

**MODELO ESTOCÁSTICO PARA ESTIMAÇÃO DE PRODUTIVIDADE  
POTENCIAL DE MILHO EM PIRACICABA-SP**

**JANILSON PINHEIRO DE ASSIS**

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura  
"Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, para  
obtenção do título de Doutor em Agronomia, Área de  
Concentração: Fitotecnia.

**P I R A C I C A B A**  
Estado de São Paulo - Brasil  
Março – 2004

**MODELO ESTOCÁSTICO PARA ESTIMAÇÃO DE PRODUTIVIDADE  
POTENCIAL DE MILHO EM PIRACICABA-SP**

**JANILSON PINHEIRO DE ASSIS**

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **DURVAL DOURADO NETO**

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura  
"Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, para  
obtenção do título de Doutor em Agronomia, Área de  
Concentração: Fitotecnia.

**P I R A C I C A B A**

Estado de São Paulo - Brasil

Março – 2004

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Assis, Janilson Pinheiro de  
Modelo estocástico para estimiçãõ de produtividade potencial de milho  
em Piracicaba-SP / Janilson Pinheiro de Assis. - - Piracicaba, 2004.  
168 p. : il.

Tese (doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2004.  
Bibliografia.

1. Distribuição (Probabilidade) 2. Fenologia 3. Milho 4. Modelo estocástico  
5. Produtividade agrícola 6. Radiação solar I. Título

CDD 633.15

**“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”**

A Deus,

Pela iluminação e proteção durante todos os momentos,

AGRADEÇO

Aos meus queridos pais, Cícero Pinheiro de Assis e Maria Doralice de Assis, exemplos de carinho, amor, dedicação, honestidade e humildade,

DEDICO

À minha querida Wilbea, pelo incentivo, companheirismo e acima de tudo, amor,

OFEREÇO

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Dr. Durval Dourado Neto, pela orientação, ensinamentos, incentivos e grande amizade.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos durante 37 meses.

À Escola Superior de Agricultura de Mossoró (ESAM), através do Departamento de Fitotecnia, e ao Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), pela oportunidade.

Ao estudante de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem da ESALQ/USP, Luis Gonzaga Medeiros de Figueredo Júnior, pela permissão para uso do modelo agrometeorológico desenvolvido para a sua Tese de Doutorado.

Aos professores da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, com os quais cursei 16 disciplinas, e dois semestres de seminários em Fitotecnia.

A todas as pessoas que colaboraram de forma direta ou indireta para o planejamento, condução e conclusão deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABELAS .....	xii
RESUMO .....	xxi
SUMMARY .....	xxii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	5
2.1 Aspectos gerais, fenologia e características botânicas da cultura do milho ...	5
2.1.1 Aspectos gerais .....	5
2.1.2 Fenologia da cultura .....	7
2.1.3 Características botânicas da cultura do milho .....	9
2.2 Distribuição de frequências de variáveis climáticas e ajuste ou aderência à distribuições teóricas de probabilidades .....	11
2.3 Cultura de milho: ecofisiologia .....	18
2.4 Modelagem: aspectos gerais.....	26
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	43
3.1 Fonte de dados e características do clima de Piracicaba (SP) .....	43
3.2 Distribuições de densidade de probabilidades e função de distribuição de variáveis aleatórias contínuas .....	44
3.2.1 Distribuição uniforme (ou retangular) .....	44
3.2.2 Distribuição normal (ou gaussiana) .....	46
3.2.3 Distribuição de probabilidade triangular .....	49
3.2.4 Distribuição de probabilidade triangular simétrica .....	52
3.2.5 Distribuição de probabilidade normal truncada simétrica.....	52

3.3	Avaliação do grau de ajustamento: teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov .....	53
3.4	Modelo utilizado para estimação das produtividades de milho.....	54
3.4.1	Conversão de dióxido de carbono em carboidrato .....	55
3.4.2	Produtividade potencial de grãos.....	57
3.4.2.1	Correção para respiração de manutenção e crescimento .....	57
3.4.2.2	Correção para interceptação de radiação solar .....	57
3.4.3	Partição de carboidratos .....	58
3.4.4	Índice de colheita e produtividade potencial de grãos de milho .....	58
3.5	Descrição dos casos para simulação das produtividades.....	59
3.6	Geração dos números aleatórios .....	60
3.7	Avaliação do desempenho do processo de simulação.....	61
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	63
4.1	Variação temporal da temperatura em Piracicaba (SP) .....	63
4.2	Variação temporal da radiação solar global diária em Piracicaba.....	64
4.3	Temperatura.....	66
4.4	Radiação solar .....	83
4.5	Correlação entre temperatura e radiação solar .....	98
4.6	Índices de desempenho estatístico e análise de comparação entre os valores observados e simulados de temperatura e radiação solar global.....	99
4.6.1	Distribuição normal truncada simétrica.....	100
4.6.2	Distribuição triangular simétrica .....	102
4.6.3	Distribuição triangular assimétrica.....	105
4.7	Produtividade de grãos .....	121
4.8	Considerações finais .....	149
5	CONCLUSÕES .....	150
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	151
	APÊNDICE. Software (CD-ROM) .....	169

## LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Função densidade de probabilidade da variável aleatória contínua uniforme....	46
2 Distribuição densidade de probabilidade da variável aleatória contínua normal.....	49
3 Função de distribuição da variável normal padrão ou reduzida .....	49
4 Gráfico representativo da função da distribuição densidade de probabilidade triangular da variável aleatória contínua triangular.....	51
5 Curvas de assimilação de CO <sub>2</sub> para plantas C4 em função da radiação solar absorvida (PAR) e da temperatura do ar (adaptado de Heemst, 1986) .....	55
6 Procedimento ilustrativo da geração de um valor aleatório x, a partir de uma distribuição de probabilidade, com uma função de distribuição F(X) qualquer .....	61
7 Representação da variabilidade temporal, da série anual de temperatura (°C) média diária em Piracicaba (SP) .....	64
8 Representação da variabilidade temporal da série anual de radiação solar global diária (cal.cm <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> ), em Piracicaba (SP) .....	66
9 Diagramas de dispersão referentes ao estudo da regressão linear simples, dos valores simulados em função dos valores observados de temperatura média diária (°C), para as datas de semeadura nos dias 15 de janeiro, 15 fevereiro, 15 de agosto, 15 de outubro, 15 de novembro e 15 de dezembro, para o caso 1, em Piracicaba (SP), 2003 .....	109



10	Diagramas de dispersão referentes ao estudo da regressão linear simples, dos valores simulados em função dos valores observados de radiação solar global diária ( $\text{cal.cm}^2.\text{dia}^{-1}$ ), para as datas de semeadura nos dias 15 de janeiro, 15 fevereiro, 15 de agosto, 15 de outubro, 15 de novembro e 15 de dezembro, para o caso 2, em Piracicaba (SP), 2003.....	110
11	Diagramas de dispersão referentes ao estudo da regressão linear simples, dos valores simulados em função dos valores observados de temperatura média diária ( $^{\circ}\text{C}$ ), para as datas de semeadura nos dias 15 de janeiro, 15 fevereiro, 15 de agosto, 15 de outubro, 15 de novembro e 15 de dezembro, para o caso 3, em Piracicaba (SP), 2003 .....	111
12	Diagramas de dispersão referentes ao estudo da regressão linear simples, dos valores simulados em função dos valores observados de radiação solar global diária ( $\text{cal.cm}^2.\text{dia}^{-1}$ ), para as datas de semeadura nos dias 15 de janeiro, 15 fevereiro, 15 de agosto, 15 de outubro, 15 de novembro e 15 de dezembro, para o caso 4, em Piracicaba (SP), 2003.....	112
13	Diagramas de dispersão referentes ao estudo da regressão linear simples, dos valores simulados em função dos valores observados de temperatura média diária ( $^{\circ}\text{C}$ ), para as datas de semeadura nos dias 15 de janeiro, 15 fevereiro, 15 de agosto, 15 de outubro, 15 de novembro e 15 de dezembro, para o caso 5, em Piracicaba (SP), 2003 .....	113
14	Diagramas de dispersão referentes ao estudo da regressão linear simples, dos valores simulados em função dos valores observados de radiação solar global diária ( $\text{cal.cm}^2.\text{dia}^{-1}$ ), para as datas de semeadura nos dias 15 de janeiro, 15 fevereiro, 15 de agosto, 15 de outubro, 15 de novembro e 15 de dezembro, para o caso 6, em Piracicaba (SP), 2003.....	114
15	Histogramas e polígonos de frequências referentes aos valores simulados de temperatura média diária ( $^{\circ}\text{C}$ ), para as datas de semeadura nos dias 15 de janeiro, 15 fevereiro, 15 de agosto, 15 de outubro, 15 de novembro e 15 de dezembro, para o caso 1, em Piracicaba (SP), 2003.....	116

16	Histogramas e polígonos de frequências referentes aos valores simulados de radiação solar global diária ( $\text{cal.cm}^2.\text{dia}^{-1}$ ), para as datas de semeadura nos dias 15 de janeiro, 15 fevereiro, 15 de agosto, 15 de outubro, 15 de novembro e 15 de dezembro, para o caso 2, em Piracicaba (SP), 2003 .....	117
17	Histogramas e polígonos de frequências referentes aos valores simulados de temperatura média diária ( $^{\circ}\text{C}$ ), para as datas de semeadura nos dias 15 de janeiro, 15 fevereiro, 15 de agosto, 15 de outubro, 15 de novembro e 15 de dezembro, para o caso 3, em Piracicaba (SP), 2003.....	118
18	Histogramas e polígonos de frequências referentes aos valores simulados de radiação solar global diária ( $\text{cal.cm}^2.\text{dia}^{-1}$ ), para as datas de semeadura nos dias 15 de janeiro, 15 fevereiro, 15 de agosto, 15 de outubro, 15 de novembro e 15 de dezembro, para o caso 4, em Piracicaba (SP), 2003 .....	119
19	Histogramas e polígonos de frequências referentes aos valores simulados de temperatura média diária ( $^{\circ}\text{C}$ ), para as datas de semeadura nos dias 15 de janeiro, 15 fevereiro, 15 de agosto, 15 de outubro, 15 de novembro e 15 de dezembro, para o caso 5, em Piracicaba (SP), 2003.....	120
20	Histogramas e polígonos de frequências referentes aos valores simulados de radiação solar global diária ( $\text{cal.cm}^2.\text{dia}^{-1}$ ), para as datas de semeadura nos dias 15 de janeiro, 15 fevereiro, 15 de agosto, 15 de outubro, 15 de novembro e 15 de dezembro, para o caso 6, em Piracicaba (SP), 2003 .....	121
21	Varição das produtividades médias de milho, observadas em vinte e quatro datas de semeaduras (nos dias 1 e 15 de cada mês), e simuladas em 1000 repetições, em duas situações distintas, denominadas de, caso 1, onde a temperatura diária em graus celsius varia e a radiação solar global diária expressa em $\text{cal.cm}^2.\text{dia}^{-1}$ , permanece fixa, e o caso 2, onde a radiação solar global diária varia sendo a temperatura fixa, em Piracicaba (SP), 2003 .....	133

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

