell University*, nos Estados Unidos, a fim de especializar-se em genética e melhoramento de plantas. Após conseguir o mestrado, regressou a Campinas e logo deu início, como Chefe da Seção de Genética, à elaboração de dois projetos de melhoramento de plantas, milho e do cafeeiro. No projeto do milho inúmeras linhagens foram estudadas e, em 1940, iniciou-se a síntese do milho híbrido, tornando São Paulo a primeira região da América Latina a contar com híbridos obtidos com linhagens próprias. A melhoria obtida no cultivo desse cereal, após a introdução das sementes de milho híbrido, teve repercussão em termos econômicos.²¹

Além do café e milho, Krug pesquisou e orientou trabalhos de melhoramento de outras culturas, como batata, feijão, trigo e mamona, de interesses para o estado de São Paulo.²²

Na direção do Instituto Agrônômico, Krug promoveu a vinda para Campinas de numerosos técnicos e cientistas para participar de congressos, reuniões e visitas ao IAC. No início de sua existência, o Instituto Agrônômico dedicou-se principalmente à identificação dos problemas de nossa agricultura. Sua escola científica começou a firmar-se a partir de 1924, pela ampliação da estrutura técnica e pelo recrutamento de jovens promissores para a pesquisa nas escolas de agronomia do País, sendo que a muitos deles foi dada a oportunidade de aprimorar sua capacitação em centros internacionais especializados.²³

Dentre as várias investigações desenvolvidas no IAC estão aquelas relacionadas ao milho, especificamente a seu melhoramento, que figuram dentre os mais antigos desta instituição. A seleção era feita através de diferentes métodos, principalmente o de “seleção massal”. Este método, que discutiremos no capítulo 3 desta dissertação, consiste em coletar as sementes daqueles indivíduos de uma

do Estado de São Paulo [José Antonio Jorge, Emílio Bruno Germek, Ângelo Paes de Camargo, Olavo José Boock & Armando Conagin, eds. *Memória do Instituto Agrônômico*. (Campinas: IAC: 1993)].

²⁰ Jorge, Germek, Camargo, Boock & Conagin, eds. *Memória do Instituto Agrônômico*. (Campinas: IAC: 1993).

²¹ *Ibid.*.

²² *Ibid.*, p. 35

²³ Pesquisas de aprimoramento em regime de tempo integral.

população que mostravam uma ou mais características desejáveis como potencial de alto rendimento ou resistência a doenças, e usar aquelas sementes para plantar a próxima safra. Os pesquisadores norte-americanos haviam obtido resultados bastante satisfatórios em relação ao aproveitamento do vigor híbrido do milho.²⁴

Certamente tais estudos contribuíram para a reformulação dos planos de melhoramento desse cereal no IAC. Assim passaram a ser orientados, a partir de 1933, para novos rumos objetivando a produção de milho híbrido²⁵ no país. Nesse sentido, grande esforço foi despendido no isolamento de numerosas linhagens puras e posterior síntese de híbridos em muitas combinações, para se identificar, através da experimentação, as mais favoráveis às condições de cultivo aqui existentes. Tais esforços obtiveram êxito inicialmente com o lançamento do híbrido simples denominado H300. Posteriormente, outros híbridos simples, duplos ou triplos, de alta produtividade e elevada adaptação regional, foram oferecidos à agricultura. Rapidamente foi estruturada a produção de sementes em larga escala, a partir de 1946.²⁶

É interessante notar que as três escolas de genética desenvolvidas no Brasil (a de Brieger, na ESALQ; a de Krug, no IAC e a de Dreyfus, na USP) optaram por caminhos diferentes. A última se dedicou ao estudo de organismos tropicais que não estavam sendo estudados em outros centros no exterior. Brieger, talvez seguindo os moldes adotados no *John Innes* pensava que, se desenvolvesse pesquisas com apenas um material experimental e em uma só direção ficaria isolado. Já Krug, desenvolveu pesquisas em genética experimental aplicada²⁷. Segundo S. Schwartzman, as divergências entre Krug e Brieger foram inevitáveis. Estas divergências ocorreram a partir do instante em que Brieger introduziu em suas pesquisas nova metodologia, passando a aplicar a análise genética em populações de milho - fato inédito até então no Brasil - e hortaliça. Krug por sua vez, foi contrário mantendo o método de hibridação.²⁸

²⁴ Jorge, Germek, Camargo, Boock & Conagin, eds. *Memória do Instituto Agrônomo*, p. 35

²⁵ O milho híbrido é obtido a partir do princípio das linhagens puras, as quais são cruzadas entre si, dando como resultado a semente híbrida, que é utilizada nos plantios comerciais. O milho híbrido só tem alto vigor na primeira geração

²⁶ Jorge, Germek, Camargo, Boock & Conagin, eds. *Memória do Instituto Agrônomo*, p. 36

²⁷ Schwartzman, "*Formação da comunidade científica no Brasil*", pp. 276-280

²⁸ Schwartzman, "*Formação da comunidade científica no Brasil*", pp. 276-280

Enfim, estas três instituições lideradas por Brieger na ESALQ; Krug no IAC e por Dreyfus, na USP, tiveram um papel importante na institucionalização da genética no Brasil.



INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (IAC)



ESALQ



DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA - USP

1.2 PATERNIANI: CARREIRA E INTERESSES PROFISSIONAIS

Paterniani nasceu em São Paulo em 1928. Era filho de italianos oriundos de uma leva de imigrantes que desembarcou no Brasil para trabalhar na lavoura de café. Paterniani chegou cedo em Piracicaba quando os pais vieram à cidade para assumir o comando de um armazém de secos e molhados.²⁹

Apesar de inclinado a estudar engenharia civil, a opção foi tentar agronomia devido às dificuldades financeiras da época.

Paterniani apresentava facilidade em matemática e álgebra. Mas logo ao ingressar na ESALQ, em 1947, começou a se interessar por genética. Além disso, mostrou preferência pelo trabalho no campo. Ele comentou a respeito:

No quarto ano, interessado por da genética, procurei um estágio e me colocaram na citologia. Em apenas um dia no laboratório percebi que meu negócio era outro: queria trabalhar no campo”³⁰.

Na ESALQ foi aluno do professor Friedirck Gustav Brieger, que havia chegado ao Brasil em 1936.³¹

Nessa época, a família de Paterniani era proprietária de um posto de gasolina e uma oficina mecânica na vila Resend e possuíam um carro, coisa rara naquela

²⁹ Ernesto Paterniani, comunicação pessoal em entrevista realizada das 13:00 às 15:30h do dia 03/07/2006.

³⁰ Paterniani, comunicação pessoal em entrevista realizada das 14:00 às 16:00h no dia 10/12/2007.

³¹ Paterniani, comunicação pessoal em entrevista realizada das 13:00 às 15:30h do dia 03/07/2006.

época. Paterniani comentou a respeito: “Eu era um privilegiado, na escola, após passar o período de trote, passei a vir para a escola guiando um Chevrolet 1928”.³²

No final do curso de graduação, a Fundação Rockefeller o contemplou com uma modalidade de bolsa de estudos que se destinava a agrônomos recém-formados. Esta permitiu que ele estagiasse no Programa Agrícola Mexicano, que visava aumentar a produção de alimentos. No México, as primeiras experiências com melhoramento de milho e trigo vinham apresentando bons resultados, já que em 1943 o país tinha que importar esses produtos e em menos de 10 anos se tornara auto-suficiente.³³

Ao retornar do México, começou a gerenciar um banco de germoplasma³⁴ na ESALQ. Nessa época percorreu grande parte da América Latina coletando variedades locais das mais diversas espécies de milho³⁵.

Em 1954, sob orientação de Friedirck Gustav Brieger, Paterniani concluiu seu Doutorado onde estudou sobre as raças de milho indígena Caingang³⁶.

Ao longo de sua carreira, este cientista realizou inúmeras atividades. Desenvolveu estudos sobre descrição e classificação de raças de milho. Conduziu pesquisas relacionadas à genética aplicada ao melhoramento de plantas, em especial ao milho. Dedicou-se especialmente aos métodos de melhoramento de populações de milho, procurando aumento da eficiência e maior simplicidade na

³² Ernesto Paterniani, comunicação pessoal em entrevista realizada das 13h00 às 15:30h do dia 03/07/2006.

³³ Comunicação pessoal em entrevista realizada das 14:00 às 16:00h no dia 10/12/2007.

³⁴ Germoplasma é o elemento dos recursos genéticos (material genético de espécies de animais, plantas e microorganismos) que maneja a variabilidade genética entre espécies ou dentro de uma mesma espécie, para a pesquisa em geral, especialmente para o melhoramento genético, inclusive para a biotecnologia (Clara Goedert, “Germoplasma: o que é isso”, *Seed News*.(Maio/Junho, 2002), p. 2.

³⁵ Após 17 anos recolhendo sementes, Paterniani havia reunido cerca de 3000 amostras que doou para a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Esta empresa está voltada para atividades agrícolas, pecuária, florestais e agroindustriais e atua em todo o território brasileiro em pesquisa, desenvolvimento e inovação (Comunicação pessoal em entrevista realizada das 13:00 às 16:00h do dia 15/12/2007).

³⁶ Ernesto Paterniani, *Estudos sobre as raças do milho indígena “Caingang”*. Tese de doutoramento. (Piracicaba: ESALQ), 1954.

execução. Produziu inúmeras populações melhoradas usando “seleção entre e dentro de famílias de meios irmãos”. Desenvolveu um novo método de seleção de plantas prolíficas (mais de uma espiga por planta), antes do florescimento.³⁷ O capítulo 3 desta dissertação discutirá um pouco a respeito desse assunto.

Além disso, Paterniani desenvolveu e identificou variações de milhos e criou linhagens para a obtenção de híbridos, uma das alternativas existentes para melhorar a produtividade. Ele se mostrou satisfeito em relação à sua contribuição sobre o melhoramento do milho. Ele assim se expressou:

Sinto-me gratificado pela minha contribuição para o melhoramento de populações de milho. Distribuí muitas variedades para programas de melhoramento, inclusive do exterior, ou seja, grande parte das espécies existentes saiu da ESALQ.³⁸

Embora a pesquisa aplicada tenha ocupado a maior parte de seu tempo, Paterniani desenvolveu também pesquisas básicas. Dentre essas, merece destaque a “seleção para isolamento reprodutivo em milho”, um clássico, que é leitura obrigatória em vários cursos de evolução como o da Universidade da Califórnia.³⁹

Na ESALQ, exerceu a presidência da Comissão de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas. A maior parte de seu tempo era dedicada à pesquisa. Em suas próprias palavras: “Sempre trabalhei muito e em tempo integral nas minhas pesquisas, de maneira que nunca galguei outros cargos administrativos”.⁴⁰

Além das mencionadas no parágrafo acima, Paterniani exerceu outras funções. Foi consultor da Embrapa, membro da *Technical Advisory Committee*, membro fundador e titular da Academia de Ciências do Estado de São Paulo.

Recentemente Paterniani, aposentado desde 1983, exerceu papel importante na aprovação da Lei Nacional de Biossegurança e em 2005 recebeu o prêmio

³⁷ Comunicação Pessoal em entrevista realizada das 13:00 às 16:00h do dia 15/12/2007.

³⁸ Comunicação pessoal em entrevista realizada das 13:00 às 15:30h no dia 06/01/2008.

³⁹ Comunicação pessoal em entrevista realizada das 13:00 às 15:30h no dia 06/01/2008.

⁴⁰ Comunicação pessoal em entrevista realizada das 13:00 às 15:30h no dia 06/01/2008.

Bunge, na categoria Agronegócio,. Além disso, recebeu o Prêmio Frederico de Menezes Veiga e foi condecorado com as comendas da Ordem Nacional do Mérito Científico e Grã Cruz da Ordem Nacional do Mérito Científico, ambas conferidas pela Presidência da República.

CAPÍTULO 2

O MILHO: ORIGEM E EVOLUÇÃO

2.1 A ORIGEM DO MILHO

Há controvérsias entre os pesquisadores em relação à região de origem e aos ancestrais do milho. Alguns estudiosos acreditam que o milho originou-se na América do Sul. Outros estudiosos acreditam que ele se originou no México e na região onde atualmente está o Estado do Novo México ao sul dos Estados Unidos⁴¹.

Os índios americanos cultivavam e utilizavam o milho mesmo antes do descobrimento das Américas, sendo que antigas civilizações (astecas, maias e incas) reverenciava o milho tanto na religião quanto na arte, além de sua utilização diária. Para a alimentação, o milho era preparado e ingerido moído, torrado, cozido ou da maneira mais primitiva que o homem encontrou para aproveitá-lo: em grãos duros, sob a forma de pipoca. Ou ainda, podia ser consumido quando seus grãos estavam como canjica; moído para pães, tortilhas e também para bebidas alcoólicas como cerveja de milho. Nessa última forma que os índios utilizaram para acelerar o processo de fermentação foi através da mastigação de seus os grãos ⁴².

Os índios brasileiros no período anterior à chegada dos portugueses, utilizavam o milho como uma das fontes mais importantes de sua alimentação ao lado da mandioca sob a forma de farinha e bebida fermentada chamada “cauim”. Os indígenas conheciam o milho por “avati”. Este, após a chegada de Cabral era cultivado esporadicamente em meio às clareiras abertas. Seus pés se caracterizavam pelo porte elevado, seus grãos eram macios, as espigas finas e

⁴¹Antonio Luiz Fancelli, Urgel de Almeida Lima. *Milho - Produção, pré-processamento e transformação agroindustrial*, p.1.

⁴² *Ibid.*, p. 2.

alongadas. Sua coloração e características podiam variar nos diferentes cultivos das diversas tribos ⁴³.

Segundo Antonio Luiz Fancelli e Urgel de Almeida Lima, em 1492, Colombo constatou a existência deste cereal na costa norte de Cuba e ao regressar à Espanha, na primavera de 1493, levou consigo sementes bem como plantas. Este episódio teria produzido um grande alvoroço entre os botânicos e pesquisadores europeus. Na época começou a ser cultivado em jardins na Europa, apesar de ter tido uma baixa aceitação pelo povo europeu que a princípio conhecia a planta como “trigo turco”. A primeira ilustração do cereal publicada na Europa, segundo os autores, teria sido em Veneza, em 1543. *Zea mays* foi o nome científico que lhe foi dado pelo botânico sueco Carl von Linnæus (1707-1778). ⁴⁴.

Documentos históricos brasileiros datados de 1834 mostravam o milho como principal fonte alimentícia, pois os tropeiros usavam o milho frio, rapadura e água, conhecido como “jacuba”, os escravos o “angu” que constituía farinha moída de milho fervida em água sem sal, sustentando a mão de obra das fazendas ⁴⁵.

O parente mais próximo do milho desde o século passado foi *Teosinto* (*Euchlaena mexicana*) ⁴⁶ originado da região entre o México, Guatemala e Honduras, atualmente vem sofrendo extinção. Devido o cruzamento entre o milho e o *Teosinto* produzir descendentes férteis, o *Teosinto* foi considerado o ancestral mais direto do milho. Porém, outros estudos e pesquisas apresentaram uma hipótese diferente sobre a origem do milho. Esta estaria relacionada a uma gramínea nativa conhecida como *Tripsacum* ⁴⁷. Esta seria a ancestral do milho enquanto o *Teosinto* seria mais um híbrido que teve o milho como um dos genitores.

⁴³ *Ibid.*

⁴⁴ Antonio Luiz Fancelli, Urgel de Almeida Lima. *Milho- Produção, pré-processamento e transformação agroindustrial*, p.2.

⁴⁵ Antonio Luiz Fancelli, Urgel de Almeida Lima. *Milho - Produção, pré-processamento e transformação agroindustrial*. p.3.

⁴⁶ Gramínea silvestre anual de milho mexicano, cespitosa, formando grandes touceiras podendo atingir 3 metros de altura e seu perfilhamento é muito agressivo. Adapta a climas quentes e solos férteis.

⁴⁷ Gênero botânico da família Poaceae, possui sete espécies das quais três ocorrem em solo americano. Difere do milho em vários aspectos, incluindo o número de cromossomos dos quais são (n=9) e do milho (n=10), podendo cruzar com o milho com extrema esterilidade.

A hipótese da origem híbrida do *Teosinto* vem sendo abandonada, pois não foi encontrada na natureza híbrido entre o milho e o *Tripsacum* e mesmo sendo possível obter artificialmente este produto final jamais seriam produzidos indivíduos semelhantes ao *Teosinto*.

Por possuir grãos extremamente duros, baixa produção e poucas possibilidades de ser alimentícia, a *Euchlaena* fez com que o homem a adotasse com o passar do tempo e a transformasse em um dos cereais mais importantes do mundo, o que contribui para o enfraquecimento da hipótese do *Teosinto*⁴⁸.



Espigas representativas de várias raças de milhos indígenas.



Milho tipo pipoca.

2.2 EVOLUÇÃO DO MILHO

É possível encontrar diferentes estágios evolutivos do milho em áreas que se estendem do sudoeste dos Estados Unidos para a parte central do México, que foram submetidas ao estudo arqueológico. Há indícios de que, no início, os sabugos eram pequenos e poucos consistentes, datando de aproximadamente de 5000 anos a.C. Por volta de 2300 anos a.C os sabugos de milho, encontrados em diversas áreas que vão do sudoeste dos Estados Unidos até a parte central do México, provenientes de diversas épocas, apresentam alterações em relação ao

⁴⁸ Antonio Luiz Fancelli, Urgel de Almeida Lima. *Milho - Produção, pré-processamento e transformação agroindustrial*. p.3.

comprimento e à consistência⁴⁹. Por volta de 3000 anos o milho deixou de ser muito pequeno, frágil, com oito fileiras tornando-se mais robusto, produtivo e variável.

Como o milho foi cultivado por várias civilizações, em diferentes continentes, sob variadas formas e em diferentes estações, surgiu a necessidade de se aperfeiçoar as técnicas para um melhor aproveitamento da planta como um alimento principal de várias raças. Sendo assim, o milho híbrido foi uma importante conquista do melhoramento vegetal⁵⁰.

Em 1877, William James Beal (1833-1924), um botânico que desenvolveu a técnica do milho híbrido em 1877, fez experimentos controlados com o milho híbrido no *Michigan Agricultural College*, com o intuito de obter uma maior produtividade. Porém, foi somente em 1914 nos Estados Unidos é que Dennis Feltham Jones (1833-1924) através do desenvolvimento da técnica do cruzamento duplo⁵¹ contribuiu para a adoção do milho híbrido em grande escala.

A semente híbrida, apresenta certas vantagens para o incremento da produção, especialmente no vigor de híbridos ou heterose. No entanto, que as sementes sejam renovadas anualmente.

Os resultados positivos obtidos com o milho híbrido levaram os agricultores, paulatinamente à adoção desse processo. O início dos estudos sobre o melhoramento genético do milho no Brasil, se deu em 1932 no Instituto Agrônomo. Porém, somente nove anos mais tarde é que foram produzidos as primeiras sementes simples e em 1946 surgiram os híbridos duplos⁵².

Pode-se dizer que a cultura do milho é uma das mais praticadas em nosso país.. Cresce a cada ano e chega a ocupar aproximadamente uma área que corresponde a 12 milhões de hectares.

Em 1976 e 1977, o Brasil foi respectivamente o 7º e 6º país que mais exportou o cereal. Porém, os baixos preços de comercialização internos e a prolongada estiagem que aconteceu de dezembro de 1977 a fevereiro de 1978, levou a uma queda na produção em 30%, o que tornou necessário recorrer às

⁴⁹ *Ibid.*, p. 2.

⁵⁰ Paterniani, Comunicação pessoal em entrevista realizada das 13:00 às 15:30h no dia 06/01/2008.

⁵¹ Método que inclui duas gerações de cruzamento, sendo a primeira produção do híbrido simples e a segunda para a produção do híbrido duplo ao qual é destinado ao agricultor.

⁵² Antonio Luiz Fancelli, Urgel de Almeida Lima. *Milho - Produção, pré-processamento e transformação agroindustrial*, . p. 2.

importações e a liberação de estoques para que a demanda do mercado interno fosse suprida⁵³.

Em 1989 o estado de São Paulo plantou em média 1,18 milhões de ha, produzindo em média de 2,8 milhões de toneladas de milho, ultrapassando assim a produtividade em nível nacional, sendo 2/3 da produção nacional provenientes dos Estados e Região Centro e Sul⁵⁴.

Para Paterniani, fica claro a necessidade de estudar as diferentes raças de milho e problemas correlatos mais profundamente para que possam ser desenvolvidas técnicas mais avançadas no melhoramento do grão. Sendo assim, os estudos de raças de milho, principalmente os cultivados pelos índios Caingang dos Estados de São Paulo e do Paraná dos quais compõem *Zea mays* L., levam à descrições precisas e mais seguras dos tipos analisados⁵⁵.

Zea mays L. compreende todos os tipos de milho conhecidos, por mais diferentes que possam parecer. Estes se inter cruzam facilmente si gerando produtos férteis. Assim, podem apenas ser consideradas como raças ou variedades comerciais. Recordando o conceito de raça adotado por Dobzhansky:

Raça para um geneticista pode ser definida como o nome que se dá a populações que diferem umas das outras nas freqüências de certos genes, sendo que para o milho a palavra possui o significado de grupo de indivíduos relacionados com suficientes características em comum para permitir o seu reconhecimento como um grupo e com uma distribuição geográfica definida.⁵⁶

No Brasil são cultivados diversos tipos milho. Estes podem ser classificados como raças indígenas e raças comerciais, devido as características diferenciadas entre os dois grupos.

As raças indígenas são aquelas cultivadas pelos índios não civilizados desde o período pré-colombiano. Essas possuem grande importância alimentícia e

⁵³ Antonio Luiz Fancelli, Urgel de Almeida Lima. *Milho - Produção, pré-processamento e transformação agroindustrial*, p.2.

⁵⁴ *Ibid.*

⁵⁵ *Ibid.*

⁵⁶ Theodosius Dobzhansky, "The race concept in biology". *Science. Monthly of London* . 52 (1941): 161-165.

religiosa, o milho plantado por eles era considerado como patrimônio próprio da tribo e que deveriam ser religiosamente preservados. Com o passar do tempo, aprenderam a conhecer muito bem o grão que cultivavam e por este motivo o cultivo que faziam é considerado puro, ou seja, sem hibridações, da mesma forma que eram cultivados em épocas longínquas. O milho cultivado pelos agricultores tem como principal diferença sua finalidade: o comércio com o intuito de obter lucro e não como algo sagrado ou como fonte de sustento como ocorre com os índios. Como se busca o lucro, busca-se também a obtenção de técnicas cada vez mais aprimoradas para o melhoramento da planta.

CAPÍTULO 3

PATERNIANI E O MELHORAMENTO DO MILHO: ALGUNS ESTUDOS, TÉCNICAS E EXPERIMENTOS

3.1 O MELHORAMENTO VEGETAL

Desde o início da agricultura nas Américas, por volta de 10.000 anos atrás, o melhoramento de plantas tem sido definido como “a ciência e a arte de modificar as plantas em benefício da sociedade”. O homem, até então, sobrevivia da agricultura e não entendia os fatores climáticos, pragas ou enfermidades que sobrevinham sobre a plantação atribuindo esses fatores aos deuses e seus desejos. No século XIX e XX é que a “arte” de modificar as plantas foi dando espaço para a verdadeira “ciência” de modificar e melhorar as mesmas⁵⁷.

A percepção e observação humana foram essenciais para o desenvolvimento das técnicas de melhoramento de plantas, pois havia a necessidade de se evitar doenças, pragas e adequar as plantações ao clima. Nesse sentido, a análise do desenvolvimento dos métodos de melhoramento genético vegetal desenvolvidos ao longo do tempo pode contribuir para as investigações que estão sendo desenvolvidas atualmente.

Desde o momento em que o homem passou a se dedicar à agricultura e as plantas foram aos poucos sendo domesticadas, ocorreram as transformações genéticas⁵⁸, que as tornaram totalmente dependentes do cultivo pelo homem. As plantas cultivadas que existem atualmente foram desenvolvidas através da domesticação no passado.

A tabela apresentada abaixo se refere às atividades relacionadas à produção de alimentos em vários períodos e sua relação com a área necessária e o número de indivíduos beneficiados, embora as situações difiram de região para região.

⁵⁷ Ernesto Paterniani, Glauco Viégas Pinto. *Melhoramento e produção de milho*, p. 343.

⁵⁸ No século XIX certos conhecimentos sobre nutrição de plantas estavam disponíveis, mas somente no século XX que progressos substanciais sobre a herança dos caracteres e sobre o material genético ocorreram.

Tabela 1. Valores comparativos de alimentos à caça e a vários sistemas de agricultura⁵⁹.

Sistema	Área Necessária (há)	Pessoas Alimentadas
Caça: índios da América do Norte em época pré-colombiana	2500	1
Pastoreiro: índios californianos anteriores à influência européia	250	1
Agricultura de Covas: índios do Leste da América do Norte antes da influência européia	250	3
Agricultura de arado: agricultura do antigo Egito	250	750
Agricultura de alta tecnologia:	250	3600

Como ciência aplicada, o melhoramento de plantas foi desenvolvendo técnicas mais sofisticadas na genética, a partir do início do século XX bem como em outras ciências abrindo novas perspectivas. Os métodos de melhoramento podem ser relacionados como: domesticação, introdução, teste de progênie, hibridação em plantas autogâmicas⁶⁰, retrocruzamento⁶¹, vigor de híbrido, seleção em plantas

⁵⁹ Adaptado de Stork e Teague, 1953; Borlayug, 1972 e Ernesto Paterniani, 2003.

⁶⁰ São aquelas que se auto-fecundam, ou seja, os gametas masculinos fertilizam os óvulos (gametas femininos) em uma frequência próxima de 100% da mesma planta.

⁶¹ As panmíticas são aquelas em que os grãos de pólen são dispersos no ambiente por ventos, insetos, morcegos, etc, polinizando os óvulos e flores em outras plantas, em uma frequência próxima de 100%.

panmíticas⁶², preferências regionais e técnicas de manipulação genética⁶³ (com reprodução ou sem reprodução sexual).

Estudos recentes indicam que as mudanças obtidas através da domesticação representam mais uma perda do que ganho de função, o que acaba sendo identificado com a necessidade nos genes. Uma exceção é concedida pelo milho que segundo Doebley⁶⁴ (1997) o Tb-1 do milho domina em relação ao Tb-1 do Teosinto⁶⁵.

No final do século XV e início do século XVI, com as grandes navegações, várias plantas foram introduzidas em lugares diferentes daqueles de sua origem e desempenharam importantes papéis para ampliar as espécies cultivadas.

Vários séculos mais tarde, em meados do século XIX foi desenvolvido na França por Louis de Vilmorin (1816-1860)⁶⁶ o teste de progênie, mostrando que a descendência de um indivíduo tem mais valor que o aspecto do mesmo. Esse teste foi de grande importância nos métodos de melhoramento em especial da hibridação em plantas autogâmicas.

Para o melhoramento das plantas que atingem uma frequência de 100% e se autofecundam é empregado nas autogâmicas o cruzamento entre variedades seguidas de seleção nas gerações segregantes, tendo sido o método mais difundido originando assim grande parte das variedades comerciais da atualidade. O método de hibridação em plantas autogâmicas também possui inúmeras outras variações e diversas modalidades nas etapas posteriores à hibridação.

⁶² É o método usado para recuperar grande parte do genótipo do genitor recorrente, considerado superior em vários aspectos, porém deficiente em poucas características das quais os melhoristas a partir do genitor doador procuram transferir.

⁶³ Técnicas usadas para a passagem de genes de um organismo a outro usando vírus ou bactéria.

⁶⁴ Botânico geneticista americano cuja principal área de interesse é a forma como os genes se desenvolvem e evoluem nas plantas. Em 1976 concluiu seu Ph.D na Universidade de Wisconsin Madison e em 2002 foi aceito como membro da Academia Nacional de Ciências.

⁶⁵ Ernesto Paterniani, Glauco Viégas Pinto. *Melhoramento e produção de milho*. p 345.

⁶⁶ Biólogo e químico dedicou suas pesquisas sobre a reprodução e o cultivo de plantas, desenvolvendo a teoria da hereditariedade em plantas e reconheceu a possibilidade de selecionar determinadas características de uma planta e desenvolver novas variedades exibindo as características escolhidas.

O milho foi utilizado como material experimental, com muito sucesso, no final do século XIX e primeira metade do século XX, para o desenvolvimento de uma metodologia que permitiu a produção de híbridos e de melhoramento de populações.

É possível cultivar células ou tecidos somáticos de um indivíduo que já estejam diferenciados através da cultura de tecidos “in vitro”. Em 1949 La Rue em 1949 realizou os primeiros trabalhos com cultura de tecidos em milho, cultivando continuamente tecidos de endosperma sem regeneração de plantas. Através desses estudos, nos anos seguintes foi possível obter uma forte interação de genótipo x sucesso da cultura, ou seja, os meios de cultura eram menos influentes sobre os resultados do que a escolha e o uso de um genótipo apropriado, correspondente ao “in vitro”⁶⁷.

A partir da década de 1950, os estudiosos passaram a valorizar a conservação do patrimônio genético global, desenvolvendo assim bancos de germoplasma⁶⁸ que mantêm coleções de quase todas as espécies cultivadas ou até mesmo de seus parentes silvestres.

Em 1952 desenvolveu-se o método do retrocruzamento, uma aplicação do princípio da segregação mendeliana. Este método permite a transferência específica de um ou vários genes de um progenitor doador para um recorrente. Mesmo sendo usado muito mais vezes nas plantas autogâmicas, tem-se obtido também bons resultados com as plantas alogâmicas⁶⁹.

O “vigor de híbrido” ou “heterose” que é conhecido como o fenômeno de obtenção de aumento do vigor nos descendentes de cruzamentos entre indivíduos não aparentados, teve um grande impacto na área de aplicação do melhoramento genético das plantas. O vigor híbrido na geração F1, passou a ser empregado no milho, e posteriormente em outras plantas como berinjela, cebola, etc.⁷⁰. Segundo

⁶⁷ Ernesto Paterniani, Glauco Viegas Pinto. *Melhoramento e produção de milho*. p. 348.

⁶⁸ Germoplasma é o elemento dos recursos genéticos (material genético de espécies de animais, plantas e microorganismos) que maneja a variabilidade genética entre espécies ou dentro de uma mesma espécie, para a pesquisa em geral, especialmente para o melhoramento genético, inclusive para a biotecnologia (Clara Goedert, “Germoplasma: o que é isso”, *Seed News*.(Maio/Junho, 2002), p. 2.

⁶⁹ Ernst Mayr. *Systematics and the origin of species*, p. 39.

⁷⁰ Ernesto Paterniani, “Melhoramento de plantas no século XXI” (Material cedido pelo Prof. Paterniani, 2007).

Paterniani, no desenvolvimento do milho híbrido, a produção em países como os Estados Unidos, o Chile e a Argentina se baseia em sementes. O mesmo ocorre no Brasil⁷¹

A seleção em plantas panmíticas busca desenvolver variedades melhoradas, tendo obtido sucesso no aumento do açúcar na beterraba, porém não obteve o mesmo sucesso no milho⁷².

As técnicas de manipulação genética por reprodução sexual são por seleção intra e interpopulacional, hibridação intra e interespecífica, heterose: vigor de híbrido e as sem reprodução sexual são por ploidia: alterações no número de cromossomos, mutagênese: indução artificial de mutações, variação somacional: reprodução de indivíduos a partir de células somáticas, hibridação somática: fusão de protoplastos cibridos – citoplasma e organelas da espécie A e o núcleo da espécie B, transgenia: transferência de genes exógenos e transplastomia: transferência de plastídeos exógenos⁷³.

Desde o início da agricultura, o homem tem feito a seleção artificial do milho. Esse procedimento tem ocasionado desde então um aumento da produtividade e alterações na planta.

Estudos realizados com a planta do milho mostraram que os melhores resultados foram conseguidos com a cultura sendo iniciada com escutelo de embriões jovens (12-15 dias após a polinização).

3.2 ALGUNS ESTUDOS SOBRE O MELHORAMENTO DO MILHO DESENVOLVIDOS A PARTIR DA DÉCADA DE 1970

A variabilidade genética que se desenvolve na cultura das células e tecidos do milho tem sido estudada com o objetivo do melhoramento agrônomo da planta, concentrando-se na análise de plantas regeneradas (R_0) e suas progênes, na

⁷¹ Paterniani, “Milho: a engenharia do híbrido”. Outubro 2005.

⁷² Ernesto Paterniani, “Melhoramento de plantas no século XXI” . (Material cedido pelo Prof. Paterniani, 2007).

⁷³ E. Mayr. *Systematics and the origin of species*, p. 37.

análise genética dos variantes fenotípicos que ocorrem na primeira (R_1) e segunda (R_2) gerações, após a auto-fecundação das plantas regeneradas (R_0)⁷⁴.

Em 1977 estudos realizados por Green em 87 plantas de milho regeneradas a partir de embriões imaturos do genótipo A188 x W22 R-nj R-nj, tinham um comportamento normal dos cromossomos, porém essas plantas foram cultivadas “in vitro” por média de 65 a 125 dias e somente duas apresentaram comportamento citológico normal. Com relação à fertilidade do pólen 85 plantas foram estudadas e 83 delas possuíam 97% do pólen fértil.

McCoy e Phillips em 1982 fizeram da mesma forma uma pesquisa com 119 plantas regeneradas do mesmo cruzamento A188 x W22 R-nj R-nj cultivadas com embriões imaturos em média de 120 e 240 dias tendo como resultado 5% das plantas com anormalidades citológicas, sendo que três mostraram 50% do pólen abortado e segundo os exames citológicos realizados, duas dessas plantas possuíam cariótipo normal e a outra tinha um setor monossômico em razão de ter perdido grande parte do braço curto do cromossomo 10. No ano de 1989 McCoy examinou 22 plantas regeneradas “in vitro” de um cruzamento da linhagem A188, porém não foram encontrado anormalidades cromossômicas. As conclusões dos estudos e pesquisas de McCoy e Phillips não indicam nenhuma relação com a frequência de células anormais em cultura e de plantas regeneradas anormais com o tempo em que ficam os tecidos em cultivo⁷⁵.

As investigações desenvolvidas por Lee em 1984 mostraram haver uma relação entre o tempo de cultivo das células e a frequência de células aberrantes, pois ele não constatou a presença de alterações citológicas nas células cultivadas por 3 a 4 meses. Somente foram encontradas alterações fenotípicas em uma frequência de 0,5 por planta. Porém, cerca de 50% das plantas regeneradas e cultivadas por 8 a 10 meses apresentaram alterações citológicas com frequência de 1,3 por planta regenerada. Essas variações podem ter ocorrido devido à mutação

⁷⁴ Ernesto Paterniani, Glauco Viegas Pinto. *Melhoramento e produção de milho*. p. 345.

⁷⁵ Todos os nomes de pesquisadores presentes neste capítulo são referentes ao material em forma de texto cedido por R.L. Phillips para estudos e referências de Ernesto Paterniani nas técnicas de melhoramento do milho.

detectada logo no início da cultura de tecidos e também à acumulação das células aberrantes⁷⁶.

Em 1984 Rhodes conduziu um estudo com as plantas de milho regeneradas. O material de origem era aneuplóide e euplóide de tecidos organogênicos do tipo 1, ou seja, material semelhante ao que foi pesquisado e estudo em 1982 por McCoy e Phillips. Portanto, foram usados neste estudo genótipos com o gene rx-1 e pendões imaturos no lugar de embriões imaturos, concluindo assim que 264 plantas regeneradas por um período de 18 meses, 121 possuíam cariótipo alterado e 71 dessas plantas com 58,7% eram citologicamente setoriadas para a aberração citogenética. Foram obtidas translocações, pares heteromórficos, duplicação genômica e perda e ganho de cromossomos⁷⁷.

Na tabela abaixo, estão diversos resultados apresentados destes estudos e pesquisas.

Tabela 2. Valores comparativos de plantas regeneradas por organogênese de cultura de tecidos de milho baseado em pendões com setores apresentando regiões citogeneticamente normais e anormais e na segregação de mutantes em R₂, não presentes em R₁₇₈.

Referências	Nº de aberrantes/total	Nº de setores	Porcentagem de setores	Base
GREE N 1977	2/43	2	100,0	T
McCO Y e PHILLIPS 1982	5/124	3	60,0	T
BENZI ON 1984	46/370 45/153	4 29	8,7 64,4	T R
LEE	90/189	4	4,4	T

⁷⁶ Ernesto Paterniani, Glauco Viegas Pinto. *Melhoramento e produção de milho*. p. 347.

⁷⁷ Ernesto Paterniani, Glauco Viegas Pinto. *Melhoramento e produção de milho*. p. 347.

⁷⁸ Adaptado de Ernesto Paterniani, 1987.

1984	81/125	43	53,1	R
RHOD ES 1984	121/274	71	58,7	T

O evento citogenético mais surpreendente e freqüentemente observado nos dados obtidos pelos estudiosos acima foi a quebra cromossômica, pois as plantas de milho regeneradas 82% apresentavam uma alteração cromossômica que era o resultado de quebra cromossômica; 42% tinham apresentavam deleção e 40% uma permuta, como pode ser observado na tabela que se segue:

Tabela 3⁷⁹

Alteração cromossômica	Freqüência de Aberração – nº (%)		
	BENZION 1094 LEE 1984 RHODES 1984		
Poliploidia	1 (0,3)	2 (0,7)	37 (14,4)
Aneuploidia	0	0	14 (5,4)
Alterações estruturais:			
Permuta			
Inversão	23(6,2)	45 (16,9)	32 (12,5)
Deleção	0	0	0
	12 (3,2)	59(22,1)	36 (14,0)
Total de plantas analisadas	370	267	257

Em 1984 Benzion realizou seus estudos com três linhagens de células em cultura que produziram translocações citológicas idênticas entre os braços longos

⁷⁹ Adaptada de Ernesto Paterniani, 1987.

dos cromossomos 7 a 8, ou seja, essas aberrações citológicas mostram a quebra entre *knobs* e centrômeros de cromossomos heterocromáticos. O cruzamento de híbridos com um mesmo genótipo com a linhagem A188 como um dos parentais originou a cultura.

Existe a possibilidade de aplicação de biotecnologia no melhoramento do milho. Esta pode ser feita através de diferentes modos: introdução de variabilidade genética de outras espécies; formação de variabilidade em genótipos homozigóticos, obtenção de genótipos homozigotos; desde que seja a partir de células haplóides de plantas heterozigóticas. Para isso é necessário que sejam desenvolvidas tecnologias de regeneração de plantas “in vitro” para essa espécie, tais como: tecidos somáticos, empregados para o melhoramento de genótipo homozigotos, cultura de embrião interespecífico, fertilização e desenvolvimento de embrião “in vitro” e regeneração de plantas a partir de protoplastos e cultura de células ou tecidos haplóides, como óvulos e microsporócitos uninucleados.

Em 1987 Paterniani assim se expressou:

Entretanto, com o decorrer das gerações de auto-fecundação, a homozigose é atingida rapidamente (seis a sete gerações). Uma vez homozigótica a linhagem já não possui a variabilidade genética necessária para que se faça a seleção. Eventualmente, defeitos percebidos em linhagens já na geração S_2 - S_3 , podem ser corrigidos através de seleção em linhas irmãs, desde que haja variabilidade genética. Entretanto, no geral, a partir de S_6 - S_7 fica muito difícil selecionar dentro da linhagem, devido à homozigose. O que se pode fazer, dentro do melhoramento clássico é introduzir, na linhagem, variabilidade genética, para a característica desejável, mediante cruzamentos com outra linhagem que possua caráter. Em geral, nesses casos, emprega-se o método de retrocruzamento, embora outras metodologias possam ser utilizadas⁸⁰.

Os milhos tropicais e sub-tropicais possuem mais de 250 raças com uma enorme variabilidade genética, o que proporciona inúmeras possibilidades de combinação para que os melhoristas. Devido ao milho estar sujeito a algumas

⁸⁰ Ernesto Paterniani, e Glauco Viegas Pinto. *Melhoramento e produção de milho*, p. 351.

doenças específicas não apresentando, portanto resistência às mesmas, há o interesse de introduzir no milho a variabilidade genética exógena que se dá com a cultura de embrião F_1 , fertilização “in vitro” e transferência de DNA e organelas⁸¹.

A cultura de embrião F_1 é a técnica aplicada com cruzamento de milho com espécies do gênero *Tripsacum*. Segundo estudos realizados por Randolph (1955), o primeiro passo é abrir as palhas da espiga em duas ou três porções que caibam uma mistura de pólen de milho e *Tripsacum* próximo do ovário, fechando a palha novamente com um elástico e cobrindo a espiga com um saco de papel, posteriormente mistura-se o pólen de milho até a proporção $\frac{1}{4}$ e deverá ter genes dominantes para o endosperma, porém serão híbridas quase todas as sementes, pois o *Tripsacum* atingirá o ovário mais cedo que o pólen do milho. Quanto tiver completado duas ou três semanas o embrião F_1 atingirá o desenvolvimento na planta e deverá ser retirado e cultivado “in vitro”.

Mesmo com essa técnica de auxílio, as espécies mais distantes podem não se cruzarem. Nesse caso, poderia ser feita a fertilização *in vitro*, que seria realizada com espigas com estilo-estigmas com 2 a 3 cm.

A transferência de DNA e organelas encontra duas barreiras para sua realização. Sendo a transferência de DNA conseguida em vegetais através de metodologias que envolvem protoplastos e transformações através de agentes infecciosos, até o presente momento não foi possível aplicar nenhuma dessas técnicas no milho, porque não se conseguiu a regeneração de plantas a partir de protoplastos e também as duas espécies de *Agrobacterium* não infectam monocotiledôneas. A transferência de organelas também exige o emprego de protoplastos. Segundo Earle (1984) a engenharia genética no milho só poderá ocorrer nos próximos anos, ou seja, a longo prazo.

⁸¹ Ernesto Paterniani, Glauco Viegas Pinto. *Melhoramento e produção de milho*. p. 349.



ESALQ - É uma população de milho de grãos duros de cor laranja, obtida experimentalmente para servir de material para seleção para produtividade.



Plantas de milho, mostrando espigas desenvolvidas, com a maturação completa (palhas secas), e as plantas ainda verdes, o que indica vigor e boa sanidade.

3.3 OS ESTUDOS DE PATERNIANI SOBRE O MELHORAMENTO DO MILHO

Paterniani desenvolveu uma série de investigações relacionadas ao melhoramento do milho sendo que encontramos vários trabalhos que ele publicou a respeito do assunto, a partir de 1967. Pode-se dizer que as diversas técnicas que ele empregou se basearam no que Charles Darwin e Alfred Russel Wallace chamaram de “seleção artificial”. Darwin e Wallace se referiram a este tipo de seleção que era feita pelo criador e o agricultor. Segundo esses autores, era

possível estabelecer uma analogia entre este tipo de seleção, feita pelo homem, e o trabalho da Seleção Natural, feito na Natureza⁸².

Paterniani, em seus estudos, aplicou o termo seleção às seguintes modalidades: seleção entre e dentro de famílias de meios irmãos (1967); seleção massal para a prolificidade com controle em ambos os sexos (1977); seleção recíproca recorrente baseada em famílias de meios irmãos (1977); seleção recorrente baseada em famílias de meios irmãos e plantas prolíficas, em colaboração com Ronald Vencovsky (1978)⁸³; seleção para isolamento reprodutivo entre duas populações de milho (1969). Logo mais abaixo trataremos um pouco sobre cada uma delas, sendo que alguns desses casos serão abordados de maneira mais breve que os outros. Entretanto, antes de fazer isso, consideramos importante esclarecer alguns conceitos que se referem aos diferentes tipos de seleção mencionados por Paterniani, aos quais ele se referiu em um trabalho que publicou em um período posterior àquele dos trabalhos mencionados acima⁸⁴.

Segundo Paterniani, os métodos para melhoramento vegetal de populações têm sido chamados de maneira ampla de “seleção recorrente”. Ele explicou que esta consiste na repetição do mesmo procedimento depois que um ciclo de seleção é completado. Em suas próprias palavras:

Basicamente a seleção recorrente consiste em identificar e selecionar, dentro de uma população, os genótipos⁸⁵ que irão produzir o ciclo seguinte melhorado. O mesmo procedimento é repetido para cada ciclo, daí o conceito de seleção recorrente⁸⁶.

⁸² Ver a respeito em Viviane Arruda do Carmo, *As concepções evolutivas de Charles Darwin no “Origin of species” e de Alfred Russel Wallace em “Darwinism”: uma comparação*. São Paulo:PUC, 2006.

⁸³ Ernesto Paterniani e Ronald Vencovsky, “Reciprocal recurrent selection base don half-sib families and prolific plants in maize”, *Maydica* 23 (1978): 209-219.

⁸⁴ Ernesto Paterniani, “Maize breeding in the tropics”, *Plant Sciences* 9 (2, 1990): 125-145

⁸⁵ O termo genótipo se refere às características genéticas de um organismo. Refere-se ao total dos genes presentes em um organismo.

⁸⁶ Ernesto Paterniani, “Maize breeding in the tropics”, *Plant Sciences* 9 (2, 1990): 125-145, na p. 131.

Paterniani esclareceu que, conforme os objetivos da seleção existem dois tipos que são respectivamente: a melhoria dentro de uma mesma população e a melhoria entre duas populações. O primeiro tipo tem por objetivo melhorar a frequência de genes desejáveis dentro de uma mesma população. O segundo tipo tem por objetivo melhorar o cruzamento entre duas populações e obter linhagens melhores que apresentarão híbridos superiores. Ele explicou ainda que, a maior parte dos programas de melhoria, utiliza a melhoria dentro de uma população. A melhoria entre populações, embora teoricamente propicie melhores resultados, não tem uma aceitação geral por parte dos agricultores, principalmente aqueles que trabalham em locais onde o clima é temperado. Mencionou ainda que a melhoria dentro de uma população começou a ser utilizada em torno de 1950⁸⁷.

3.3.1 Seleção entre e dentro de famílias de meios irmãos (1967)

Este tipo de seleção, segundo Paterniani, permite uma melhor avaliação dos indivíduos, suprimindo uma das falhas da seleção massal que é uma das formas de seleção dentro da população, sobre a qual falaremos logo mais abaixo. Um dos problemas da seleção massal é justamente a falta de controle ou avaliação da progênie dos indivíduos selecionados. A aplicação desta técnica por Paterniani (1967) foi feita em três ciclos levando a um aumento médio de produtividade de 13,6% por ciclo.

A seleção entre e dentro de famílias de meios irmãos é feita em duas etapas. A primeira consiste em selecionar as melhores famílias entre as que estão sendo avaliadas. A segunda, que se segue à primeira, consiste em selecionar as melhores plantas das famílias de meios irmãos, dentro daquelas que foram selecionadas inicialmente. Esta segunda etapa, de acordo com Paterniani, corresponde à seleção massal. Segundo o autor, a avaliação das famílias deve ser feita em uma estação ou uma vez por ano, conservando as sementes de cada uma delas. Depois da avaliação dos dados, as melhores famílias são identificadas. Na sequência, essas famílias são plantadas isoladamente e as melhores plantas de cada família são selecionadas para fornecer famílias de meios irmãos para o próximo ciclo⁸⁸.

⁸⁷ Ernesto Paterniani, "Maize breeding in the tropics", p. 132.

⁸⁸ E. Paterniani, "Selection for reproductive isolation between two populations of maize", pp. 134-135.

3.3.2 Seleção massal para prolificidade⁸⁹ com controle em ambos os sexos (1977)

Embora a seleção massal simples, que consiste em selecionar as melhores espigas das melhores plantas de uma população, usando as sementes selecionadas dessas espigas para serem plantadas na próxima geração, tenha sido utilizada pelos indígenas e fazendeiros há muito tempo, segundo Paterniani, apresenta alguns problemas tais como: a falta de controle da heterogeneidade do solo, a inadequação das amostras de sementes a serem utilizadas nas próximas gerações, entre outros⁹⁰. Nesse sentido, ele desenvolveu uma nova técnica, onde procurou aperfeiçoar a seleção em ambos os sexos, incluindo a seleção para prolificidade.

De acordo com o autor, é feito o plantio de um bloco isolado, onde deverá ser feita a seleção da população. Na época do florescimento, os segundos brotos de espigas (aqueles que correspondem à segunda espiga ou aquela que está mais abaixo) são protegidos com saquinhos antes que apareçam os estigmas. Isso é feito entre 5 e 7, dependendo da uniformidade da população. As plantas que apresentam uma espiga e espigas que estão na parte mais alta não são protegidas com saquinhos. Então, todas as plantas que não têm brotos protegidos, as que apresentam uma espiga podem ser removidas. A seguir os saquinhos que estão cobrindo as segundas espigas são removidos. Conseqüentemente, as segundas espigas vão ser polinizadas somente pelas plantas prolíficas. As sementes obtidas a partir dessas espigas serão plantadas no próximo ciclo, em relação ao qual será adotado o mesmo procedimento⁹¹.

Os resultados obtidos por Paterniani, a partir da seleção de duas populações (Piranão VD-2 e Piranão VF-1) para três ciclos, mostraram no quarto ciclo mostraram um aumento da prolificidade, uma maior sincronização entre o florescimento masculino e feminino, o que conferiu a ele uma maior adaptação a condições adversas⁹². Assim, esse método que permitiu selecionar o milho para a prolificidade (mais de uma espiga por colmo antes do florescimento) apresentou

⁸⁹ A prolificidade consiste na habilidade que o milho apresenta para produzir mais de uma espiga por colmo.

⁹⁰ Ernesto Paterniani, "Maize breeding in the tropics", p. 132.

⁹¹ *Ibid.*, p. 133.

⁹² *Ibid.*, pp. 133-134.

algumas vantagens: aumento da produtividade de 6 a 19% em 4 ciclos, aumento de prolificidade em 14 a 16% e fez com que houvesse uma maior coincidência de floração masculina e feminina.

3.3.3 Seleção recíproca recorrente baseada em famílias de meios irmãos (1977)

A seleção recorrente recíproca (RRS), de acordo com Paterniani havia sido sugerida em 1960. Nesse tipo de seleção, duas populações básicas foram usadas sendo que as progênes S1 de cada população eram avaliadas com cruzamentos com a outra população. Os S1 que fossem melhores eram cruzados entre si para produzir uma população melhor. Entretanto, apesar de oferecer vantagens em relação aos outros, sua aceitação foi baixa entre os produtores de milho, sendo que uma das razões para isso era o longo intervalo entre os ciclos, que levava a ganhos baixos e menor oportunidade para selecionar para a próxima estação⁹³.

Paterniani sugeriu então uma modificação para a seleção recorrente recíproca. Esta modificação consistia em plantar no mesmo ano o material escolhido da produção e, cerca de um mês depois, os lotes de recombinantes das famílias de meio-irmãos. Assim que os dados estivessem disponíveis, as melhores plantas das colheitas das famílias de meios irmãos estavam originando uma nova amostra de famílias de meios irmãos para iniciar o ciclo 2.⁹⁴

Os resultados da aplicação desse método foram relatados por Paterniani e Vencovsky (1977)⁹⁵, após um ciclo de seleção (três anos). Eles explicaram:

As progênes foram selecionadas tendo como base a produção do grão e a resistência [...] e muitas [...] progênes foram descartadas [...]. Em duas populações, Cateto, um material laranja duro, representando uma raça local e Piramex, um material amarelo [...], de germoplasma Tuxpeño, sua produtividade em duas populações aumentou quase 6%, enquanto seu cruzamento em F1 melhorou em 7,5% sua [...] resistência⁹⁶

⁹³ Paterniani, "Maize breeding in the tropics", pp, 136-137.

⁹⁴ Paterniani, 1990, p. 137.

⁹⁵ Ernesto Paterniani, e Roland Vencovsky, "Recent recurrent selection in maize (*Zea Mays* L.) based on testcrosses of half-sib families". *Maydica* 23(1978): 209-219.

⁹⁶ Paterniani, "Maize breeding in the tropics", p, 137.

3.3.4. Seleção recorrente recíproca baseada em famílias de meios irmãos e plantas prolíficas (1978)

Conforme mencionamos anteriormente, a prolificidade é a habilidade que o milho apresenta para produzir mais de uma espiga por colmo. Como a prolificidade está mais relacionada com a produtividade do grão do que o peso do grão, então a seleção para a prolificidade resultou em mais melhorias sob esse aspecto do que em relação ao peso do grão ⁹⁷.

Além das modificações sugeridas por Paterniani em relação à RRS, que mencionamos na seção anterior, ele sugeriu outras, utilizando famílias de meios irmãos obtidas a partir de plantas prolíficas através dos seguintes procedimentos:

Em primeiro lugar, devem ser plantados dois blocos, sendo que um com a população A de indivíduos femininos e a B de indivíduos masculinos e o outro sendo o oposto. Na época do florescimento, os brotos das segundas espigas das plantas prolíficas do material feminino nos dois campos são cobertos com saquinhos. Quando os pistilos desses brotos estão prontos para serem polinizados, deve se coletar pólen de plantas prolíficas ou daquelas que forem preferidas do material macho do outro campo. A seguir misturar o pólen obtido de 50 ou mais plantas do material macho (pode ser do bloco B), fazer a polinização dos brotos das plantas fêmeas (do bloco B) no outro campo. De modo análogo, o pólen das plantas A (material macho de um campo) é utilizado para polinizar as plantas B (fêmeas) do outro. A outra espiga fica aberta para a polinização pela população masculina. Dessa maneira, dois tipos de famílias de meios irmãos são produzidas. A primeira através das progênies obtidas entre as duas famílias de meios irmãos (a partir das espigas abertas à polinização). A segunda através das progênies de meios-irmãos obtidas pelo cruzamento de plantas dentro de uma mesma população (através da polinização feita pelo homem). Após a avaliação e reconhecimento dos cruzamentos feitos anteriormente, inicia-se o segundo ciclo. Utilizando-se as sementes que correspondem às plantas femininas (da espiga polinizada pelo homem), plantar dois blocos, como no ano anterior. As plantas correspondem agora a A1 e B1 (primeiros ciclos). Na época da floração, deve se proceder de modo análogo ao ano anterior. De acordo com Paterniani, esse procedimento propicia ao

⁹⁷ *Ibid.*, p. 138.

mesmo tempo recombinação das progênes de famílias de meios irmãos e a obtenção material para testar o cruzamento⁹⁸.

Conforme Paterniani, o procedimento acima permite que se obtenha um ciclo a cada duas estações (ou anos). Entretanto, é possível fazer uma modificação que permite que um ciclo seja completado em uma estação ou ano. Após o primeiro ciclo, planta-se no mesmo ano o material para teste, depois de um mês os blocos isolados. A polinização é feita manualmente. Quando os dados estiverem disponíveis, apenas o material das plantas femininas das melhores famílias de meios irmãos que foram polinizadas manualmente é semeado para os cruzamentos⁹⁹. Paterniani e Vencovsky (1978)¹⁰⁰ apresentaram bons resultados de experimentos onde utilizaram duas populações, “Dent Composite” (a maior parte germeplasma de Tuxpeño) e “Flint Composite” (a maior parte de germeplasma era caribeano e colombiano e parte do Cateto brasileiro). Houve um aumento de 3,5% nas duas populações e de 6,2% no híbrido produzido entre elas¹⁰¹.

3.3.5 Seleção para isolamento reprodutivo entre duas populações de milho (1969)

Paterniani cruzou inicialmente duas variedades de milho: *Zea mays* L. *Perola Piracicaba*, de cor branca e *Pajimaca*, um milho cubano amarelo e doce. Essas duas variedades tinham genes marcadores recessivos contrastantes. Essas duas variedades foram plantadas no mesmo campo em 1962, sendo que as plantas de uma variedade foram plantadas ao redor da outra, de modo a permitir seu cruzamento. A partir desse plantio, foram selecionadas todas as espigas que mostravam menos de 30% de intercruzamento. A partir do cruzamento dessas entre si, os grãos homogaméticos¹⁰² foram separados para serem plantadas em 1963, o que consistiu no primeiro ciclo. Um novo campo, semelhante ao primeiro, foi preparado, utilizando somente sementes puras das duas populações. Foi utilizado o mesmo número de grãos de cada espiga. Todas as espigas que mostravam menos

⁹⁸ Paterniani, “Maize breeding in the tropics”, p. 138.

⁹⁹ *Ibid.*,

¹⁰⁰ Paterniani e Vencovsky, “Reciprocal recurrent selection based on half-sib families and prolific plants in maize”.

¹⁰¹ Paterniani, “Maize breeding in the tropics”, p. 138.

¹⁰² O termo homogamético se refere ao sexo que pode produzir apenas um tipo de gameta.

de 20% de intercruzamento foram reservadas e as sementes puras separadas para o segundo ciclo. Em 1964, ocorreu o plantio sendo que todas as espigas de variedade branca com menos de 5% de intercruzamento foram salvas. Paterniani explicou que, “como não havia muitas sementes da variedade amarela com baixa porcentagem de intercruzamento, ficou decidido reservar as espigas que mostrassem mais de 20% de intercruzamento”¹⁰³. O terceiro ciclo foi plantado em 1965 e somente as espigas de ambas as populações que mostraram menos que 2,5% de intercruzamento foram reservadas. A partir do plantio do quarto ciclo em 1966 as espigas brancas com menos de 0,5% de intercruzamento foram reservadas. Em 1967, o quinto ciclo foi plantado. Entre as 355 plantas brancas reservadas todas apresentavam espigas com 0% de intercruzamento, nenhuma delas apresentando grãos amarelos. Por outro lado, as 281 plantas reservadas da variedade amarelo doce, apresentavam menos que 1% de intercruzamento (Paterniani, 1969, p. 535).

A partir dos resultados obtidos nesse experimento, Paterniani concluiu que o principal aspecto foi a rapidez com que se desenvolveu praticamente um isolamento reprodutivo completo entre as duas populações de milho. Ele assim se expressou:

O rápido desenvolvimento do isolamento reprodutivo indica que a seleção foi bastante efetiva. Uma vez que essa seleção se baseia na variabilidade gênica, segue-se que deve haver uma alta possibilidade de herança do caráter que está sob o efeito da seleção. [...] ¹⁰⁴

Ele acrescentou ainda que “a rapidez do desenvolvimento do isolamento reprodutivo no milho parecia ser maior ainda do que aquele que havia sido obtido entre *Drosophila pseudoobscura* e *Drosophila persimilis* por Koopman (1950)”¹⁰⁵

¹⁰³ Ernesto Paterniani, “Selection for reproductive isolation between two populations of maize, *Zea mays* L,” *Evolution* 23 (1969): 534-547, 1969, na p. 535.

¹⁰⁴ *Ibid.*, p. 542.

¹⁰⁵ Ernesto Paterniani, “Selection for reproductive isolation between two populations of maize, *Zea mays* L ,p. 543.

3.4 O MATERIAL UTILIZADO POR PATERNIANI EM DIVERSOS EXPERIMENTOS ENVOLVENDO CRUZAMENTOS ENTRE DIFERENTES RAÇAS DE MILHO

O material utilizado por Ernesto Paterniani no estudo de cruzamentos interracialais de milho foram as raças¹⁰⁶ assim discriminadas:

Itaici, pertencente a uma variedade do grupo racial “Dente Paulista”, conhecido como o milho dentado amarelo, sendo mais cultivado dentro do Estado de São Paulo. Sua origem é híbrida, resultante do cruzamento natural com Cateto, espécie já existente no continente em épocas pré-colombianas, variedade de grão duro e coloração laranjada intensa.

A raça de milho conhecida como “Cristal Paraguai” possui endosperma duro e branco, suas plantas são altas e os grãos maiores, conhecido no Paraguai pelo nome de “avati tupi”.

O milho mais comum entre os índios Guaranis e os **Maia**s cultivado no Paraguai é conhecido como “Guarani Amarelo”, possuindo endosperma mole amiláceo branco e devido à presença de aleurona, sua coloração é amarela.

Encontrado somente por uma vez no Estado do Rio Grande do Sul, o milho “Lenha apresenta” endosperma amiláceo branco, apresentando o sabugo grosso e grande número de fileiras (em média 22,5).

A raça cultivada na região de La Plata, Argentina, é conhecida como “Canário de Ocho”, possuindo espigas longas e sempre com oito fileiras de grãos duros e de coloração alaranjada escura.

O milho ‘Caingang’ é dentado branco, de endosperma amiláceo e foi cultivado pelos índios Caingang, habitantes da região que vai do Estado de São Paulo ao Uruguai, onde ainda hoje em algumas áreas mantidas sob os cuidados do Serviço de Proteção aos Índios é encontrado.

A raça mais tropical cultivada na parte baixa (nível do mar) do Estado de Vera Cruz no México é o milho “Carmen”, dentado branco e representante da raça mexicana Tuxpeño.

“Vandeño” é um milho dentado branco cultivado no México na costa do Pacífico, onde o clima é seco.

¹⁰⁶ Ernesto Paterniani, *Cruzamentos Interracialais de milho*, pp.4 - 7.

Milho dentado branco com espigas grossas e curtas possuindo o nome de “Zapalote Grande”, também cultivado no México próximo à costa do Pacífico.

Cultivado no México, principalmente nos Estados de Jalisco e Nayarit, o “Tabloncillo” é um milho duro branco, geralmente possuindo espigas com oito fileiras de grãos. Sua principal característica é o grão cristalino e duro.

O milho mexicano de origem mais primitiva, cultivado nos Estados de Sinaloa e Sonora, conhecido como “Chapalote”, possui milho duro e endosperma branco com pericárpio marrom, característico da raça.

Essas raças mexicanas foram introduzidas pelos geneticistas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz em 1950 e depois multiplicadas pela polinização¹⁰⁷ à mão em 1951. Eles cruzaram as plantas irmãs entre si no verão de 1956-57, plantando sementes das diferentes raças de milho em fileiras medidas para que cada par a ser procriado ficasse bem próximo¹⁰⁸.

Para obter uma coincidência do florescimento das diferentes raças, as variedades de milho foram plantadas em épocas diferentes. Paterniani explicou que somente não foi possível obter sementes do cruzamento entre Chapalote x Guarani amarelo e Chapalote x Lenha¹⁰⁹.

3.5 TÉCNICAS UTILIZADAS POR PATERNIANI

Paterniani explicou como deveriam ser feitos os experimentos:

As variedades, seus cruzamentos e testemunhas foram plantados em três ensaios de produção nos anos de 1958-59, sendo um ensaio em cada uma das localidades: Piracicaba, São José do Rio Pardo e São Carlos. Cada experimento foi constituído de 81 tratamentos, dispostos em *lattice* triplo 9x9 com três repetições. Cada parcela era constituída de uma fileira de 10m, sendo o espaçamento entre fileiras de 1m, ocupando assim cada parcela uma área de 10m². As sementes foram plantadas em covas distanciadas 40 cm

¹⁰⁷ Transferência de grão de pólen da antera da flor masculina ao estigma das flores femininas. Para que haja a polonização no milho é necessário que as flechas estejam soltando pólen e a receptividade das barbas seja consciente com essa altura do pólen.

¹⁰⁸ Ernesto Paterniani, *Cruzamentos interraciais de milho*, pp.4 - 7.

¹⁰⁹ *Ibid.*

dentro da fileira, semeando-se duas plantas por cova. Mais tarde procedeu-se ao desbaste, deixando – se duas plantas por cova. Assim, uma parcela completa era constituída de 25 covas com duas plantas cada. Cada repetição ocupou um bloco compacto de modo a permitir também uma análise dos ensaios como blocos ao acaso. Anotamos para cada parcela, dados relativos ao acamamento, número de plantas (stand), produção obtida do peso das espigas despalhadas, e percentagem de humidade dos grãos. Posteriormente as produções foram corrigidas descontando-se o teor de humidade dos grãos, para cada parcela¹¹⁰.

Após tomarem essas medidas, Paterniani e a equipe na secção de Genética da ESALQ o “stand” tem se apresentado baixo, sendo usado o método da covariância do peso em relação ao mesmo, sendo usada posteriormente o coeficiente de regressão da produção em relação ao “stand” localizado em cada pesquisa.

Foi calculado o valor indicativo da competição biológica entre as plantas, análise conjunta dos três experimentos relatados por Paterniani acima, valores relativos às porcentagens das produções dos cruzamentos em relação à média da produção dos pais.

Os resultados dessas pesquisas obtidos por Paterniani foram que “as interações “tratamentos x locais” não atingiram significância estatística. Apenas o χ^2 para o componente devido a “grupos de tratamentos x locais” atingiu o nível de 5% de significância “¹¹¹.

3.6 ANÁLISE DAS PRODUÇÕES

Através de todas as pesquisas, e produções elaboradas por Paterniani e a equipe na secção de Genética da E. S. A. “Luiz de Queiroz” foi obtido o resultado que a produção média das raças foi de 1086 kg/ha, ou seja, um aumento de 30,3% partindo da média dos cruzamentos de 4021kg/ha o que é considerado um valor

¹¹⁰ Ernesto Paterniani, *Cruzamentos interraciais de milho*, pp.7 - 8.

¹¹¹ Ernesto Paterniani, *Cruzamentos interraciais de milho*, p. 13.

médio. O valor relativo de porcentagem a média dos pais¹¹², variou de 89,3% a 200,6%. Os valores menores envolveram as raças Guarani amarelo, Cristal Paraguai e Caingang, o que indicou a ausência de diversidade genética entre as três raças.

Caingang x Tabloncillo também apresentou um valor baixo (102,4%) em relação à média dos pais. Neste caso, como ambos esses milhos não apresentam qualquer parentesco conhecido, deve interpretar tal resultado como devido a uma ação gênica desfavorável a um efeito heterótico na produção do híbrido entre esses dois milhos. Valores extremamente altos foram obtidos para os cruzamentos Zapalote Grande x Canário de Ocho (193,1%).

Os valores dos cruzamentos expressos em porcentagem, em relação ao pai mais produtivo, variaram de 81% a 184%. Como os dados sobre a porcentagem em relação à média dos pais, estes também evidenciam o considerável grau de heterose observado em muitos dos cruzamentos. A média de todos os valores sobre porcentagem em relação à média dos pais é de 132,7%, com um erro standard de 19,28 e um coeficiente de variação igual a 14,5%. Para as porcentagens sobre o pai mais alto temos um valor médio de 113,8% com um erro standard igual a 19,59 e o coeficiente de variação igual a 17,2%, o que mostra que para este caráter a dispersão é relativamente um pouco maior¹¹³.

Observadas as raças em ordem decrescente em relação à suas produções, a média dos cruzamentos e prepotência tendem a diminuir na medida em que as produções das respectivas raças diminuem.

À medida que as produções das raças diminuem as porcentagens a um progenitor aumentam, sendo que para as raças mais produtivas essas porcentagens são baixas, dando uma indicação de grau de diversidade genética entre as raças que foram utilizadas.

Foi observado que o grupo duro x duro possui maior valor em heterose, porém, seus cruzamentos foram baixos deixando claro que os dentados elevam a produção de cruzamentos.

¹¹² Itaici é considerado o pai constante.

¹¹³ Ernesto Paterniani, *Cruzamentos interraciais de milho*, p. 14.

As raças mais produtivas tendem a dar origem a híbridos de igual produção. Porém, daquelas que apresentam baixa produção são obtidos híbridos de igual produção.

O resultado do cruzamento com milhos dentados foram superiores aos cruzamentos com milhos duros, em um percentual de 0,1% para todos os locais.

Foi obtida uma diferença significativa de 0,1% para todos os locais estudados quando as raças foram divididas em dois grupos sendo de alta e baixa produção. Esse resultado deixa claro que as produções das raças que determinam as produções dos cruzamentos, sendo mais importante do que o tipo de endosperma para com o vigor de híbrido.

97% dos cruzamentos estudados produziram mais do que a média dos pais e 76% produziram mais do que o pai mais produtivo, indicando assim a presença de heterose em grande parte dos cruzamentos, revelando uma boa amostra de diversidade genética.

Os cruzamentos obtidos com intervarietais, envolvendo milhos com endospermas diferentes, sugerem que sozinhos não possuem grande efeito sobre o vigor do híbrido. Paterniani comentou:

Não se pode generalizar o conceito largamente difundido na literatura de que cruzamentos envolvendo milhos com endospermas diferentes, notadamente dentados x duros e dentados x amiláceos, são aqueles que darão maior heterose¹¹⁴.

Apesar disso, os diferentes tipos de endosperma influem de maneira diferenciada na heterose observada nos cruzamentos. Segundo Paterniani, os milhos dentados em primeiro lugar elevam a produção dos cruzamentos e em segundo os amiláceos. Os milhos duros diminuem as produções dos híbridos. Ele explicou:

É importante salientar que os milhos duros no geral apresentam um teto de heterose inferior ao dos milhos dentados ou amiláceos. As produções das variedades como tais, constituem um fator bem mais seguro quanto à heterose

¹¹⁴ Ernesto Paterniani, *Cruzamentos interraciais de milho*, p. 23.

resultante, o que aliás tem sido apontado na literatura, embora como sendo de importância secundária, enquanto que no nosso trabalho verificamos ser esse um fator de primeira importância¹¹⁵.

Os milhos Itaici e Cateto oferecem maiores possibilidades de um melhoramento através da seleção massal, ultrapassando provavelmente assim o nível de produção dos híbridos comerciais atuais.

Paterniani, entretanto, percebeu a necessidade de mais estudos e em maior escala envolvendo o cruzamento entre raças diferentes de milho para se obter uma maior produtividade. Ele assim se expressou:

[...] o presente trabalho, representando uma amostra de raças de milho, serve apenas para apresentar uma idéia do que se pode obter com o estudo de um número mais amplo de germoplasmas. Acreditamos que para a contínua obtenção de milhos mais produtivos, é grandemente necessário um estudo em maior escala de cruzamentos e dos efeitos genéticos relacionados a um grande número de raças de milho¹¹⁶.

¹¹⁵ Ernesto Paterniani, *Cruzamentos interraciais de milho*, p. 23.

¹¹⁶ *Ibid.*, p. 26.

CAPÍTULO 4

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme consta na introdução desta dissertação, o objetivo inicial desta pesquisa que trata das contribuições de Ernesto Paterniani para o melhoramento do milho era, além de descrevê-las, averiguar em que essas se diferenciavam do que havia sido proposto antes em relação ao assunto, principalmente pelo mestre de Paterniani, Gustav F. Brieger. Infelizmente, devido a uma série de problemas de ordem pessoal, não foi possível analisar os trabalhos desenvolvidos pelo Prof. Brieger, para poder fazer uma comparação entre as duas contribuições. Assim, a análise se restringiu apenas às contribuições de Paterniani. Espero que, em oportunidade futura, possa desenvolver esta outra parte.

Por outro lado, gostaria de me desculpar com o Prof. Paterniani, caso tenha cometido algum engano em relação à terminologia ou conceitos empregados em seus trabalhos porque, devido às mesmas razões acima, não foi possível entrar em contato com ele mais vezes para esclarecer aspectos importantes específicos, como seria desejável.

Esta pesquisa mostrou que o trabalho de Paterniani foi intenso e representou uma contribuição relevante para o melhoramento do milho em nosso país.

A partir a introdução da análise genética de populações em milho por Friedrich Gustav Brieger no Brasil, Paterniani, como seu aluno e discípulo iniciou sua vida científica e se especializou em técnicas de melhoramento em milho. A meu ver, as principais pesquisas desenvolvidas por Paterniani foram realizadas nos anos de 1967, 1969, 1977 e 1978.

Em 1967 foi realizada a pesquisa de seleção entre e dentro de famílias de meios irmãos em milho, sendo seu primeiro trabalho publicado na literatura internacional obtendo 3 ciclos de seleção, tendo em cada ciclo um aumento médio de produtividade de 13,6%. Os estudos subseqüentes comprovaram e confirmaram a eficiência do método no melhoramento em várias populações de milho.

Na seleção para isolamento reprodutivo entre duas populações de milho, em 1969 foram usados genes marcadores contrastantes, duas populações de milho cultivadas mescladas no mesmo campo sendo selecionadas por 5 gerações não

tendo cruzamentos entre elas, desenvolvendo-se mecanismo de isolamento reprodutivo. Foi a única pesquisa realizada no gênero de plantas sendo clássica nos cursos de evolução da Universidade Califórnia contendo perspectivas de emprego para evitar o fluxo gênico envolvendo plantas transgênicas.

A seleção massal em milho para prolificidade com controle em ambos os sexos, foi realizada em 1977 contendo métodos extremamente simples no qual permite que selecione milho¹¹⁷ tendo um aumento da produção de 6 a 19% em 4 ciclos, 14 a 16% mais prolificidade e maior floração masculina e feminina.

Em 1977 juntamente com Vencovsky foi realizada a seleção recíproca recorrente baseada em famílias de meios irmãos sendo um método mais funcional do que o original promovendo 6% de aumento da produtividade em duas populações e 7% no híbrido entre as mesmas.

No ano seguinte juntamente com Vencovsky, Paterniani fez experimentos envolvendo a seleção recorrente recíproca baseada em famílias de meios irmãos e plantas prolíficas promovendo o aumento de 3,5% nas duas populações e 6% no híbrido entre as mesmas.

Todas essas pesquisas foram conduzidas com os objetivos de identificar as melhores fontes de germoplasma de milho para o Brasil, sendo destacados os milhos Tuxpeño do México e duros da Colômbia dos quais foram muitos utilizados nos programas oficiais e privados. O desenvolvimento dos métodos de melhoramento viáveis com alta eficiência para a produtividade de caracteres agrônômicos.

As variedades desenvolvidas foram utilizadas e multiplicadas por instituições oficiais como a Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo, SUDENE, EMBRAPA para o uso dos agricultores. As variedades desenvolvidas têm sido empregadas como fontes de linhagens para a obtenção de híbridos comerciais.

Além disso, o trabalho desenvolvido por Paterniani abriu novas perspectivas. Este cientista considera que para o desenvolvimento de coleções nucleares ou *core collections* é necessário para que se possibilite a preservação e utilização de forma adequada do germoplasma existente, resultando em um melhor conhecimento dos acessos e as possibilidades de uso no melhoramento, já que as variabilidades

¹¹⁷ Contendo mais de uma espiga por colmo antes do florescimento.

genéticas existente são muito maiores do que a capacidade dos melhoristas em utilizá-las.

Os recursos financeiros para as pesquisas estão cada vez mais escassos, ao contrário dos custos requeridos em várias pesquisas em especial da área de biotecnologia. Visando a melhoria deste problema os recursos destinados a pesquisas e outros, as decisões deverão ser tomadas com cautela e planejamentos, tanto no setor público como no privado.

Existem inúmeras técnicas de seleção, em especial de seleção recorrente, disponíveis além da capacidade adquirida pelos melhoristas para usá-las. Por serem consideradas simples e com baixo custo, a expectativa é que sejam empregadas nos programas públicos, nos quais métodos de seleção que não foram aplicados tenham a possibilidade, como é o caso atual de muitas hortaliças e autogâmicas.

O pouco recurso e múltiplas técnicas disponíveis, faz com que seja natural que as técnicas convencionais com resultados esperados e mais seguras devem ser as mais usadas. A tendência é que seja empregado o método do retrocruzamento com maior intensidade. ¹¹⁸.

Apesar de todas as suas contribuições e considerando a existência de vários estudos relacionados ao melhoramento genético de plantas, que mostram a existência de consideráveis diferenças entre os melhoristas e seus respectivos programas, Paterniani considera que existe ainda muito por fazer nesse campo.

Finalizando, esta pesquisa levou à conclusão de que a contribuição de Paterniani foi bastante relevante pois além de introduzir modificações que contribuíram para o aperfeiçoamento de técnicas existentes, ele introduziu novas técnicas bastante eficientes para o melhoramento do milho além de desenvolver o banco de germoplasma brasileiro.

¹¹⁸ Ernesto Paterniani, *Melhoramento de plantas no século 21*, p-7.

BIBLIOGRAFIA

- ARAÚJO, Aldo Mellender. “A influência de Theodosius Dobzhansky no desenvolvimento da Genética no Brasil”. *Episteme* 3 (7, 1998): 43-54.
- . “Síntese evolutiva, constrição, ou redução de teorias: há espaços para outros enfoques?”. In: Maria Elice B. Prestes; Lílian A.-C. P. Martins & Waldir Stefano, *Filosofia e História da Biologia 1*. São Paulo: Mack Pesquisa, 2006. Pp. 5-19.
- ARBER, A. The Gramineae. A Study of cereal, bamboo, and grass. Cambridge: University Press, 1934.
- AZEVEDO, E. E. S. “Genética humana no Brasil: passado e presente”. *Ciência e Cultura* 41 (5, 1989): 442-445.
- CARMO, Viviane Arruda do. *As concepções evolutivas de Charles Darwin no Origin of species e Alfred Russel Wallace em Darwinism*. São Paulo: PUC, 2006.
- BRIEGER, Friedrisch Gustav “Hybridos de milho com referência especial à precocidade”. *Agric. Piracicaba* (13, 1938): 348-360.
- . “Limites unilaterais e bilaterais na análise estatística”. *Bragantia* 6 (1946): 479-545.
- . “Considerações sobre o milho indentado”. *Ciência e Cultura* 2 (1950): 60.
- BRIEGER, F. G. *Sobre a caracterização das raças indígenas de milho. 2ª. Reunião Latino-Americana de Fitogenética e Fitoparasitas*.
- BRIEGER, F.G.. “Evolução filogenética com referência especial às plantas superiores” in: C Pavan & A. B. da Cunha, orgs. *Elementos de Genética*. São Paulo: Editora Nacional, 1966.
- BRIEGER, F. G., J. T. A. Gurgel, E. Paterniani, A. Blumenschein & M. R. Alleoni. *Races of maize in Brazil and other Eastern South American Countries*. Publication 593. Washington: D. C.: National Academy of Sciences – National Research Council., 1958.

- BRITO, Ana Paula Oliveira Pereira de Moraes. *Nettie Maria Stevens e suas contribuições para a teoria cromossômica da hereditariedade: estudos sobre a determinação de sexo*. Dissertação de Mestrado. São Paulo: PUC, 2004.
- CANDOTTI, E. *Cientistas do Brasil: depoimentos*. São Paulo: SBPC, 1998.
- CASTRO, Orlando Melo . de & Antônio Carlos Moreira. *Ciência da terra. O Instituto Agrônomo e a pesquisa em benefício da qualidade de vida*. Campinas, IAC, [s.d.]....
- DANTES, M. A. M. “Institutos de pesquisa científica no Brasil”. *In: FERRI, M. Guimarães: S. Motoyama, coords. História da Ciência no Brasil*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1979.
- DARWIN, C. *Origem das Espécies*. Trad. E. Amado. Belo Horizonte: Villa Rica, 1994.
- DOBZHANSKY, Theodosius. *Genetics and the Origin of Species*. Columbia: Columbia University Press, 1937.
- . The race concept in biology. *Science. Monthly of London* . 52 (1941): 161-165.
- DRUMMOND, G. de A. *Seleção em massa. IV Reunião Brasileira do Milho*. Cruz das Almas: Bahia. 1959.
- EDALLO, C.; C. Zucchini; M. Perenzin & F. Salamini. “Chromosome variation and frequency of spontaneous mutants associated with in vitro culture and plant regeneration in maize”. *Maydica* 26 (1981): 39-56.
- EMBRAPA. Comunicação para transferência de tecnologia, 2000
- FANCELLI, Antonio Luiz & LIMA Urgel de Almeida. *Produção, Pré-Processamento e Transformação Agroindustrial*. [s.1], [s.ed.].
- FERRI, M. G. & S. Motoyama, orgs. *História das Ciências no Brasil*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1980.
- GREEN, C. T. e R. L. Phillips. “Plant regeneration form tissue cultures of maize”. *Crop Science* 15 (1975): 417-421.
- GEPTS, P. “A comparison between Crop Domestication, Classical Plant Breeding, and Genetic Engineering”. *Crop Science*, 42(22, 2002): 1780-1790.

- GOEDERT, Clara. "Germoplasma: o que é isso?". *Seed News* (Maio/Junho, 2002)
- HARLAN, H. V. e POPE, M. N. *The use and value of backcross in small grain breeding*. *Journal of Heredity* 13 (1922): 319-322.
- HUNNICUTT, B. H. *O milho. Sua cultura e aproveitamento no Brasil*. Rio de Janeiro: Editora Leite Ribeiro, 1924.
- Instituto Agrônomo de Campinas, 1887 – 1897: tem história para contar. Campinas, São Paulo: Instituto Agrônomo de Campinas, 1987. (BN)
- JONES, D. F. "The origin of flint and dent corn". *Journal of Heredity* 15 (1924): 417-419.
- JONES, D. F. "The productiveness of single and double cross first generation hybrids". *Journal of The American Society of Agronomy* 14 (1914): 241-252.
- JORGE, José Antonio, Emílio Bruno Germek, Ângelo Paes de Camargo, Olavo José Boock & Armando Conagin. *Memória do Instituto Agrônomo*. Campinas, IAC, 1993.
- KRUG, Carlos Arnaldo "Sexto Congresso Internacional da Genética. Ithaca – Nova York, 24 a 30 de agosto de 1932." *Revista de Agricultura* 7 (1932): 446-54.
- MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. *A teoria cromossômica da herança: proposta, fundamentação, crítica e aceitação*. Tese de Doutorado. Campinas: Unicamp, 1997.
- MAYR, Ernst. *Systematics and the origin of species*. New York: Columbia University Press, 1942.
- MAYR, Ernst. *The growth of biological thought. Diversity, evolution and inheritance*. Cambridge, MA.:Harvard University Press, 1982.
- MAYR, E. *O desenvolvimento do pensamento biológico: diversidade, evolução e herança*. Trad. Ivo Martinazzo. Brasília: UNB, 1998
- MONTE SIÃO, José Franco. "As contribuições de Theodosius Dobzhansky para o desenvolvimento da genética no Brasil (1943-1960): um estudo bibliométrico", in MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira; Maria Elice Brzezinski Prestes; Waldir Stefano & Roberto de Andrade Martins, orgs. *Filosofia e História da Biologia* 2. São Paulo: Fundo Mackenzie de Pesquisa (MackPesquisa), 2007.

- . *Theodosius Dobzhansky e o desenvolvimento da genética de populações de Drosophila no Brasil: 1943-1960*. Dissertação de Mestrado. São Paulo: PUC, 2008.
- PATERNIANI, Ernesto. Estudos sobre as raças do milho indígena “Caingang”. Tese de doutoramento. Piracicaba, ESALQ: 1954.
- . *Comportamento de variedades de milhos dentados amarelos dos Estados do Sul do Brasil*. Publicação Científica nº 2. Piracicaba: Instituto de Genética 1961.
- . *Cruzamentos Interraciais de milho*. Piracicaba: ESALQ, 1961.
- . “Selection for reproductive isolation between populations of maize”. *Zea mays L. Evolution* 23 (4, 1969): 534-547.
- . *Cruzamentos Interraciais de Milho*. Piracicaba: ESALQ, 1961.
- . *Department of Genetics and Institute of Genetics, Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz*. Piracicaba: Universidade São Paulo, 1969.
- . “Effective maize pollen dispersed in the field”. *Euphytica* 23 (1975) 129 – 134.
- . “Genética dos Mecanismos de Isolamento”. *Separata da Revista Ciência e Cultura*, vol.21 [s.ed]: 755-762.
- . “Reciprocal recurrent selection based on half – sibprogenies and prolific plants in maize (Zea May L.)”. *Maydica* 23 (1978): 209- 219.
- . “Selection for reproductive isolation between two populations of maize (Zea Mays L.)”. *Evolution* 23 (1969): 534 – 547.
- . “The races of maize. III. Choices of appropriate characters for racial classification”. *Econ Bot.* 23 (1969): 273.
- . “Maize breeding in the tropics”. *Plant Sciences* 9 (2, 1990): 125-142.
- . “Melhoramento de Plantas no Século 21”. Escrito em 25/04/03 – Material cedido pelo Prof. Paterniani em 2007.
- . “Milho: a engenharia do híbrido”. Escrito em Outubro de 2005 – Material cedido pelo Prof. Paterniani em 2007.

- PATERNIANI, Ernesto & Ronald Vencovsky. "Reciprocal recurrent selection based on half – sib families and prolific plants in maize". *Maydica* 23 (1978): 209-219.
- PATERNIANI, Ernesto & Glauco Viégas Pinto. *Melhoramento e Produção de Milho*. Campinas: Fundação Cargill, 1987.
- SCHWARTZMAN, Simon. *Formação da comunidade científica no Brasil*. São Paulo: Nacional/Finep, 1979.
- USP. *Departamento de Biologia Geral da Faculdade*. <http://dreyfrus:ib.usp.br>, 08 de Agosto de 2008.
- WEATHERWAX, P. "The phylogeny of *Zea mays*". *American Midland Naturalist* 16 (1935): 1- 71.