

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU**

**EFICIÊNCIA DE ESTIMADORES, GERADORES E ALGORITMOS NA
SIMULAÇÃO DE DADOS DIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO
PLUVIOMÉTRICA UTILIZANDO A DISTRIBUIÇÃO GAMA**

LEILA ISSA RICKLI

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp - Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutora
em Agronomia (Energia na Agricultura)

**BOTUCATU - SP
MAIO 2006**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**EFICIÊNCIA DE ESTIMADORES, GERADORES E ALGORITMOS NA
SIMULAÇÃO DE DADOS DIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO
PLUVIOMÉTRICA UTILIZANDO A DISTRIBUIÇÃO GAMA**

LEILA ISSA RICKLI

Orientador: Prof. Dr. Angelo Cataneo

Co-Orientador: Prof. Dr. Jorim Sousa Virgens Filho

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutora em Agronomia
(Energia na Agricultura)

BOTUCATU - SP

MAIO 2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E
TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Rickli, Leila Issa, 1948
R539e Eficiência de estimadores, geradores e algoritmos na
simulação de dados diários de precipitação pluviométrica
utilizando a distribuição gama / Leila Issa Rickli. -
Botucatu : [s.n.], 2006.
x, 84 f., tabs.

Tese (Doutorado)-Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2006

Orientador: Ângelo Cataneo

Co-Orientador: Jorim Souza Virgens Filho

Inclui bibliografia.

1. Climatologia - Métodos de simulação. 2. Algoritmos de
computador. 3. Geradores de números aleatórios. 4. Pre-
cipitação (Meteoroologia) - Probabilidades. 5. Software. I.
Cataneo, Ângelo. II. Virgens Filho, Jorim Souza. III.
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
(Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas.
IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: EFICIÊNCIA DE ESTIMADORES, GERADORES E ALGORITMOS NA
SIMULAÇÃO DE DADOS DIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉ-
TRICA UTILIZANDO A DISTRIBUIÇÃO GAMA.**

ALUNO: LEILA ISSA RICKLI

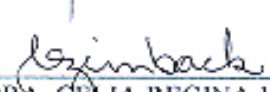
ORIENTADOR: PROF. DR. ANGELO CATANEO

CO-ORIENTADOR: PROF. DR. JORIM SOUSA DAS VIRGENS FILHO

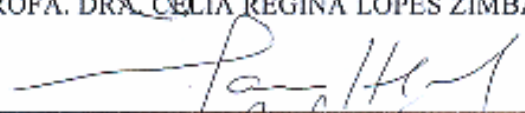
Aprovado pela Comissão Examinadora



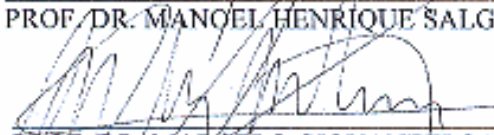
PROF. DR. JORIM SOUSA DAS VIRGENS FILHO



PROFA. DRA. CELIA REGINA LOPES ZIMBACK



PROF. DR. MANOEL HENRIQUE SALGADO



PROF. DR. MARCELO GIOVANETTI CANTERI



PROF. DR. JOSÉ FERNANDO MANTOVANI MICALI

Data da Realização: 05 de maio de 2006.

DEDICATÓRIA

Ao amor da minha vida, meu saudoso marido, Paulo Elias, que sempre me apoiou e acreditou em mim, mas que, infelizmente, foi levado por Deus logo no início deste doutorado.

Aos meus filhos, Rafael e Renata, que abdicaram da minha presença me incentivando a continuar os estudos e auxiliando nos momentos difíceis.

Aos meus pais, Ramez e Matilde, que sempre me estimularam e compreenderam quando não estive presente nos momentos em que precisaram.

Ao meu anjinho, Ramezinho, que foi embora prematuramente.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter permitido que eu chegasse até aqui e me deu forças para superar a dor da perda.

À Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Paulista pela oportunidade de realizar este trabalho.

Ao Professor Doutor Ângelo Cataneo, pela amizade, confiança e orientação deste trabalho. Agradeço por sua orientação e pelo estímulo de continuar este doutorado.

Ao Professor Doutor Jorim Souza das Virgens Filho, pela amizade, incentivo e compreensão na orientação deste trabalho, possibilitando as condições para o seu desenvolvimento de maneira ponderada e exata. Agradeço também pelo seu encorajamento nos momentos mais difíceis.

A todos os professores da Pós-Graduação em Energia na Agricultura pelo seu apoio, amizade e ensinamentos.

Aos companheiros da Pós-Graduação, pela amizade.

Aos funcionários da FCA/UNESP que, diretamente, ou indiretamente contribuíram na realização deste trabalho.

VI

SUMÁRIO

ÍNDICE DE TABELAS	VII
1.RESUMO	1
2.ABSTRACT	2
3.INTRODUÇÃO	3
3.1 Objetivo geral	6
3.2 Objetivos específicos	6
4.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
4.1 Considerações gerais sobre simulação de sistemas	7
4.2 O emprego da simulação na pesquisa agrícola	9
4.3 Simulação de dados climáticos	11
4.4 Aplicações envolvendo dados climáticos simulados	13
4.5 Ferramentas computacionais para simulação de dados climáticos	15
4.6 Avaliação de desempenho de simuladores de dados climáticos	18
5.MATERIAL E MÉTODOS	22
5.1 Local do desenvolvimento da pesquisa	22
5.2 Base de dados	22
5.3 Modelo probabilístico para simulação da ocorrência de dias chuvosos	23
5.4 Modelo probabilístico para simulação da lâmina de precipitação pluviométrica	24
5.5 Estimativa dos parâmetros da distribuição Gama	25
5.6 Geradores de números pseudo-aleatórios	27
5.7 Algoritmos para geração de variáveis Gama	28
5.8 Simulação e validação	28
6.RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
6.1 Análise da Precipitação Pluviométrica para a localidade de Piracicaba – SP	30
6.2 Análise da Precipitação Pluviométrica para a localidade de Ponta Grossa – PR	51
7 CONCLUSÕES	76
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 01 – Localização geográfica, período observado e origem das séries utilizadas...	23
Tabela 02 – Ajustes dos parâmetros da distribuição Gama com os respectivos testes de aderência para localidade de Piracicaba baseados nos estimativas utilizando os métodos de verossimilhança (α_1, β_1), Greenwood e Durand (α_2, β_2), e método dos momentos (α_3, β_3)	31
Tabela 03 – Média diária mensal das replicações (R) e de suas diferença (D) em relação à média real de 13,6 mm para o mês de janeiro	32
Tabela 04 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D) no mês de janeiro	32
Tabela 05 – Teste de Médias para Interação Estimador x Algoritmo Gama, no mês de janeiro	33
Tabela 06 – Média diária mensal das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de 12,8 mm para o mês de fevereiro.....	33
Tabela 07 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D) no mês de fevereiro.....	34
Tabela 08 - Teste de Médias para interação Estimador x Algoritmo Gama no mês de fevereiro	34
Tabela 09 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de 14,5 mm para o mês de março	35
Tabela 10 – Análise de Variância das diferenças (D), no mês de março	36
Tabela 11 – Teste de Médias para o Estimador, no mês de março.....	36
Tabela 12 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de 12,0 mm para o mês de abril.....	37
Tabela 13 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), para o mês de abril	37
Tabela 14 – Teste de Médias para os Geradores, no mês de abril.....	38
Tabela 15 – Teste de Médias para os Algoritmos, no mês de abril.....	38
Tabela 16 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de 10,5 mm para o mês de maio	39
Tabela 17 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), no mês de maio	39

Tabela 18 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de 10,9 mm para o mês de junho.....	40
Tabela 19 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), no mês de junho	41
Tabela 20 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de 8,3 mm para o mês de julho	41
Tabela 21 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D) no mês de julho	42
Tabela 22 – Teste de Médias para o Estimador (E), para o mês de julho	42
Tabela 23 – Teste de Médias para Algoritmo Gama (A) no mês de julho	43
Tabela 24 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de 7,5 mm para o mês de agosto	43
Tabela 25 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D) no mês de agosto	44
Tabela 26 – Teste de Médias para o Estimador (E) no mês de agosto	44
Tabela 27 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de 8,8 mm para o mês de setembro	44
Tabela 28 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), para o mês de setembro	45
Tabela 29 – Teste de Médias para o Algoritmo (A), no mês de setembro	45
Tabela 30 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de 12,0 mm para o mês de outubro.....	46
Tabela 31 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), para o mês de outubro	47
Tabela 32 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de 12,8 mm no mês de novembro	47
Tabela 33 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), para o mês de novembro	48
Tabela 34 – Teste de Médias para o Algoritmo Gama (A), no mês de novembro	48
Tabela 35 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de 12,4 mm para o mês de dezembro.	49
Tabela 36 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), para o mês de dezembro	50
Tabela 37 – Teste de Médias para Interação Estimador (E) x Algoritmo Gama (A),	

no mês de dezembro	50
Tabela 38–Ajustes dos parâmetros da distribuição Gama com os respectivos testes de aderência para localidade de Ponta Grossa baseados nos estimativas utilizando os métodos de verossimilhança (α_1, β_1), Greenwood e Durand (α_2, β_2) e método dos momentos (α^3, β_3).....	51
Tabela 39 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de 11,8 mm para o mês de janeiro.....	52
Tabela 40 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), no mês de janeiro	53
Tabela 41 – Teste das Médias para o Estimador, no mês de janeiro	53
Tabela 42 – Teste das Médias para o Algoritmo Gama, no mês de janeiro	53
Tabela 43 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de 10,6 mm para o mês de fevereiro	54
Tabela 44 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), para o mês de fevereiro.....	55
Tabela 45 – Teste de Médias para interação de Gerador (G) x Algoritmo Gama (A), para o mês de fevereiro	55
Tabela 46 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de 11,7 mm para o mês de março.....	56
Tabela 47 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), para o mês de março	57
Tabela 48 – Teste de Médias para Interação (E) x Gerador (G), no mês de março	57
Tabela 49 – Teste de Médias para Interação Estimador (E) x Algoritmo Gama (A), no mês de março.....	58
Tabela 50 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de 12,6 mm para o mês de abril	59
Tabela 51 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), para o mês de abril	59
Tabela 52 – Teste de Médias para o Estimador (E), no mês de abril	60
Tabela 53 – Teste de Médias para o Algoritmo Gama (A), no mês de abril	60
Tabela 54 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de 16,2 mm para o mês de maio.....	61
Tabela 55 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), no mês de maio	61
Tabela 56 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em	

relação à média real de 14,5 mm para o mês de junho	62
Tabela 57 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), no mês de junho	62
Tabela 58 – Teste de Médias para o Estimador (E), no mês de junho	63
Tabela 59 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de 14,7 mm para o mês de julho	63
Tabela 60 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), no mês de julho	64
Tabela 61 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relações à média real de 11,2 mm para o mês de agosto	65
Tabela 62 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), no mês de agosto	65
Tabela 63 – Teste de Médias para o Estimador (E), no mês de agosto	66
Tabela 64 – Teste de Médias para Interação entre Gerador (G) x Algoritmo Gama (A) no mês de agosto	66
Tabela 65 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de 13,8 mm para o mês de outubro	67
Tabela 66 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), no mês de setembro	68
Tabela 67 – Teste de Médias para Interação entre Estimador (E) x Algoritmo Gama (A) no mês de setembro	68
Tabela 68 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de 13,8 mm para o mês de outubro	69
Tabela 69 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), no mês de outubro	70
Tabela 70 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de 11,3 mm para o mês de novembro	71
Tabela 71 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), no mês de novembro	71
Tabela 72 – Teste de Médias para o Algoritmo Gama (A), no mês de novembro	72
Tabela 73 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de 12,3 mm para o mês de dezembro	72
Tabela 74 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), no mês de dezembro	73
Tabela 75 - Resumo das Ocorrências para a Localidade de Piracicaba – SP	73
Tabela 76 - Resumo das Ocorrências para a Localidade de Ponta Grossa – PR	74

1. RESUMO

O aumento populacional do planeta tem exigido cada vez mais produtividade na agricultura objetivando suprir suas necessidades alimentícias. Um dos mais importantes fatores que determinam o sucesso ou o fracasso desta produção são as variáveis climáticas, dentre elas, pode-se citar a precipitação pluviométrica. A presente pesquisa analisou a eficiência dos fatores funcionais no processo de simulação de dados diários de precipitação utilizando a distribuição Gama. Foram utilizadas séries climatológicas diárias para as localidades de Piracicaba – SP e Ponta Grossa – PR. Para determinação dos estimadores dos parâmetros da distribuição Gama (α e β), foram avaliados os procedimentos baseados no método dos momentos, da verossimilhança e o método numérico de Greenwood & Durand. Avaliou-se três geradores de números pseudo-aleatórios congruências e dois algoritmos computacionais para geração da variável aleatórias Gama que foram implementados no simulador Sedac_R. Por meio de procedimentos estatísticos a validação apontou que a escolha adequada do método para estimativa dos parâmetros da distribuição Gama e o algoritmo computacional para geração da variável aleatória Gama devem ser levados em consideração na simulação de séries climáticas de precipitação. Em relação ao gerador de números pseudo-aleatórios os resultados indicaram que o mesmo não interfere na acuracidade dos dados gerados.

Palavras-chave: Simulação de dados climáticos, precipitação pluviométrica, distribuição Gama, estimadores, geradores de números pseudo-aleatórios, Sedac_R.

EFFICIENCY OF ESTIMATOR, GENERATORS AND ALGORITHMS APPLIED TO THE DAILY DATA SIMULATION OF RAIN PRECIPITATION USING THE GAMMA DISTRIBUTION. Botucatu, 2006, 83p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: LEILA ISSA RICKLI

Adviser: ANGELO CATANEO

Co-Adviser: JORIM SOUSA VIRGENS FILHO

2. SUMMARY

The increase of people in the planet has required more productivity in the agriculture field in order to supply the food need. One of the most important factors that determine the success or the failures of that productivity are the climatic variables, such as the rain precipitation. This research analyzed the efficiency of the functional factors in the precipitation daily data simulation process, using the Gamma distribution. Daily climatic series related to the Piracicaba – SP and Ponta Grossa – PR cities were used. The procedures based on the Greenwood & Durand numerical, Likelihood and Moment methods were evaluated aiming to determine the approximation of the parameters of the Gamma distribution (α and β). Three congruent pseudorandom generators and two computational algorithms to generate the Gamma random variable implemented in the Sedac_R simulator were evaluated. By way of statistics procedures, the validation indicated that the suitable choose to both the approximation method of the parameters of the Gamma distribution (α and β) and the computational algorithm to generate the Gamma random variable must be taken into consideration in the precipitation climatic series simulation. Related to the numerical pseudo-random generator the results showed that it doesn't interferes in the accuracy of the generated data.

Keywords: Climatic data simulation, rain precipitation, Gamma distribution, approximation methods, numerical pseudo-random generators, Sedac_R.

3. INTRODUÇÃO

O aumento populacional do planeta tem exigido, cada vez mais, produtividade na agricultura objetivando suprir suas necessidades alimentícias. Um dos mais importantes fatores que determinam o sucesso ou o fracasso desta produção são as variáveis climáticas, dentre elas, pode-se citar as pluviométricas.

Alia-se à produção, a necessidade de preservar o meio ambiente, por meio de técnicas menos agressivas, tais como plantio direto, manejo integrado de pragas e de nutrientes, evitando-se degradação do solo..

Portanto, a questão econômica, em contraste com a ecologia, não é só produzir e consumir, alocando recursos escassos de uma sociedade, mas também utilizá-los de forma a minimizar a depredação dos recursos naturais e a degeneração do meio ambiente.

Acompanhar o crescimento de plantas em laboratórios, modificações climáticas e rendimento da produção agrícola são fatores essenciais para obter maior produtividade, porém, quando há sazonalidade na ocorrência de precipitações num determinado local, isto pode representar um

fator de risco no empreendimento agrícola, como por exemplo a perda das sementes plantadas em dias muito chuvosos.

Uma previsão confiável do rendimento, ainda na fase de crescimento da cultura, possibilitaria aperfeiçoar o planejamento e o manejo mais eficiente da produção, tais como: aplicação de fertilizantes, irrigação, manejo de pragas e doenças. Para isto, torna-se evidente a necessidade de um melhor gerenciamento desse complexo de interações físicas, econômicas e biológicas.

Uma importante técnica, a simulação tem sido apresentada como uma poderosa ferramenta no desenvolvimento de metodologias que possibilitem a otimização de programas de pesquisa, com a finalidade de difundir e promover o crescimento sócio-econômico regional.

Esta técnica tem evoluído principalmente com o avanço tecnológico da informática e sua capacidade computacional, possibilitando diversas pesquisas que ocorrem principalmente na Europa e Estados Unidos e, ao mesmo tempo, auxiliando pesquisadores e produtores nos sistemas de irrigação e no gerenciamento da produção.

Um fator determinante no controle do desenvolvimento das plantas é o clima com a sua variação hidrológica. Vários modelos de simulação matemática e estatística que descrevem variáveis climáticas têm sido aplicados com frequência, com o objetivo de prever o comportamento das distribuições de probabilidade dos elementos climáticos. As produções agrícolas e as alterações hidrológicas podem ser tratadas como elementos probabilísticos, no sentido em que dependem dessa incerteza climática.

O desenvolvimento de modelos é, para simulação de dados climáticos, baseados em séries históricas, de grande importância para futuras avaliações de sistemas agronômicos, no que se refere às produções agrícolas e de sistemas hidrológicos, no que tange à racionalização de recursos hídricos destinados à irrigação.

Muitos modelos agronômicos e hidrológicos requerem entrada de dados climáticos diários e, muitas vezes, longas séries de dados históricos, sendo os valores estimados indispensáveis no desenvolvimento destes modelos.

Dentre as variáveis climáticas, a precipitação pluviométrica é um parâmetro fundamental na estimativa da necessidade de água de irrigação para as culturas e, conseqüentemente, para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação. Contudo, a ocorrência de tal elemento climático em uma dada região é caracterizada por uma grande variação, e esta não é simetricamente distribuída em torno da média.

Diversas pesquisas têm sido conduzidas, para se determinar um modelo probabilístico que se ajuste adequadamente às séries de precipitação pluviométrica, no sentido de que este modelo seja capaz de reproduzir séries que extrapolem os registros históricos para esta variável climática.

De todos os modelos probabilísticos avaliados por meio de análises em histogramas de frequência, o modelo da distribuição Gama é o que tem apresentado melhores resultados, tanto na estimativa de probabilidades, quanto na simulação de dados climáticos diários. (THOM, 1958; CUNHA et al, 1997). Assim, em seu aspecto funcional, um dos fatores de maior importância para sua eficiente utilização é a estimativa de seus dois parâmetros: alfa (α) e beta (β).

No processo de simulação computacional de dados diários para a precipitação pluviométrica, existem outros dois fatores que devem ser levados em consideração, para que a geração sintética dos dados se aproxime o tanto quanto possível da distribuição dos dados reais, que são o algoritmo computacional para geração da variável aleatória com distribuição Gama e o gerador de números pseudo-aleatórios.

Por essa razão, uma análise criteriosa desses fatores que interferem sensivelmente no processo de simulação de dados diários de

precipitação pluviométrica, deve apontar a alternativa mais adequada para a melhoria da qualidade e precisão dos dados gerados.

3.1 Objetivo geral

Analisar a eficiência dos fatores funcionais (estimadores, geradores de números aleatórios e algoritmos computacionais) na simulação de dados diários de precipitação pluviométrica utilizando a distribuição Gama.

3.2 Objetivos específicos

- a-) Determinar os estimadores dos parâmetros da distribuição Gama, mais adequados para a simulação de dados diários de precipitação pluviométrica;
- b-) Identificar o grau de influência dos geradores de números pseudo-aleatórios na simulação de dados diários de precipitação pluviométrica;
- c-) Avaliar os algoritmos computacionais para a geração de variáveis aleatórias com distribuição Gama no processo de simulação de dados diários de precipitação pluviométrica.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Considerações gerais sobre simulação de sistemas

O mundo real, como é concebido, é um sistema complexo que pode ser particionado em várias escalas de organização que vão desde um átomo até grandes ecossistemas. Diante dessa complexidade da natureza, os cientistas limitam seus conhecimentos e atenções a pequenas áreas de interesse, nas quais, gradativamente, concentram conhecimentos e, gradualmente, definem os processos que estabelecem os cenários de estudo. A compilação dos conhecimentos adquiridos em várias áreas combina os cenários encontrados em cada uma delas, estabelecendo a compreensão e análise mais detalhada de tendências futuras do funcionamento do sistema em estudo.

Contudo, uma investigação no sistema real, envolvendo mensurações de um conjunto de variáveis que desencadeiam um processo em um nível mais abrangente é, na maioria das vezes, impossível de ser conduzida, pela limitação de recursos financeiros, de pessoal especializado, de local e outros elementos indispensáveis para o bom andamento da pesquisa.

Uma alternativa para minimizar esse impasse é partir da proposição de uma descrição do sistema real, que o represente na escala do objetivo do estudo. Essa representação deve fundamentar-se em conhecimento técnico de alto nível, que torne possível a descrição dos processos envolvidos (Pessoa et al., 1997).

Ao longo do tempo, a pesquisa conduzida de forma estruturada, desenvolveu técnicas e métodos que muito contribuíram para impulsionar a humanidade no processo de conhecimento e entendimento do universo.

Entre as técnicas de pesquisa, a de simulação, amplamente difundida após o grande avanço da informática, surgiu como de grande potencial, por oferecer a possibilidade de simular um sistema real com alto grau de semelhança, permitindo o estudo de sistemas complexos componentes do universo.

Além de ser uma ferramenta poderosa, que proporciona soluções a projetos e operações desses sistemas complexos, a simulação utiliza modelos que representam entidades a serem investigadas.

Naylor et al. (1966) definiram simulação como uma técnica numérica para conduzir experimentos com certos tipos de modelos matemáticos, os quais descrevem o comportamento de um sistema complexo, num computador digital, por determinados períodos de tempo. É claro que excluindo o aspecto computacional, o conceito pode ser mais flexível, como sugere Shimizu (1984): “... é essencialmente um trabalho com analogias. É uma modalidade experimental de pesquisa que procura tirar conclusões através de exercícios com modelos que representam a realidade”.

Na prática, a simulação de sistemas é um método numérico para resolução de problemas e consiste na observação, ao longo do tempo, do desempenho de um modelo que representa um sistema definido. O modelo é usado como uma ferramenta de experimentação que, em um ambiente de tentativa e erro, permite comparar diversos cenários, cada um representando

uma política de operação do sistema, uma configuração do sistema ou ainda uma possível solução do problema original. Dentre as soluções que produzem os melhores resultados, uma é escolhida para ser implementada no sistema real. As respostas produzidas pela técnica de simulação de sistemas são, essencialmente, numéricas. Embora a simulação de sistemas possa ser empregada sem o uso do computador, ela requer, com frequência, o desenvolvimento de programas complexos e um grande dispêndio de tempo de programação e experimentação (Perin Filho, 1995).

4.2 O emprego da simulação na pesquisa agrícola

Há muito tempo a simulação de sistemas tem sido muito utilizada em algumas áreas da atividade humana, como na engenharia, economia e, principalmente, na área militar. Como observou Portugal (1983), ela foi apontada como uma opção interessante na área da pesquisa agrícola, à medida que a agricultura se tornou uma atividade estratégica para a humanidade. Esta opção ganhou maior importância porque, além da complexidade própria da agricultura como uma atividade específica, as suas relações com outros setores da economia se tornaram cada vez mais complexas, local, regional ou mundialmente.

A utilização mais intensa da simulação na pesquisa agrícola teve seu início a partir da década de 70 nos Estados Unidos. Já naquela época, havia um grande interesse em relacionar as condições ambientais de um agro-ecossistema, com o crescimento das plantas. Desde então, pesquisadores e cientistas da área agronômica, começaram a difundir em seus meios muitos modelos que, na maioria das vezes, empregavam grandes quantidades de dados para tentar realizar, sinteticamente, os fenômenos do mundo vegetal.

Segundo Jones et al. (1972), um sistema de produção agrícola, cuja existência se deve à produção de alimentos e fibras para o homem, é um sistema que utiliza plantas selecionadas, um ambiente apropriado e máquinas adequadas para o controle do ambiente das plantas. De acordo com os autores, um sistema agrícola deve ter sua apresentação generalizada, de forma que todo o maquinário esteja diretamente envolvido na modificação da planta, modificação do solo e nas modificações químicas e físicas do microclima da planta. Sendo assim, faz-se necessário o desenvolvimento de modelos para selecionar máquinas e utensílios agrícolas ou para planejar operações baseadas na probabilidade das alterações ambientais do agro-ecossistema.

Prognosticando essa tendência tecnológica, Weiss (1982) atentou para o fato de que, à medida que se caminha para uma época caracterizada pelo fácil acesso a uma grande quantidade de informações, o conhecimento quando aplicado à produção agrícola, tem o potencial para melhorar os métodos pelos quais alimentos e fibras são produzidos e gerenciados. Porém, como com qualquer potencial, o fato dele existir não garante que ele seja realizado. Para idealizar este potencial, o autor enumerou três eventos que juntos favorecem a sua criação: a automatização das estações meteorológicas, a capacidade de disseminação destas informações por meio de sistemas eletrônicos e, a simulação computacional de processos biológicos associados com a produção agrícola.

Impulsionada por essa nova tendência na pesquisa agrícola, surgiram em alguns países da Europa, universidades que começaram a oferecer cursos em nível de graduação, direcionando o ensino para a área de simulação na agricultura. Um exemplo é a Holanda, onde em algumas de suas universidades são oferecidos cursos na área de “Análise de sistemas e simulação de processos ecológicos”, “Simulação do crescimento de plantas” e “Sistemas de gerenciamento e simulação em proteção de plantas” (Weiss & Robb, 1989).

Hoogenboom (2000b) apontou o desenvolvimento de crescimento nas culturas como uma aplicação importante no processo decisório de sistemas agrícolas. O autor observou que dados climáticos têm um significativo impacto nestes modelos, uma vez que a mudança climática se apresenta como um diferencial na análise de risco para gerenciamento alternativo e ainda destaca que os simuladores que geram estocasticamente dados diários de variáveis climáticas como temperatura do ar, radiação solar e precipitação pluviométrica podem ser uma boa alternativa quando séries longas não estão disponíveis. Porém, o uso de dados observados fornece simulações mais precisas no rendimento das culturas agrícolas, principalmente, nas regiões tropicais

É de se notar que a simulação na agricultura vem se tornando uma importante ferramenta para o gerenciamento agrícola. Uma constatação disso é o grande número de trabalhos científicos que fazem menção ao uso desta técnica. Com o auxílio do conhecimento matemático, aliado a técnicas estatísticas e computacionais, o método tende a se tornar uma opção muito interessante do ponto de vista operacional.

4.3 Simulação de dados climáticos

O clima é considerado um dos principais elementos no desenvolvimento das culturas, uma vez que, o conhecimento do seu comportamento, contribui na determinação da aptidão e do manejo adequado do solo para a prática agrícola.

Segundo Sedyama et al. (1978), o clima é um fator dominante no controle do crescimento das plantas. Além disso, as produções agrícolas são elementos probabilísticos de que dependem dos elementos climáticos durante a época de crescimento de uma cultura. Assim sendo, vários modelos de simulação matemática que descrevem dados climáticos têm sido

aplicados, com o objetivo de prever o comportamento das distribuições de probabilidades desses componentes climáticos.

De acordo com Bruhn et al. (1980), a interação de componentes probabilísticos, com modelos de outros componentes de um sistema agrícola, deve fornecer um método para medir o risco de incerteza climática que está relacionado com gerenciamentos alternativos. Diante desta preocupação, os autores construíram um modelo de simulação de dados climáticos diários, para aplicações em modelos de agro-ecossistema, e conseguiram, em termos de média, variabilidade e auto-correlação, boa similaridade entre os dados simulados e os dados históricos. O modelo empregou a técnica de Monte Carlo para gerar valores diários de precipitação pluviométrica, temperatura (máxima e mínima), umidade relativa do ar mínima e radiação solar global e foi condicionado à ocorrência de dias chuvosos, que por sua vez, foi descrita pela cadeia de Markov de primeira ordem.

Além das aplicações em modelos estritamente agronômicos, dados climáticos simulados são também muito eficientes em modelos hidrológicos. Com esse propósito, Nicks & Harp (1980) elaboraram um modelo para geração de dados climáticos para tais aplicações e alcançaram bons resultados, quando da utilização dos dados simulados, na estimativa de médias mensais de evapotranspiração, pois não apresentaram diferenças estatísticas em relação aos dados reais.

Com um objetivo semelhante, Richardson (1981) também apresentou um modelo para geração estocástica de dados climáticos diários, que foram utilizados em modelos matemáticos determinísticos, definidos para avaliar mudanças hidrológicas. Este modelo simulava dados diários de precipitação pluviométrica, temperatura (máxima e mínima) e radiação solar global, e também se condicionava à ocorrência de dias chuvosos. Um dos aspectos interessantes deste modelo é que o mesmo simulava séries residuais de temperatura e radiação solar em um submodelo de geração multivariada.

Fundamentados nas duas justificativas anteriormente apresentadas, ou seja, a utilização desses simuladores em modelos agronômicos e em modelos hidrológicos, Larsen & Pense (1982) também desenvolveram um simulador de dados climáticos diários, o qual também se mostrou eficiente, sob extensivos testes estatísticos. O modelo também gerava seqüências diárias de precipitação pluviométrica, temperatura (máxima e mínima) e radiação solar global. Um ponto importante na metodologia apresentada nesta pesquisa é que na elaboração dos modelos de temperatura e radiação solar, utilizou-se o modelo de desvio ao invés dos valores observados. Esses desvios eram obtidos com base nas médias mensais e nos valores extremos mensais, levando-se em consideração a ocorrência ou não de dias chuvosos.

Young (1994) desenvolveu um método para geração simultânea de dados de temperatura (máxima e mínima) e precipitação pluviométrica, fundamentado num modelo de cadeia multivariada que se utilizava à análise discriminante múltipla. Um aspecto interessante nesse método é que os dados de temperatura e precipitação pluviométrica se apresentavam interdependentes num espaço discriminante. Apesar da boa similaridade entre os dados simulados e históricos, uma pequena tendência para sub-estimativa da variância da média mensal de temperaturas foi observada, cujo motivo foi apontado por sub-estimativa para temperaturas máximas e mínimas extremas.

4.4 Aplicações envolvendo dados climáticos simulados

Utilizando dados climáticos simulados no desenvolvimento de uma metodologia para previsão das condições da cultura do trigo durante a época de crescimento, Arkin et al. (1980) conseguiram bons resultados na previsão da data de maturação fisiológica da cultura.

Mearns et al. (1984) utilizaram dados diários simulados de temperatura máxima, com o propósito de estudar o impacto de mudanças ambientais, incluindo seus possíveis efeitos sobre as produções agrícolas. Observaram que um aumento de 1,7 °C na média diária da temperatura máxima pode gerar eventos extremos de altas temperaturas, que por sua vez podem acarretar importantes implicações para o rendimento das culturas, demanda energética e mortalidade humana e animal.

Richardson (1985), utilizando dados climáticos diários simulados pelo modelo WGEN (Richardson & Wright, 1984) em substituição a dados climáticos reais como entrada para um modelo de crescimento para a cultura do trigo, não constataram diferenças significativas nos resultados obtidos. Tanto que ao mostrarem um gerador de dados climáticos acoplados a um modelo de crescimento para uma cultura também fornece um método bastante eficiente para avaliar os riscos de produção com opções de gerenciamento específico para locais selecionados.

Analizando o efeito de alterações na média e variância em cenários climáticos no contexto agrícola, Mearns et al. (1997) empregaram um gerador de variáveis climáticas com o objetivo de testar métodos agrícolas e medidas de incerteza no gerenciamento das culturas. Implementando oscilações (incrementos e decrementos) nas médias e variâncias diárias, de variáveis climáticas como a temperatura e a precipitação pluviométrica, os pesquisadores conseguiram estabelecer alterações significativas no cenário climático, a ponto de afetar, ora positivamente ora negativamente, os índices de produtividade agrícola, utilizando para tanto, dados climáticos simulados como entradas para os modelos de crescimento e rendimento de culturas agrícolas.

Mavromatis & Jones (1998) mostraram que o uso de um modelo para gerenciamento da cultura do trigo integrado a um gerador de variáveis climáticas é muito eficiente na determinação do impacto que alterações climáticas causam na produção média da cultura.

Bannayan et al. (2003) com o propósito de simular, por meio do modelo Ceres-Wheat1¹, o rendimento do trigo de inverno para quatro localidades no Reino Unido, utilizou dados climáticos simulados pelo gerador SIMMETEO. Os autores concluíram que os dados sintéticos gerados proporcionaram resultados confiáveis na previsão de rendimento para a cultura analisada.

Em um estudo para avaliar séries climáticas Soltani & Hoogenboom (2003) usaram parâmetros de 5, 10, 15, 20, 25, 30 anos que foram utilizados nos geradores climáticos WGEN e SIMMETEO e, concluíram que o tamanho mínimo da série exigida pelos geradores foi de 15 anos. Porém recomendam séries maiores quando houver disponibilidade, para que os dados gerados se tornem mais confiáveis.

4.5 Ferramentas computacionais para simulação de dados climáticos

Em muitos países do primeiro mundo já se desenvolvem ferramentas computacionais parciais ou totalmente voltadas para o gerenciamento e simulação de dados climáticos.

Hunt et al. (1993) desenvolveram o “GENCALC”, um software que além de facilitar o uso de modelos agronômicos para analisar experimentos de campo, também simula o desempenho de diversos genótipos de uma cultura sob diferentes ambientes climáticos simulados.

O “WEATHERMAN”, um software concebido por Pickering et al. (1994), foi desenvolvido com o intuito de simplificar e automatizar muitas tarefas repetitivas, associadas a preparação de dados climáticos brutos de uso em modelos agronômicos, fornecendo análise quantitativa destes e simulando conjuntos completos de dados diários. Estes modelos ainda podem estar

¹ É um modelo mecanístico e determinístico que simula, entre vários parâmetros, a duração dos estágios vegetativos e reprodutivos, o acúmulo de biomassa e a produção de grãos em função de diferentes tipos de solo, condições climáticas e práticas de manejo de cultura.

compreendendo radiação solar, temperaturas máxima e mínima, precipitação pluviométrica e radiação fotossinteticamente ativa.

Seguindo a linha da simulação orientada ao evento, Van Evert & Campbell (1994) idealizaram o “CROPSYST”, uma coleção de modelos de simulação orientada ao objeto, para sistemas agrícolas. Dentre os modelos que integram o software, um é destinado à simulação de componentes do clima.

Semenov & Barrow (1997) desenvolveram o “LARS-WG”, um gerador estocástico de dados climáticos, com o objetivo de avaliar os efeitos das mudanças climáticas sobre o potencial e o risco agrícola. Os autores reproduziram alterações no cenário climático para algumas cidades da Europa e, concluíram que alterações na variabilidade dos elementos climáticos podem afetar mais profundamente o rendimento das culturas e a probabilidade de eventos climáticos extremos do que simples alterações nos valores médios.

Wilks (1999) elaborou um simulador de dados de precipitação, temperatura e radiação solar para locais fortemente acidentado, baseado no gerador apresentado por Richardson (1981). O método foi utilizado na região oeste dos Estados Unidos em locais com características climáticas não uniformes. Foram usados dados de 62 estações meteorológicas, onde o autor concluiu que o gerador preservou eficientemente correlação espacial existente na série histórica.

Kuchar (2004) propôs uma modificação no WGEN para produzir sinteticamente dados diários de radiação solar, temperatura máxima, temperatura mínima e precipitação pluviométrica. O novo gerador denominado WGENK foi avaliado comparando 200 anos de dados gerados com 20 anos de dados observados para cinco localidades situadas no sudoeste da Polônia. O autor observou que a correlação absoluta de erros foi diminuída cerca de três vezes em vários períodos, enquanto que o desvio padrão da precipitação diminuiu em duas vezes quando comparado ao WGEN.

Com o objetivo de gerar dados climáticos como entrada para o modelo de predição de erosão WEPP para 43 localidades da Austrália, Yu (2003) utilizou o simulador de dados climáticos CLIGEN que simulou dados de precipitação de 100 anos para cada local. Segundo o autor, o CLIGEN foi estatisticamente razoável ao simular dados de precipitação, sendo que existe a possibilidade de superestimação para períodos curtos.

No Brasil, há algum tempo vêm sendo estudadas as probabilidades de ocorrências e quantidades de precipitação pluviométrica e probabilidades de temperaturas máximas e mínimas para várias regiões do país. Sedyama et al. (1978), além de apresentar uma metodologia, desenvolveu um software para simular dados climáticos para a época de crescimento das plantas, o qual se mostrou eficiente quando da comparação entre os dados simulados e observados.

Virgens Filho (1997) idealizou o “GEPAC - Gerador Estocástico de Parâmetros Climáticos”, um modelo computacional para simulação de dados diários de precipitação pluviométrica, radiação solar global, temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa do ar. Segundo o autor, a validação do modelo computacional provou que os dados simulados não diferem estatisticamente dos dados observados, podendo o modelo, ser bastante eficiente como uma ferramenta alternativa em atividades de pesquisa envolvendo o planejamento agrícola e avaliações de natureza hidrológica.

Virgens Filho (2001) desenvolveu o “SEDAC_R – Simulador Estocástico de Dados Climáticos”, uma ferramenta computacional para simulação de dados diários de precipitação pluviométrica, radiação solar global, temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa do ar, que utiliza uma técnica de simulação com retroalimentação de dados, baseada na parametrização dinâmica das distribuições de probabilidade. Conforme o autor, a validação do modelo computacional mostrou que os dados simulados não diferiram estatisticamente dos dados observados, sendo inclusive, mais

eficiente que os modelos “GEPAC” e “LARS-WG”, no que se refere à qualidade e eficiência dos dados gerados.

4.6 Avaliação de desempenho de simuladores de dados climáticos

Dados climáticos disponíveis e confiáveis são fundamentais numa eficaz previsão do crescimento, desenvolvimento e produção das culturas agrícolas por meio de modelos de simulação para determinada cultura. Na maioria das vezes, as informações meteorológicas apresentam uma série de falhas que podem inviabilizar a sua aplicação nos modelos de simulação de crescimento e produção das culturas. Visando a solução para esses problemas, vários pesquisadores da área agrônômica vêm se empenhando em obter técnicas que permitam a geração de dados climáticos sintéticos de modo a completar estas séries históricas, ou mesmo, para expandi-las. Assim sendo, torna-se necessário que esses dados simulados passem por um controle de avaliação no sentido de analisar a sua confiabilidade e proporcionar uma visão realística dos resultados significativos alcançados.

Com o intuito de avaliar o desempenho desses simuladores de dados climáticos, alguns autores vêm efetuando extensivos testes, principalmente, sob um enfoque estatístico, no sentido de que se ofereça subsídio para que possíveis melhorias sejam implementadas nesses modelos, bem como a sua aplicação, dependendo da natureza do estudo em questão. Pensando nisso, Wallis & Griffiths (1995) avaliaram o desempenho do gerador “WXGEN”, componente do modelo “EPIC (Erosion/Productivity Impact Calculator)”, e concluíram que esse gerador simula satisfatoriamente seqüências de dados climáticos, concordando razoavelmente com os valores médios observados, variabilidade e frequência de eventos extremos. Os autores identificaram dois problemas, que consideraram como aspectos negativos no modelo que foram à exclusividade do procedimento Markoviano de primeira

ordem na determinação de dias secos e úmidos, e a natureza independente da simulação da direção e velocidade do vento. Porém, ainda segundo os autores, o “WXGEN” é um componente essencial do “EPIC”.

Johnson et al. (1996), compararam o desempenho dos modelos “USCLIMATE” e “CLIGEN” e simularam dados de precipitação pluviométrica, temperatura e radiação solar para seis locais dos Estados Unidos. Nesta simulação concluíram, a partir dos resultados de vários testes estatísticos de significância sobre os valores médios, desvio-padrão e valores extremos, que o modelo “USCLIMATE” foi o que obteve o melhor desempenho em muitos aspectos, principalmente, pela simulação realística da variabilidade e da preservação da correlação entre os elementos. Diante disto, os autores recomendaram que este modelo fosse utilizado em aplicações que necessitassem de estimativas de condições climáticas favoráveis ao estudo do aproveitamento de fontes alternativas para geração de energia elétrica. Entretanto, segundo os autores, o “CLIGEN” produz estatísticas sobre a duração e intensidade do pico das tempestades, que são muito importantes em aplicações hidrológicas.

Sentelhas et al. (1999a) avaliaram o desempenho dos geradores de dados climáticos “WGEN” e “SIMMETEO”, integrantes do “DSSAT versão 3.5 (Decision Support System for Agrotechnology)”, simulando dados de temperatura, precipitação pluviométrica e radiação solar global, para as localidades de Mandurí, Piracicaba e Ribeirão Preto pertencentes ao Estado de São Paulo, Paranavaí e Ponta Grossa, no Estado do Paraná. Nesta pesquisa os autores avaliaram os referidos geradores comparando os dados observados e simulados nas escalas de tempo diárias, decendial e mensal, cujos resultados mostraram que a simulação é mais eficiente com o aumento da escala de tempo. Segundo os autores, embora não havendo grande diferença entre os dois simuladores, o “WGEN” apresentou melhores resultados quando da simulação de dados de radiação solar global nas escalas decendial e mensal. No caso dos dados gerados de precipitação pluviométrica,

os dois geradores se mostraram ineficientes na correlação entre os dados observados e simulados, devido à elevada dispersão entre os mesmos para todos os meses.

Uma outra avaliação concernente ao desempenho dos geradores de dados climáticos “WGEN” e “SIMMETEO”, foi realizada por Sentelhas et al. (1999b) por meio da utilização dos dados simulados e observados de temperatura, precipitação pluviométrica e radiação solar global, em modelos de produtividade potencial (PP) e real (PR) das culturas do feijão (“BEANGRO”) e do milho (“CERES-MAIZE”), respectivamente para as localidades de Paranaíba (PR) e Piracicaba (SP). Segundo os autores, nesse tipo de aplicação, os resultados apontaram que as produtividades, simuladas com os dados gerados pelos dois simuladores de dados climáticos, não diferiram significativamente das produtividades simuladas com os dados históricos, em termos de distribuição da frequência acumulada da PP e da PR. Os autores concluíram que ambos geradores de dados climáticos são uma boa opção para aplicação de séries climatológicas no estudo da produtividade agrícola.

Em um estudo para avaliar a variabilidade interanual de quatro geradores de dados climáticos, Mavromatis & Hansen (2001), analisaram os geradores WEATHERMAN, MARKSIM, VM2 e LARS-WG, na simulação de cenários para modelos dinâmicos de cultura. De maneira geral os geradores reproduziram as médias climáticas, exceto o MARKSIM, que apresentou distorções nas frequências e nos totais mensais de precipitação. O estudo apontou que é necessário corrigir de alguma forma a variabilidade para otimizar o efeito de baixas frequências em geradores de dados climáticos nas aplicações onde a reprodução da variabilidade interanual é importante.

Hartkampa et al. (2003) compararam o desempenho de três geradores de dados MARKSIM, SIMMETEO e WGEN na criação de cenários climáticos em regiões de cultivo de milho a noroeste do México. Segundo os autores nenhum dos geradores se mostrou efetivamente superior, porém

considerando requerimentos de dados o SIMMETEO se apresenta como uma alternativa mais robusta em aplicações de modelagem de culturas agrícolas que requerem como entrada dados climáticos pontuais ou interpolados.

Com o objetivo de comparar os geradores WGEN e SIMMETEO Soltani & Hoogenboom (2003a) simularam dados climáticos para cinco localidades no Irã. Os resultados mostraram que os dois geradores simularam bem os dados de precipitação. Para radiação solar o SIMMETEO apresentou um melhor desempenho. Na geração de dados de temperatura o WGEN se comportou com muita eficiência. De uma maneira geral o WGEN foi superior ao SIMMETEO sendo, preferencialmente, recomendado pelos autores na simulação de dados climáticos.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Local do desenvolvimento da pesquisa

A pesquisa foi conduzida no Laboratório Didático de Informática, Departamento de Gestão e Tecnologia Agroindustrial, Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP - Campus de Botucatu-SP e no Laboratório InfoAgro da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

5.2 Base de dados

Na presente pesquisa foram utilizadas séries climatológicas diárias de precipitação pluviométrica, para as localidades de Ponta Grossa – PR e de Piracicaba –SP obtidas no Instituto Agrônômico do Paraná – IAPAR e Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ conforme descrito na Tabela 01.

Para melhor confiabilidade dos dados utilizados, todas as séries climatológicas passaram por um processo de triagem e consistência dos dados, com a finalidade de verificar possíveis erros de leitura ou de lançamento (digitação), bem como identificar “falhas” em alguns períodos das mesmas.

Tabela 01 – Localização geográfica, período observado e origem das séries utilizadas.

Localidade	Piracicaba	Ponta Grossa
Lat. (S)	22°42’	25°13’
Long. (W)	47°38’	50°01’
Alt. (m)	546	880
Período	1944-2003	1954-2001
Origem	USP/Piracicaba	IAPAR

5.3 Modelo probabilístico para simulação da ocorrência de dias chuvosos

O modelo probabilístico para geração de dados diários de precipitação pluviométrica, utilizado nesta pesquisa, foi o mesmo descrito por Virgens Filho (2001), em que as probabilidades de ocorrência de dias chuvosos foram estimadas mensalmente, para as localidades avaliadas, por meio do processo estocástico cadeias de Markov. A primeira ordem da cadeia de Markov, com apenas dois estados, foi estimada por meio das seguintes relações:

$$PUU = \frac{\sum DUU}{\sum DU} \quad (01)$$

onde :

PUU = Probabilidade mensal de ocorrência de dia chuvoso sendo o dia anterior chuvoso ;

DUU = Dia chuvoso sendo o dia anterior chuvoso;

DU = Dia chuvoso.

e,

$$PUS = \frac{\sum DUS}{\sum DS} \quad (02)$$

onde:

PUS = Probabilidade mensal de ocorrência de dia chuvoso sendo o dia anterior seco;

DUS = Dia chuvoso sendo o dia anterior seco;

DS = Dia seco.

As probabilidades de transição correspondentes são dadas por:

$$PSU = 1 - PUU \quad (03)$$

onde:

PSU = Probabilidade mensal de ocorrência de dia seco sendo o dia anterior chuvoso.

e,

$$PSS = 1 - PUS \quad (04)$$

onde:

PSS = Probabilidade mensal de ocorrência de dia seco sendo o dia anterior seco.

5.4 Modelo probabilístico para simulação da lâmina de precipitação pluviométrica

Os dias com altura de precipitação pluviométrica igual ou inferior a 0,2 mm, foram considerados “traços de chuva”. As probabilidades mensais para a ocorrência de traços de chuva foram estimadas por meio da equação:

$$POT = \frac{PT}{PT + PS} \quad (05)$$

onde :

POT = Probabilidade mensal de ocorrência de um traço;

PT = Número de dias com precipitação pluviométrica igual a um traço;

PS = Número de dias com precipitação pluviométrica superior a um traço.

Antes da simulação de lâmina de precipitação pluviométrica maior do que um traço foram realizados mensalmente testes de aderência por meio do método de Kolmogorov-Smirnov (K-S) aplicável a uma amostra, utilizando três formas de estimativa para os parâmetros α e β da distribuição Gama. Os dados mensais foram agrupados em intervalos de classes segundo critérios apresentados em Costa Neto (1977).

A forma da função densidade de probabilidade da distribuição Gama, utilizada nesta pesquisa foi expressa por:

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \quad (06)$$

onde:

α = parâmetro de forma;

β = o parâmetro de escala

$\Gamma(\alpha)$ = Função gama ordinária de α .

x = altura da lâmina (mm) de precipitação pluviométrica.

5.5 Estimativa dos parâmetros da distribuição Gama

Conforme a equação (06), a distribuição Gama apresenta o parâmetro de forma α e o parâmetro de escala β . Assim na presente pesquisa

foram avaliados as seguintes formas de estimativa dos parâmetros α e β conforme descrição abaixo:

A primeira, segundo Assis et al (1966), é baseada no método de verossimilhança e será designada no decorrer do trabalho por “E1”, que estima α a partir de:

$$\alpha = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}}{4A} \quad (07)$$

e β a partir de :

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (08)$$

onde:

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(x_i)}{n} \quad (09)$$

A segunda, proposta por Greenwood & Durand (1960) *Apud* (ASSIS *et al*, 1966), que será designada no decorrer do trabalho “E2”, estima α por meio da expressão :

$$\alpha = \frac{0,5000876 + 0,1648852 y - 0,0544274 y^2}{y} \quad (10)$$

Para $0 \leq y \leq 0,5772$

ou

$$\alpha = \frac{8,898919 + 9,05995 y + 0,9775373 y^2}{y(17,79728 + 11,968477 y + y^2)} \quad (11)$$

Para $0,5772 \leq y \leq 17,0$

sendo que:

$y = A$ (O mesmo da equação (09))

e β como a equação (08)

A terceira, sugerida por Assis *et al* (1966), é baseada no método dos momentos, que será designada no decorrer do trabalho “E3”, e estima α por meio de:

$$\alpha = \frac{\bar{x}^2}{s^2} \quad (12)$$

$\bar{x}$ = média amostral;

s^2 = variância amostral.

$$\beta = \frac{s^2}{\bar{x}} \quad (13)$$

e β a partir de

5.6 Geradores de números pseudo-aleatórios

Para determinar o gerador de números pseudo-aleatórios adequados ao processo de simulação da precipitação pluviométrica, Pontes *et al* (2003), analisaram diversos geradores por meio do Software Avaliador de Geradores de Números Pseudo-Aleatórios – SAGNA e sugeriram os três melhores geradores. Conforme descrição dos mesmos:

O primeiro gerador designado por “G1” é o apresentado por Wichmann & Hill (1982). Este gerador é baseado no método congruencial, que segundo os autores, passou por uma infinidade de testes de aleatoriedade apresentando excelente desempenho. O tamanho do seu ciclo, de acordo com os seus idealizadores, excede $2,78 \times 10^{13}$.

O segundo gerador designado por “**G2**” é um gerador congruencial multiplicativo ($n_{i+1} \equiv a n_i \pmod{m}$), apresentado em Bustos & Frery (1992) que tem como valor o termo multiplicativo “a” igual a 16.807 e $m = 2^{31} - 1$, cujo tamanho do ciclo é $2^{31} - 2$.

O terceiro gerador designado por “**G3**” também apresentado em Bustos & Frery (1992) do mesmo tipo do gerador G2, porém, com termo multiplicativo “a” igual a 950.706.376.

5.7 Algoritmos para geração de variáveis Gama

Na geração de variáveis aleatórias com distribuição Gama, foram avaliados dois métodos computacionais: o algoritmo Phillips descrito por Shannon (1975) que será designado como “**A1**” e o algoritmo Gama descrito em Bustos & Frery (1992) que será designado por “**A2**”.

5.8 Simulação e validação

Tendo em vista a natureza probabilística dessa pesquisa, a solução para melhorar a qualidade dos dados diários simulados de precipitação pluviométrica foi determinada pelo melhor conjunto de fatores funcionais (estimadores dos parâmetros da distribuição Gama, gerador de números pseudo-aleatórios, algoritmo computacional de variáveis aleatórias e distribuição Gama).

Na localidade de Piracicaba foi utilizada uma série de dados de 30 anos (1944 – 1973) para ajustar os parâmetros da distribuição Gama. A partir dos parâmetros ajustados com as três formas de estimativa os três geradores e os dois algoritmos computacionais, foram obtidos 18 conjuntos combinados dos quais, efetuou-se cinco simulações para cada

conjunto totalizando 90 séries climatológicas, também de 30 anos para o período de 1974 a 2003.

Para a localidade de Ponta Grossa foram utilizados dados de 24 anos (1954 – 1977) para ajuste dos parâmetros da distribuição Gama. Da mesma maneira, que para a localidade de Piracicaba também foram geradas 90 séries climatológicas de 24 anos para o período de 1978 a 2001.

Depois de efetuadas as simulações, foram calculadas mensalmente para cada localidade, as médias mensais diárias (em mm) de cada uma das cinco replicações para cada conjunto e determinadas as respectivas diferenças absolutas em relação à média histórica, para o mesmo período simulado. As médias diárias mensais históricas foram calculadas com as séries que não foram incluídas nos respectivos ajustes dos parâmetros da distribuição Gama.

A validação dos resultados foi realizada por meio de análise de variância onde foram analisados os três fatores funcionais (estimativas dos parâmetros, geradores e algoritmos computacionais Gama) que influenciam na qualidade dos dados simulados para a precipitação pluviométrica.

A análise de variância executada foi do tipo fatorial $3 \times 3 \times 2$ quando ocorre significância dos fatores e para suas interações foi utilizado o teste “POS HOC” de Duncan para contraste de médias. O nível de significância adotado para todas as hipóteses foi de 5%, embora na análise de variância possam ocorrer significâncias ao nível de 1%.

É importante destacar que na execução da simulação dos dados foi utilizado o software SEDAC_R na simulação dos dados (Virgens Filho, 2001), que sofreu implementações de natureza computacional no seu código original, com alterações das rotinas relacionadas aos fatores funcionais descritos.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Análise da Precipitação Pluviométrica para a localidade de Piracicaba – SP

A Tabela 02 apresenta a estimativa dos parâmetros α e β de acordo com cada estimador. Percebe-se que as diferenças calculadas são menores quando se aplica o método dos momentos (D_{calc_3}), apresentando resultados bem abaixo do máximo permitido pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S) a 5% em todos os meses.

No método de verossimilhança (D_{calc_1}) observa-se que nos meses de janeiro e dezembro houve significância ao nível de 1% enquanto que, os meses de fevereiro e março foram significantes ao nível de 5% pelo teste de aderência.

Aplicando o método numérico proposto por Greenwood e Duran (1960) os meses chuvosos janeiro, fevereiro, março e dezembro foram significantes ao nível de 1%, sendo que, os meses de outubro e novembro apresentaram resultados significantes ao nível de 5% pelo teste de aderência.

Tabela 02 – Ajustes dos parâmetros da distribuição Gama com os respectivos testes de aderência para localidade de Piracicaba baseados nas estimativas utilizando os métodos de verossimilhança (α_1, β_1), Greenwood e Durand (α_2, β_2) e método dos momentos (α_3, β_3).

Mês	α_1	β_1	Dcalc ₁	α_2	β_2	Dcalc ₂	α_3	β_3	Dcalc ₃	D _(5%)	D _(1%)
Jan.	0,4772	27,7235	0,0997	0,4559	29,0225	0,1084	0,7217	18,3337	0,0221	0,0610	0,0731
Fev.	0,4232	28,4511	0,0795	0,3997	30,1270	0,0890	0,5092	23,6455	0,0486	0,0664	0,0796
Mar.	0,4218	32,7790	0,0815	0,3982	34,7219	0,0916	0,5859	23,5992	0,0269	0,0723	0,0866
Abr.	0,4714	24,2469	0,0712	0,4498	25,4103	0,0796	0,6041	18,9219	0,0259	0,1014	0,1215
Mai	0,4806	21,6012	0,0681	0,4594	22,5997	0,0769	0,6038	17,1944	0,0233	0,0967	0,1158
Jun.	0,4823	22,1500	0,0575	0,4611	23,1668	0,0666	0,6543	16,3265	0,0241	0,1216	0,1458
Jul.	0,4997	15,8830	0,0632	0,4792	16,5634	0,0701	0,5422	14,6379	0,0495	0,1347	0,1614
Ago.	0,5122	14,5605	0,0776	0,4922	15,1545	0,0847	0,5785	12,8922	0,0559	0,1188	0,1424
Set.	0,5190	16,8490	0,0467	0,4991	17,5189	0,0468	0,7278	12,0147	0,0490	0,0893	0,1070
Out.	0,5226	21,7890	0,0737	0,5029	22,6435	0,0813	0,7418	15,3504	0,0367	0,0800	0,0959
Nov.	0,4675	26,1956	0,0684	0,4457	27,4730	0,0772	0,6385	19,1780	0,0209	0,0728	0,0873
Dez.	0,5328	22,4143	0,0911	0,5134	23,2601	0,0989	0,7383	16,1761	0,0221	0,0630	0,0755

Na Tabela 03 são apresentadas as médias diárias mensais (em mm) das replicações (R) e de suas respectivas diferenças absolutas (D) em relação à média para o mês de janeiro. Observa-se em um primeiro momento que o tratamento E1G2A1 proporcionou a menor diferença média das replicações em relação à média real e o tratamento E1G3A2 a mais discrepante.

A Tabela 04 mostra a análise de variância entre as diferenças absolutas das médias mensais observadas no mês de janeiro. Nota-se que o estimador e o algoritmo gama influenciaram na simulação, pois a interação entre os mesmos foi estatisticamente significativa ao nível de 1%.

Observando a Tabela 05, verifica-se pelo teste de Duncan a 5%, que quando se analisa o comportamento do algoritmo A1 dentro dos estimadores, percebe-se que não existem razões para afirmar que o estimador influencia na melhora da simulação, uma vez que não houve significância para tal. Quando se analisa o desempenho do algoritmo A2 dentro dos estimadores, nota-se que o estimador E3 produziu melhores resultados que os estimadores E1 e E2. Quando é realizada a análise levando-se em consideração o desempenho dos estimadores face aos algoritmos, observa-se que os estimadores E1 e E2 produzem melhores resultados quando associados ao

algoritmo A1, sendo que para o estimador E3 isto é indiferente. De uma forma geral o melhor desempenho foi conseguido com a combinação E1A1, produzindo uma diferença média absoluta de 0,9 mm para o mês de janeiro.

Tabela 03 – Média diária mensal das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de **13,6 mm** para o mês de janeiro.

Tratamentos	R ₁	D ₁	R ₂	D ₂	R ₃	D ₃	R ₄	D ₄	R ₅	D ₅	$\bar{R}$	$\bar{D}$
E1 G1 A1	14,2	0,6	15,0	1,4	14,9	1,3	14,7	1,1	13,9	0,3	14,54	0,94
E2 G1 A1	12,5	1,1	15,9	2,3	14,6	1,0	15,3	1,7	13,6	0,0	14,38	1,22
E3 G1 A1	14,6	1,0	15,4	1,8	14,1	0,5	14,9	1,3	14,4	0,8	14,68	1,08
E1 G2 A1	13,9	0,3	13,9	0,3	14,0	0,4	13,9	0,3	13,9	0,3	13,92	0,32
E2 G2 A1	14,4	0,8	13,7	0,1	14,1	0,5	15,3	1,7	15,6	2,0	14,62	1,02
E3 G2 A1	14,0	0,4	14,9	1,3	14,2	0,6	14,0	0,4	15,8	2,2	14,58	0,98
E1 G3 A1	14,1	0,5	15,7	2,1	15,4	1,8	14,7	1,1	15,3	1,7	15,04	1,44
E2 G3 A1	14,5	0,9	14,9	1,3	14,8	1,2	14,2	0,6	13,8	0,2	14,44	0,84
E3 G3 A1	14,8	1,2	14,5	0,9	14,6	1,0	14,7	1,1	15,4	1,8	14,80	1,20
E1 G1 A2	16,5	2,9	14,7	1,1	14,9	1,3	15,7	2,1	15,7	2,1	15,50	1,90
E2 G1 A2	16,4	2,8	16,4	2,8	15,6	2,0	15,5	1,9	13,6	0,0	15,50	1,90
E3 G1 A2	14,0	0,4	13,5	0,1	15,2	1,6	14,0	0,4	14,2	0,6	14,18	0,62
E1 G2 A2	15,3	1,7	15,4	1,8	16,5	2,9	13,7	0,1	16,1	2,5	15,40	1,80
E2 G2 A2	14,9	1,3	15,6	2,0	15,9	2,3	15,3	1,7	16,9	3,3	15,72	2,12
E3 G2 A2	13,2	0,4	15,0	1,4	15,0	1,4	13,7	0,1	15,3	1,7	14,44	1,00
E1 G3 A2	16,2	2,6	15,5	1,9	14,2	0,6	18,0	4,4	16,6	3,0	16,10	2,50
E2 G3 A2	16,4	2,8	17,8	4,2	15,6	2,0	13,5	0,1	15,7	2,1	15,80	2,24
E3 G3 A2	15,1	1,5	16,0	2,4	14,5	0,9	14,8	1,2	15,0	1,4	15,08	1,48

Tabela 04 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D) no mês de janeiro.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Estimador (E)	2	4,3126	2,1563	3,2203	*
GNA (G)	2	2,8860	1,4430	2,1550	ns
Algoritmo Gama (A)	1	11,8084	11,8084	17,6348	**
E x G	4	2,5932	0,6483	0,9682	ns
E x A	2	6,8482	3,4241	5,1136	**
G x A	2	1,2416	0,6208	0,9271	ns
E x G x A	4	0,4976	0,1244	0,1859	ns
Tratamentos	17	30,1876	1,7757		
Resíduo	72	48,2120	0,6696		
Total	89	78,3996	2,4453		
(ns) – Não significativo (*) – p< 0,05 (**) – p< 0,01					

Tabela 05 – Teste de Médias para Interação Estimador x Algoritmo Gama, no mês de janeiro.

<u>Algoritmo</u>	<u>Estimador</u>		
	E1	E2	E3
A1	0,9000 aA	1,0267 aA	1,0867 aA
A2	2,0667 bB	2,0867 bB	1,0333 aA

– Letras minúsculas diferentes na linha implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o teste de Duncan.
 – Letras maiúsculas diferentes na coluna implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o teste F.

A Tabela 06 expõe as médias diárias mensais (em mm) das replicações (R) e as suas respectivas diferenças absolutas (D) com relação à média da precipitação pluviométrica para o mês de fevereiro. No primeiro momento observa-se que o tratamento E3G2A2 proporcionou a média mais próxima das replicações em relação à média real, sendo que o tratamento E2G2A2 foi o mais discrepante.

Tabela 06 – Média diária mensal das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de **12,8** mm para o mês de fevereiro.

Tratamentos	R ₁	D ₁	R ₂	D ₂	R ₃	D ₃	R ₄	D ₄	R ₅	D ₅	$\bar{R}$	$\bar{D}$
E1 G1 A1	13,4	0,6	12,7	0,1	14,2	1,4	13,3	0,5	14,2	1,4	13,56	0,80
E2 G1 A1	11,9	0,9	14,7	1,9	12,9	0,1	13,3	0,5	13,6	0,8	13,28	0,84
E3 G1 A1	12,6	0,2	15,3	2,5	12,5	0,3	11,9	0,9	13,5	0,7	13,16	0,92
E1 G2 A1	13,2	0,4	13,5	0,7	13,7	0,9	14,1	1,3	12,9	0,1	13,48	0,68
E2 G2 A1	12,9	0,1	15,1	2,3	14,1	1,3	12,7	0,1	13,7	0,9	13,70	0,94
E3 G2 A1	12,1	0,7	12,4	0,4	13,2	0,4	13,6	0,8	11,9	0,9	12,64	0,64
E1 G3 A1	13,1	0,3	14,0	1,2	11,1	1,7	13,5	0,7	14,2	1,4	13,18	1,06
E2 G3 A1	13,1	0,3	13,1	0,3	14,3	1,5	13,1	0,3	14,2	1,4	13,56	0,76
E3 G3 A1	14,0	1,2	13,0	0,2	12,8	0,0	13,0	0,2	13,7	0,9	13,30	0,50
E1 G1 A2	14,5	1,7	15,2	2,4	14,2	1,4	13,4	0,6	15,2	2,4	14,50	1,70
E2 G1 A2	14,4	1,6	15,2	2,4	13,4	0,6	13,9	1,1	13,2	0,4	14,02	1,22
E3 G1 A2	13,2	0,4	13,2	0,4	14,5	1,7	13,3	0,5	14,3	1,5	13,70	0,90
E1 G2 A2	14,1	1,3	13,8	1,0	13,0	0,2	13,3	0,5	13,8	1,0	13,60	0,80
E2 G2 A2	14,2	1,4	15,3	2,5	13,7	0,9	16,5	3,7	16,7	3,9	15,28	2,48
E3 G2 A2	12,7	0,1	12,7	0,1	13,0	0,2	12,7	0,1	13,0	0,2	12,82	0,14
E1 G3 A2	13,7	0,9	14,8	2,0	13,2	0,4	14,6	1,8	15,4	2,6	14,34	1,54
E2 G3 A2	16,3	3,5	13,3	0,5	14,9	2,1	15,2	2,4	14,1	1,3	14,76	1,96
E3 G3 A2	12,1	0,7	14,3	1,5	11,8	1,0	12,3	0,5	13,3	0,5	12,76	0,84

Na Tabela 07 é apresentada a análise de variância entre as diferenças absolutas das médias mensais simuladas em relação às médias

observadas, no mês de fevereiro. Verifica-se que o estimador e algoritmo gama influenciaram na simulação, pois a interação entre os mesmos foi estatisticamente significativa ao nível de 5%.

Tabela 07 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D) no mês fevereiro.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Estimador (E)	2	7,7060	3,8530	7,2169	**
GNA (G)	2	0,4246	0,2123	0,3977	ns
Algoritmo Gama (A)	1	5,4760	5,4760	10,2568	**
E x G	4	5,1632	1,2908	2,4178	ns
E x A	2	4,5380	2,2690	4,2500	*
G x A	2	0,3686	0,1843	0,3453	ns
E x G x A	4	3,0592	0,7648	1,4326	ns
Tratamentos	17	26,7356	1,5727		
Resíduo	72	38,4408	0,5339		
Total	89	65,1764	2,1066		

(ns) – Não significativo (*) – $p < 0,05$ (**) – $p < 0,01$

Observa-se na Tabela 08, pelo teste de Duncan a 5% que ao analisar o comportamento do algoritmo A1 dentro dos estimadores, nota-se que não existe razão para afirmar que o estimador influencia na simulação, uma vez que não houve significância para tal.

Tabela 08 – Teste de Médias para interação Estimador x Algoritmo Gama no mês de fevereiro.

Algoritmo	Estimador		
	E1	E2	E3
A1	0,8467 aA	0,8467 aA	0,6867 aA
A2	1,3467 bB	1,8867 cB	0,6267 aA

Letras minúsculas diferentes na linha implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o teste de Duncan. Letras maiúsculas diferentes na coluna implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o teste F.

Ao se analisar o desempenho do algoritmo A2 dentro dos estimadores, observa-se que o estimador E3 produziu melhores resultados do que os estimadores E1 e E2, uma vez que estatisticamente os três estimadores apresentaram diferenças significativas entre si. O estimador E2 gerou o maior desvio entre simulado e observado. Porém, quando é realizada a análise do desempenho dos algoritmos face aos estimadores pelo teste F, nota-se que em

E1 os algoritmos influenciaram na simulação pois divergem entre si, em E2 os algoritmos também produziram resultados divergentes entre si influenciando na simulação. Em E3 os algoritmos não influenciaram na simulação. O melhor desempenho foi conseguido com a combinação E3A2, produzindo uma diferença absoluta de 0,63 mm no mês de fevereiro.

Tabela 09 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de **14,5** mm para o mês de março.

Tratamentos	R ₁	D ₁	R ₂	D ₂	R ₃	D ₃	R ₄	D ₄	R ₅	D ₅	$\bar{R}$	$\bar{D}$
E1 G1 A1	11,8	2,7	14,2	0,3	13,6	0,9	12,2	2,3	13,1	1,4	12,98	1,52
E2 G1 A1	11,0	1,8	10,8	2,0	13,1	0,3	11,1	1,7	12,3	0,5	11,66	1,26
E3 G1 A1	12,7	1,8	10,8	3,7	11,5	3,0	11,6	2,9	12,2	2,3	11,76	2,74
E1 G2 A1	12,0	2,5	10,1	4,4	14,0	0,5	11,0	3,5	13,3	1,2	12,08	2,42
E2 G2 A1	13,7	0,8	10,8	3,7	12,5	2,0	12,1	2,4	11,5	3,0	12,12	2,38
E3 G2 A1	12,0	2,5	11,9	2,6	12,1	2,4	12,5	2,0	12,8	1,7	12,26	2,24
E1 G3 A1	13,1	1,4	13,4	1,1	11,6	2,9	10,4	4,1	12,4	2,1	12,18	2,32
E2 G3 A1	11,2	3,3	13,3	1,2	11,2	3,3	12,3	2,2	12,6	1,9	12,12	2,38
E3 G3 A1	13,1	1,4	11,6	2,9	10,9	3,6	12,0	2,5	12,0	2,5	11,92	2,58
E1 G1 A2	12,6	1,9	12,5	2,0	13,6	0,9	12,6	1,9	12,7	1,8	12,80	1,70
E2 G1 A2	14,9	0,4	12,0	2,5	13,6	0,9	11,7	2,8	13,2	1,3	13,08	1,58
E3 G1 A2	12,9	1,6	11,5	3,0	13,6	0,9	12,7	1,8	10,3	4,2	12,20	2,30
E1 G2 A2	13,1	1,4	12,8	1,7	11,9	2,6	13,1	1,4	12,4	2,1	12,66	1,84
E2 G2 A2	12,7	1,8	13,1	1,4	12,1	2,4	12,1	2,4	13,7	0,8	12,74	1,76
E3 G2 A2	11,7	2,8	11,2	3,3	10,8	3,7	12,6	1,9	11,8	2,7	11,62	2,88
E1 G3 A2	12,5	2,0	10,8	3,7	11,5	3,0	14,5	0,0	12,0	2,5	12,26	2,24
E2 G3 A2	13,8	0,7	12,7	1,8	11,3	3,2	12,5	2,0	13,9	0,6	12,84	1,66
E3 G3 A2	11,4	3,1	11,4	3,1	12,8	1,7	11,7	2,8	11,9	2,6	11,84	2,66

A Tabela 09 mostra as médias diárias mensais (em mm) das replicações (R) e as suas respectivas diferenças absolutas (D) com relação à média da precipitação pluviométrica para o mês de março. Observa-se no primeiro momento que o tratamento E2G1A1 proporcionou a média mais próxima das replicações em relação à média real, sendo que o tratamento E3G2A2 foi o mais discrepante.

Tabela 10 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), no mês de março.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Estimador (E)	2	8,7540	4,3770	4,7533	*
GNA (G)	2	3,7406	1,8703	2,0311	ns
Algoritmo Gama (A)	1	0,4134	0,4134	0,4490	ns
E x G	4	1,3992	0,3498	0,3799	ns
E x A	2	0,7108	0,3554	0,3860	ns
G x A	2	0,2828	0,1414	0,1536	ns
E x G x A	4	3,5676	0,8919	0,9687	ns
Tratamentos	17	18,8684	1,1099		
Resíduo	72	66,2976	0,9208		
Total	89	114,5088	2,0307		

(ns) – Não significativo (*) – $p < 0,05$ (**) – $p < 0,01$

Na Tabela 10, é apresentada a análise de variância entre as diferenças absolutas das médias mensais simuladas em relação às médias mensais observadas, no mês de março. Nota-se que somente o estimador influenciou na simulação, sendo estatisticamente significativo ao nível de 5%.

Tabela 11 – Teste de Médias para o Estimador, no mês de março.

Estimador	E1	E2	E3
	2,0067 a	1,8367 a	2,5667 b

_ Letras minúsculas diferentes implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o teste de Duncan.

Nota-se na Tabela 11, pelo teste de Duncan a 5% que a menor diferença observada ocorreu no E2 porém estatisticamente não diferiu de E1. O tratamento E3 apresentou a maior significância, gerando um maior desvio entre simulado e observado.

Tabela 12 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de **12,0** mm para o mês de abril.

Tratamento	R ₁	D ₁	R ₂	D ₂	R ₃	D ₃	R ₄	D ₄	R ₅	D ₅	$\bar{R}$	$\bar{D}$
E1 G1 A1	7,6	4,4	9,2	2,8	10,1	1,9	8,9	3,1	7,5	4,5	8,66	3,34
E2 G1 A1	8,6	3,4	8,6	3,4	10,7	1,3	8,2	3,8	10,1	1,9	9,24	2,76
E3 G1 A1	10,0	2,0	9,1	2,9	9,6	2,4	9,7	2,3	7,9	4,1	9,26	2,74
E1 G2 A1	9,1	2,9	9,6	2,4	9,3	2,7	7,5	4,5	10,8	1,2	9,26	2,74
E2 G2 A1	11,7	0,3	9,0	3,0	8,7	3,3	13,0	1,0	8,3	3,7	10,14	2,26
E3 G2 A1	10,2	1,8	11,7	0,3	10,0	2,0	10,0	2,0	10,9	1,1	10,56	1,44
E1 G3 A1	9,1	2,9	9,4	2,6	11,8	0,2	9,4	2,6	9,7	2,3	9,88	2,12
E2 G3 A1	8,9	3,1	9,1	2,9	9,6	2,4	6,9	5,1	9,8	2,2	8,86	3,14
E3 G3 A1	9,3	2,7	9,4	2,6	8,8	3,2	9,8	2,2	7,9	4,1	9,04	2,96
E1 G1 A2	10,7	1,3	11,8	0,2	10,1	1,9	8,1	3,9	9,1	2,9	9,96	2,04
E2 G1 A2	10,9	1,1	9,9	2,1	9,5	2,5	12,5	0,5	9,3	2,7	10,42	1,78
E3 G1 A2	8,9	3,1	12,1	0,1	8,7	3,3	10,1	1,9	8,9	3,1	9,74	2,30
E1 G2 A2	9,8	2,2	9,0	3,0	11,3	0,7	11,0	1,0	9,0	3,0	10,02	1,98
E2 G2 A2	10,8	1,2	10,2	1,8	12,2	0,2	9,2	2,8	11,6	0,4	10,8	1,28
E3 G2 A2	11,9	0,1	10,0	2,0	8,5	3,5	12,3	0,3	11,7	0,3	10,88	1,24
E1 G3 A2	9,9	2,1	11,1	0,9	11,5	0,5	10,0	2,0	9,7	2,3	10,44	1,56
E2 G3 A2	9,0	3,0	9,7	2,3	10,1	1,9	9,7	2,3	9,7	2,3	9,64	2,36
E3 G3 A2	10,0	2,0	10,2	1,8	10,3	1,7	10,7	1,3	9,1	2,9	10,06	1,94

Está apresentada, na Tabela 12, as médias diárias mensais (em mm) das replicações (R) e de suas respectivas diferenças absolutas (D) em relação à média para o mês de abril. Observa-se num primeiro momento que o tratamento E3G2A2 proporcionou a mais próxima média das replicações em relação à média real e o tratamento E1G1A1 a mais discrepante.

Tabela 13 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), para o mês de abril.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Estimador (E)	2	0,6408	0,3204	0,2773	ns
GNA (G)	2	7,4428	3,7214	3,2202	*
Algoritmo Gama (A)	1	13,689	13,6890	11,8451	**
E x G	4	9,7972	2,4493	2,1194	ns
E x A	2	0,5840	0,2920	0,2527	ns
G x A	2	0,2540	0,1270	0,1099	ns
E x G x A	4	1,4340	0,3585	0,3102	ns
Tratamentos	17	33,8418	1,9907		
Resíduo	72	83,2104	1,1557		
Total	89	117,0522	3,1464		

(ns) – Não significativo

(*) – $p < 0,05$

(**) – $p < 0,01$

A Tabela 13 apresenta a análise de variância entre as diferenças absolutas das médias mensais simuladas em relação às médias mensais observadas, no mês de abril. Nota-se que o gerador de números aleatórios e o algoritmo gama influenciaram na simulação, pois o algoritmo gama foi estatisticamente significativo ao nível de 1%. O gerador de números aleatórios apresenta significância ao nível de 5% porém não houve interação entre os mesmos.

Tabela 14 – Teste de Médias para os Geradores, no mês de abril.

Geradores	G1	G2	G3
	2,4933 b	1,8233 a	2,3467 ab

_ Letras minúsculas diferentes implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o teste de Duncan.

Verifica-se na Tabela 14 pelo teste de Duncan a 5% que a menor diferença estatística observada ocorreu G2 e a maior diferença ocorreu em G1, com o gerador G3 não houve diferença estatística significativa para G2 nem para G1.

Tabela 15 – Teste de Médias para os Algoritmos, no mês de abril.

Algoritmo	A1	A2
	2,6111 b	1,8311 a

_ Letras minúsculas diferentes implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 1%, segundo o teste F.

Na Tabela 15 é apresentado o teste de médias entre os algoritmos. Observa-se pelo teste de F a 1% que a menor diferença ocorreu no A2, produzindo menor discrepância do que A1.

Tabela 16 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de **10,5 mm** para o mês de maio.

Tratamentos	R ₁	D ₁	R ₂	D ₂	R ₃	D ₃	R ₄	D ₄	R ₅	D ₅	$\bar{R}$	$\bar{D}$
E1 G1 A1	8,4	2,1	9,3	1,2	9,5	1,0	9,0	1,5	8,3	2,2	8,90	1,60
E2 G1 A1	8,6	1,9	8,6	1,9	8,3	2,2	9,1	1,4	8,8	1,7	8,68	1,82
E3 G1 A1	8,2	2,3	9,3	1,2	8,7	1,8	10,7	0,2	10,2	0,3	9,42	1,16
E1 G2 A1	8,3	2,2	9,9	0,6	8,9	1,6	11,4	0,9	9,4	1,1	9,58	1,28
E2 G2 A1	8,6	1,9	9,2	1,3	7,7	2,8	9,8	0,7	10,0	0,5	9,06	1,44
E3 G2 A1	8,4	2,1	9,6	0,9	9,6	0,9	9,4	1,1	8,5	2,0	9,10	1,40
E1 G3 A1	10,2	0,3	8,2	2,3	8,1	2,4	9,1	1,4	10,5	0,0	9,22	1,28
E2 G3 A1	9,4	1,1	9,5	1,0	9,1	1,4	7,6	2,9	9,8	0,7	9,08	1,42
E3 G3 A1	8,5	2,0	9,5	1,0	9,0	1,5	9,2	1,3	9,3	1,2	9,10	1,40
E1 G1 A2	9,4	1,1	9,4	1,1	9,5	1,0	8,6	1,9	8,9	1,6	9,16	1,34
E2 G1 A2	8,4	2,1	9,5	1,0	10,4	0,1	8,3	2,2	9,8	0,7	9,28	1,22
E3 G1 A2	9,2	1,3	9,5	1,0	7,7	2,8	8,2	2,3	10,1	0,4	8,94	1,56
E1 G2 A2	9,9	0,6	9,1	1,4	8,4	2,1	8,5	2,0	8,1	2,4	8,80	1,70
E2 G2 A2	8,2	2,3	10,6	0,1	9,0	1,5	9,9	0,6	9,1	1,4	9,36	1,18
E3 G2 A2	11,0	0,5	9,3	1,2	9,3	1,2	9,2	1,3	9,4	1,1	9,64	1,06
E1 G3 A2	9,0	1,5	9,1	1,4	7,8	2,7	8,8	1,7	10,4	0,1	9,02	1,48
E2 G3 A2	9,7	0,8	9,9	0,6	7,8	2,7	9,9	0,6	8,9	1,6	9,24	1,26
E3 G3 A2	7,4	3,1	9,5	1,0	7,4	3,1	8,6	1,9	9,1	1,4	8,40	2,10

A Tabela 16 mostra as médias diárias mensais (em mm) das replicações (R) e de suas respectivas diferenças absolutas (D) em relação à média para o mês de maio. Observa-se num primeiro momento que o tratamento E3G2A2 proporcionou a mais próxima média das replicações em relação à média real e o tratamento E3G3A2 a mais divergente.

Tabela 17 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), no mês de maio.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Estimador (E)	2	0,0642	0,0321	0,0532	ns
GNA (G)	2	0,3448	0,1724	0,2859	ns
Algoritmo Gama (A)	1	0,0028	0,0028	0,0046	ns
E x G	4	1,4464	0,3616	0,5995	ns
E x A	2	1,4536	0,7268	1,2049	ns
G x A	2	0,6568	0,3284	0,5445	ns
E x G x A	4	1,6436	0,4109	0,6813	ns
Tratamentos	17	5,6122	0,3301		
Resíduo	72	43,4304	0,6032		
Total	89	49,0426	0,9333		
(ns) – Não significativo (*) – p<0,05 (**) – p<0,01					

Na Tabela 17, está exposta a análise de variância entre as diferenças absolutas das médias mensais simuladas em relação à média mensal real, no mês de maio. Nota-se que nenhum dos fatores avaliados proporcionou variabilidade significativa da realidade.

Tabela 18 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de **10,9** em mm para o mês de junho.

Tratamentos	R ₁	D ₁	R ₂	D ₂	R ₃	D ₃	R ₄	D ₄	R ₅	D ₅	$\bar{R}$	$\bar{D}$
E1 G1 A1	9,1	1,8	7,8	3,1	10,5	0,4	8,9	2,0	10,2	0,7	9,3	1,60
E2 G1 A1	9,0	1,9	8,7	2,2	9,8	1,1	8,3	2,6	10,4	0,5	9,24	1,66
E3 G1 A1	6,7	4,2	9,0	1,9	8,2	2,7	9,7	1,2	9,7	1,2	8,66	2,24
E1 G2 A1	9,0	1,9	8,8	2,1	11,2	0,3	9,1	1,8	10,3	0,6	9,68	1,34
E2 G2 A1	8,3	2,6	10,5	0,4	10,7	0,2	9,6	1,3	6,8	4,1	9,18	1,72
E3 G2 A1	7,6	3,3	10,3	0,6	9,3	1,6	9,8	1,1	8,9	2,0	9,18	1,72
E1 G3 A1	9,2	1,7	9,1	1,8	10,2	0,7	7,9	3,0	8,0	2,9	8,88	2,02
E2 G3 A1	11,5	0,6	9,0	1,9	8,7	2,2	8,9	2,0	9,4	1,5	9,50	1,64
E3 G3 A1	11,7	0,8	9,3	1,6	10,2	0,7	8,8	2,1	9,1	1,8	9,82	1,40
E1 G1 A2	9,5	1,4	9,2	1,7	10,5	0,4	9,7	1,2	9,9	1,0	9,76	1,14
E2 G1 A2	11,5	0,6	9,6	1,3	8,7	2,2	8,5	2,4	9,6	1,3	9,58	1,56
E3 G1 A2	9,1	1,8	9,0	1,9	10,5	0,4	8,2	2,7	9,2	1,7	9,20	1,70
E1 G2 A2	11,0	0,1	13,1	2,2	9,5	1,4	7,2	3,7	10,4	0,5	10,24	1,58
E2 G2 A2	8,2	2,7	11,8	0,9	7,1	3,8	10,2	0,7	10,5	0,4	9,56	1,70
E3 G2 A2	8,4	2,5	10,9	0,0	10,4	0,5	9,3	1,6	8,4	2,5	9,48	1,42
E1 G3 A2	9,3	1,6	11,6	0,7	8,7	2,2	9,1	1,8	9,2	1,7	9,58	1,60
E2 G3 A2	9,4	1,5	9,3	1,6	10,8	0,1	8,3	2,6	9,8	1,1	9,52	1,38
E3 G3 A2	11,9	1,0	9,7	1,2	9,8	1,1	12,1	1,2	16,6	5,7	12,02	2,04

A Tabela 18, apresenta as médias diárias mensais (em mm) das replicações (R) e de suas respectivas diferenças absolutas (D) em relação à média para o mês de junho. No primeiro momento observa-se que o tratamento E1G1A2 proporcionou a menor diferença em relação à média real e o tratamento E3G1A1 o mais discrepante.

Está apresentada na Tabela 19, a análise de variância entre as diferenças absolutas das médias mensais simuladas em relação à média mensal real, no mês de junho. Observa-se que nenhum dos fatores proporcionou variabilidade estatisticamente significativa da realidade.

Tabela 19 - Análise de Variância das diferenças absolutas (D), no mês de junho.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Estimador (E)	2	0,6726	0,3363	0,2761	ns
GNA (G)	2	0,1580	0,0790	0,0649	ns
Algoritmo Gama (A)	1	0,4134	0,4134	0,3395	ns
E x G	4	1,9392	0,4848	0,3981	ns
E x A	2	0,0816	0,0408	0,0335	ns
G x A	2	0,6016	0,3008	0,2470	ns
E x G x A	4	2,1904	0,5476	0,4496	ns
Tratamentos	17	6,0568	0,3563		
Resíduo	72	87,6888	1,2179		
Total	89	93,7456	1,5742		

(ns) – Não significativo (*) – p<0,05 (**) – p<0,01

Tabela 20 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de **8,3** mm para o mês de julho.

Tratamentos	R ₁	D ₁	R ₂	D ₂	R ₃	D ₃	R ₄	D ₄	R ₅	D ₅	$\bar{R}$	$\bar{D}$
E1 G1 A1	6,4	1,9	7,2	1,1	9,5	1,2	7,9	0,4	6,6	1,7	7,52	1,26
E2 G1 A1	7,6	0,7	8,8	0,5	6,7	1,6	7,5	0,8	6,2	2,1	7,36	1,14
E3 G1 A1	8,8	0,5	7,6	0,7	5,7	2,6	7,9	0,4	7,9	0,4	7,58	0,92
E1 G2 A1	8,0	0,3	9,1	0,8	7,3	1,0	7,3	1,0	10,3	2,0	8,40	1,02
E2 G2 A1	8,2	0,1	7,1	1,2	7,2	1,1	8,6	0,3	8,6	0,3	7,94	0,60
E3 G2 A1	8,6	0,3	7,3	1,0	7,6	0,7	8,2	0,1	6,6	1,7	7,66	0,76
E1 G3 A1	9,6	1,3	6,7	1,6	8,9	0,6	5,8	2,5	7,3	1,0	7,66	1,40
E2 G3 A1	9,2	0,9	6,7	1,6	6,4	1,9	8,2	0,1	6,4	1,9	7,38	1,28
E3 G3 A1	6,9	1,4	8,2	0,1	7,8	0,5	6,8	1,5	7,7	0,6	7,48	0,82
E1 G1 A2	8,2	0,1	8,1	0,2	8,9	0,6	8,9	0,6	8,8	0,5	8,58	0,40
E2 G1 A2	8,0	0,3	7,6	0,7	8,3	0,0	8,4	0,1	7,8	0,5	8,02	0,32
E3 G1 A2	7,5	0,8	8,6	0,3	7,6	0,7	9,6	1,3	8,4	0,1	8,34	0,64
E1 G2 A2	10,4	2,1	10,5	2,2	7,5	0,8	7,9	0,4	7,8	0,5	8,82	1,20
E2 G2 A2	9,6	1,3	8,0	0,3	9,3	1,0	7,8	0,5	7,6	0,7	8,46	0,76
E3 G2 A2	8,1	0,2	9,1	0,8	8,2	0,1	7,2	1,1	8,8	0,5	8,28	0,54
E1 G3 A2	6,5	1,8	8,4	0,1	9,0	0,7	8,2	0,1	8,3	0,0	8,08	0,54
E2 G3 A2	8,6	0,3	7,8	0,5	8,8	0,5	7,0	1,3	8,0	0,3	8,04	0,58
E3 G3 A2	8,2	0,1	8,1	0,2	8,9	0,6	8,9	0,6	8,8	0,5	8,58	0,40

Observa-se, na Tabela 20 as médias diárias mensais (em mm) das replicações (R) e as suas respectivas diferenças absolutas (D) com relação à média da precipitação pluviométrica para o mês de julho. No primeiro momento observa-se que o tratamento E2G1A2 proporcionou a média

mais próxima das replicações em relação à média real, sendo que o tratamento E1G3A1 o mais divergente.

Tabela 21 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D) no mês de julho.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Estimador (E)	2	2,2842	1,1421	3,1386	*
GNA (G)	2	0,0428	0,0214	0,0589	ns
Algoritmo Gama (A)	1	3,0250	3,0250	8,3130	**
E x G	4	0,5796	0,1449	0,3983	ns
E x A	2	0,0886	0,0443	0,1218	ns
G x A	2	1,9820	0,9910	2,7234	ns
E x G x A	4	0,8512	0,2128	0,5849	ns
Tratamentos	17	8,8534	0,5208		
Resíduo	72	26,2008	0,3639		
Total	89	35,0542	0,8847		
(ns) – Não significativo (*) – $p < 0,05$ (**) – $p < 0,01$					

Na Tabela 21, é apresentada a análise de variância entre as diferenças absolutas das médias mensais simuladas em relação às médias mensais observadas, no mês de julho. Nota-se que o estimador e o algoritmo gama influenciaram na simulação, pois o algoritmo gama foi estatisticamente significativo ao nível de 1%, com o estimador apresentando significância ao nível de 5%.

Tabela 22 – Teste de Médias para o Estimador (E), para o mês de julho.

Estimador	E1	E2	E3
	1,0567 b	0,7800 ab	0,6800 a

_ Letras minúsculas diferentes implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o teste de Duncan.

Na Tabela 22, observa-se pelo teste de Duncan a 5% que a menor diferença estatística observada ocorreu no estimador E3 e a maior ocorreu no estimador E1, porém E2 não diferiu estatisticamente de E3 e E1.

Nota-se na Tabela 23 que a comparação das médias dos algoritmos pelo teste de F a 1%, apresenta a menor diferença ocorrendo no A2, sendo que em A1 foi a mais discrepante.

Tabela 23 – Teste de Médias para Algoritmo Gama (A) no mês de julho.

Algoritmo	A1	A2
	1,0222 b	0,6555 a

_ Letras minúsculas diferentes implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 1%, segundo o teste F.

Tabela 24 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de 7,5 mm para o mês de agosto.

Tratamentos	R ₁	D ₁	R ₂	D ₂	R ₃	D ₃	R ₄	D ₄	R ₅	D ₅	$\bar{R}$	$\bar{D}$
E1 G1 A1	6,5	1,0	6,8	0,7	7,0	0,5	9,5	2,0	6,9	0,6	7,34	0,96
E2 G1 A1	8,2	0,7	8,1	0,6	7,9	0,4	9,4	1,9	8,2	0,7	8,36	0,86
E3 G1 A1	8,9	1,4	8,5	1,0	7,4	0,1	9,1	1,6	7,0	0,5	8,18	0,92
E1 G2 A1	8,8	1,3	9,3	1,8	10,2	2,7	9,0	1,5	8,2	0,7	9,10	1,60
E2 G2 A1	10,4	2,9	8,0	0,5	9,3	1,8	7,9	0,4	8,1	0,6	8,74	1,24
E3 G2 A1	7,6	0,1	6,4	1,1	7,6	0,1	7,9	0,4	9,1	1,6	7,72	0,66
E1 G3 A1	9,1	1,6	7,3	0,2	6,8	0,7	7,9	0,4	7,6	0,1	7,74	0,60
E2 G3 A1	8,1	0,6	10,4	2,9	6,7	0,8	8,7	1,2	8,7	1,2	8,52	1,34
E3 G3 A1	9,1	1,6	6,9	0,6	7,8	0,3	7,7	0,2	8,8	1,3	8,06	0,80
E1 G1 A2	7,6	0,1	7,8	0,3	7,0	0,5	6,9	0,6	10,8	3,3	8,02	0,96
E2 G1 A2	10,2	2,7	7,9	0,4	9,9	2,4	8,4	0,9	10,6	3,1	9,40	1,90
E3 G1 A2	9,0	1,5	7,1	0,4	6,9	0,6	7,5	0,0	7,2	0,3	7,54	0,56
E1 G2 A2	9,7	2,2	9,6	2,1	9,3	1,8	10,6	3,1	7,1	0,4	9,26	1,92
E2 G2 A2	8,3	0,8	9,5	2,0	8,7	1,2	7,0	0,5	10,2	2,7	8,74	1,44
E3 G2 A2	8,9	1,4	7,8	0,3	8,5	1,0	8,0	0,5	7,2	0,3	8,08	0,70
E1 G3 A2	9,2	1,7	8,6	1,1	8,5	1,0	10,8	3,3	8,3	0,8	9,08	1,58
E2 G3 A2	7,5	0,0	7,5	0,0	8,8	1,3	8,7	1,2	10,3	2,8	8,56	1,06
E3 G3 A2	8,0	0,5	8,9	1,4	7,4	0,1	8,4	0,9	8,8	1,3	8,30	0,84

A Tabela 24, apresenta as médias diárias mensais (em mm) das replicações (R) e as suas respectivas diferenças absolutas (D). Observa-se num primeiro momento que o tratamento E3G1A2 proporcionou a média mais próxima das replicações em relação à média real, sendo que o tratamento E1G2A2 o mais divergente.

A Tabela 25 está exposta a análise de variância entre as diferenças absolutas das médias mensais simuladas em relação às médias mensais observadas. Observa-se que o estimador apresenta significância ao nível de 5%.

Tabela 25 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D) no mês de agosto.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Estimador (E)	2	5,8882	2,9441	4,0761	*
GNA (G)	2	1,0442	0,5221	0,7229	ns
Algoritmo Gama (A)	1	1,0890	1,0890	1,5077	ns
E x G	4	2,9192	0,7298	1,0104	ns
E x A	2	1,1526	0,5763	0,7979	ns
G x A	2	0,0140	0,0070	0,0097	ns
E x G x A	4	3,7332	0,9333	1,2922	ns
Tratamentos	17	15,8404	0,9318		
Resíduo	72	52,0056	0,7223		
Total	89	67,8460	1,6541		

(ns) – Não significativo (*) – $p < 0,05$ (**) – $p < 0,01$

Tabela 26 – Teste de Médias para o Estimador (E), no mês de agosto.

Estimador	E1	E2	E3
	1,2700 b	1,3067 b	0,7467 a

_ Letras minúsculas diferentes implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o teste de Duncan.

Tabela 27 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real **8,8** mm para o mês de setembro.

Tratamentos	R ₁	D ₁	R ₂	D ₂	R ₃	D ₃	R ₄	D ₄	R ₅	D ₅	$\bar{R}$	$\bar{D}$
E1 G1 A1	9,8	1,0	8,3	0,5	9,1	0,3	8,8	0,0	9,9	1,1	9,18	0,58
E2 G1 A1	8,6	0,2	9,7	0,9	10,8	2,0	9,6	0,8	10,9	2,1	9,92	1,20
E3 G1 A1	10,5	1,7	9,9	1,1	9,4	0,6	10,1	1,3	8,8	0,0	9,74	0,94
E1 G2 A1	10,4	1,6	8,4	0,4	8,8	0,0	9,5	0,7	10,8	2,0	9,58	0,94
E2 G2 A1	8,2	0,6	9,1	0,3	8,7	0,1	9,7	0,9	11,1	2,3	9,36	0,84
E3 G2 A1	9,7	0,9	9,1	0,3	10,3	1,5	8,9	0,1	10,4	1,6	9,68	0,88
E1 G3 A1	11,2	2,4	8,9	0,1	9,5	0,7	11,5	2,7	9,6	0,8	10,14	1,34
E2 G3 A1	9,8	1,0	9,1	0,3	10,8	2,0	8,7	0,1	10,5	1,7	9,78	1,02
E3 G3 A1	9,2	0,4	9,5	0,7	8,7	0,1	10,2	1,4	9,4	0,6	9,40	0,64
E1 G1 A2	10,7	1,9	9,8	1,0	9,1	0,3	11,0	2,2	10,0	1,2	10,12	1,32
E2 G1 A2	11,5	2,7	9,5	0,7	11,1	2,3	10,9	2,1	10,3	1,5	10,66	1,86
E3 G1 A2	9,6	0,8	9,1	0,3	8,7	0,1	11,0	2,2	10,2	1,4	9,72	0,96
E1 G2 A2	10,6	1,8	10,5	1,7	9,9	1,1	10,2	1,4	9,4	0,6	10,12	1,32
E2 G2 A2	9,3	0,5	8,5	0,3	10,0	1,2	11,6	2,8	10,5	1,7	9,98	1,30
E3 G2 A2	8,3	0,5	10,3	1,5	9,7	0,9	10,7	1,9	9,9	1,1	9,78	1,18
E1 G3 A2	9,9	1,1	10,5	1,7	9,0	0,2	10,7	1,9	11,7	2,9	10,36	1,56
E2 G3 A2	13,3	4,5	10,8	2,0	9,7	0,9	12,3	3,5	10,6	1,8	11,34	2,54
E3 G3 A2	10,0	1,2	9,8	1,0	9,8	1,0	10,0	1,2	9,5	0,7	9,82	1,02

Na Tabela 26, observa-se pelo teste de Duncan a 5% que a menor diferença observada ocorreu no estimador E3 e a maior diferença

ocorreu no estimador E2 que, estatisticamente, não difere do E1, que por sua vez também difere de E3.

A Tabela 27, mostra as médias diárias mensais (em mm) das replicações (R) e as suas respectivas diferenças absolutas (D) com relação média da precipitação pluviométrica para o mês de setembro. No primeiro momento observa-se que o tratamento E1G1A1 proporcionou a média mais próxima das replicações em relação à média real, sendo que o tratamento E2G3A2 o mais discrepante.

Tabela 28 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), para o mês de setembro

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Estimador (E)	2	4,1176	2,0588	3,0778	ns
GNA (G)	2	1,2508	0,6254	0,9350	ns
Algoritmo Gama (A)	1	6,0840	6,0840	9,0950	**
E x G	4	2,8284	0,7071	1,0571	ns
E x A	2	1,6286	0,8143	1,2173	ns
G x A	2	0,4246	0,2123	0,3174	ns
E x G x A	4	1,6948	0,4237	0,6333	ns
Tratamentos	17	18,0288	1,0605		
Resíduo	72	48,1608	0,6689		
Total	89	66,1896	1,7294		
(ns) – Não significativo		(*) – $p < 0,05$	(**) – $p < 0,01$		

A Tabela 28, expõe a análise de variância entre as diferenças absolutas das médias mensais simuladas em relação às médias mensais observadas, no mês de setembro. Nota-se que o algoritmo gama influenciou na simulação, pois apresentou diferenças significantes ao nível de 1% pelo teste F.

Tabela 29 – Teste de Médias para o Algoritmo (A), no mês de setembro.

Algoritmo	A1	A2
	0,9311 a	1,4511 b

– Letras minúsculas diferentes implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 1%, segundo o teste F.

Na Tabela 29, observa-se pelo teste de F a 1% que a menor diferença estatística observada ocorreu no algoritmo A1 que maximizou os

erros das médias simuladas em relação às médias históricas e a maior diferença ocorreu no algoritmo A2.

Tabela 30 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de **12,0** mm para o mês de outubro.

Tratamentos	R ₁	D ₁	R ₂	D ₂	R ₃	D ₃	R ₄	D ₄	R ₅	D ₅	$\bar{R}$	$\bar{D}$
E1 G1 A1	10,8	1,2	11,0	1,0	11,1	0,9	11,3	0,7	10,8	1,2	11,00	1,00
E2 G1 A1	11,5	0,5	10,7	1,3	12,8	0,8	12,2	0,2	12,6	0,6	11,96	0,68
E3 G1 A1	12,2	0,2	10,7	1,3	10,7	1,3	11,3	0,7	11,2	0,8	11,22	0,86
E1 G2 A1	12,8	0,8	12,6	0,6	13,3	1,3	11,7	0,3	12,7	0,7	12,62	0,74
E2 G2 A1	11,5	0,5	12,4	0,4	11,9	0,1	11,3	0,7	10,0	2,0	11,42	0,74
E3 G2 A1	10,9	1,1	11,9	0,1	12,0	0,0	10,7	1,3	11,5	0,5	11,40	0,60
E1 G3 A1	11,4	0,6	11,8	0,2	11,0	1,0	11,5	0,5	12,4	0,4	11,62	0,54
E2 G3 A1	11,3	0,7	11,6	0,4	12,0	0,0	10,6	1,4	11,9	0,1	11,48	0,52
E3 G3 A1	11,5	0,5	11,9	0,1	11,4	0,6	12,5	0,5	10,8	1,2	11,62	0,58
E1 G1 A2	13,2	1,2	12,7	0,7	11,1	0,9	12,1	0,1	14,3	2,3	12,68	1,04
E2 G1 A2	13,7	1,7	12,0	0,0	13,1	1,1	13,4	1,4	13,4	1,4	13,12	1,12
E3 G1 A2	12,4	0,4	11,1	0,9	11,7	0,3	12,3	0,3	10,9	1,1	11,68	0,60
E1 G2 A2	12,2	0,2	14,1	2,1	13,5	1,5	12,2	0,2	12,3	0,3	12,86	0,86
E2 G2 A2	13,0	1,0	12,6	0,6	12,6	0,6	13,4	1,4	11,2	0,8	12,56	0,88
E3 G2 A2	11,4	0,6	12,0	0,0	10,1	1,9	10,6	1,4	11,3	0,7	11,08	0,92
E1 G3 A2	11,7	0,3	10,5	1,5	12,9	0,9	13,1	1,1	12,9	0,9	12,22	0,94
E2 G3 A2	12,2	0,2	12,3	0,3	12,1	0,1	13,1	1,1	11,7	0,3	12,28	0,40
E3 G3 A2	13,3	1,0	13,2	1,1	12,9	1,4	12,8	1,5	14,7	0,4	13,38	1,08

A Tabela 30 apresenta as médias diárias mensais (em mm) das replicações (R) e as suas respectivas diferenças absolutas (D) com relação à média da precipitação pluviométrica para o mês de outubro. No primeiro momento observa-se que, o tratamento E2G3A2 proporcionou a média mais próxima das replicações em relação à média real, sendo que o tratamento E2G1A2 é o mais divergente.

Mostra-se na Tabela 31, a análise de variância entre as diferenças absolutas das médias mensais simuladas em relação às médias mensais observadas, no mês de outubro. Observa-se que nenhum dos fatores influenciou na simulação.

Tabela 31 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), para o mês de outubro.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Estimador (E)	2	0,4602	0,2301	0,7918	ns
GNA (G)	2	1,3476	0,6738	2,3185	ns
Algoritmo Gama (A)	1	0,3121	0,3121	1,0740	ns
E x G	4	0,3764	0,0941	0,3238	ns
E x A	2	0,1268	0,0634	0,2183	ns
G x A	2	0,0648	0,0324	0,1116	ns
E x G x A	4	0,9312	0,2328	0,8010	ns
Tratamentos	17	3,6191	0,2129		
Resíduo	72	20,9232	0,2906		
Total	89	24,5423	0,5035		

(ns) – Não significativo (*) – $p < 0,05$ (**) – $p < 0,01$

Tabela 32 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de **12,8** mm no mês de novembro.

Tratamentos	R ₁	D ₁	R ₂	D ₂	R ₃	D ₃	R ₄	D ₄	R ₅	D ₅	$\bar{R}$	$\bar{D}$
E1 G1 A1	11,8	1,0	13,0	0,2	12,7	0,1	10,6	2,2	13,3	0,5	12,28	0,80
E2 G1 A1	11,6	1,2	12,2	0,6	11,8	1,0	13,7	0,9	11,0	1,8	12,06	1,10
E3 G1 A1	11,6	1,2	9,9	2,9	11,6	1,2	12,4	0,4	11,2	1,6	11,34	1,46
E1 G2 A1	12,6	0,2	11,7	1,1	11,3	1,5	11,3	1,5	10,3	2,5	11,44	1,36
E2 G2 A1	12,5	0,3	11,9	0,9	10,9	1,9	11,5	1,3	12,2	0,6	11,80	1,00
E3 G2 A1	11,4	1,4	11,0	1,8	10,9	1,9	11,6	1,2	11,8	1,0	11,34	1,46
E1 G3 A1	12,2	0,6	11,2	1,6	11,0	1,8	13,2	0,4	10,1	2,7	11,54	1,42
E2 G3 A1	11,7	1,1	11,3	1,5	11,6	1,2	10,9	1,9	11,9	0,9	11,48	1,32
E3 G3 A1	10,8	2,0	11,6	1,2	11,7	1,1	11,7	1,1	13,3	0,5	11,82	1,18
E1 G1 A2	11,8	1,0	13,0	0,2	12,7	0,1	10,6	2,2	13,3	0,5	12,28	0,80
E2 G1 A2	12,7	0,1	11,5	1,3	10,7	2,1	14,9	2,1	12,8	0,0	12,52	1,12
E3 G1 A2	12,6	0,2	11,6	1,2	12,9	0,1	10,7	2,1	11,4	1,4	11,84	1,00
E1 G2 A2	13,0	0,2	11,9	0,9	11,9	0,9	11,6	1,2	11,9	0,9	12,06	0,82
E2 G2 A2	11,8	1,0	13,4	0,6	13,3	0,5	11,9	0,9	13,2	0,4	12,72	0,68
E3 G2 A2	12,8	0,0	12,2	0,6	12,8	0,0	11,7	1,1	11,6	1,2	12,22	0,58
E1 G3 A2	13,7	0,9	11,6	1,2	11,5	1,3	13,0	0,2	12,8	0,0	12,52	0,72
E2 G3 A2	12,9	0,1	12,6	0,2	14,3	1,5	11,0	1,8	11,5	1,3	12,46	0,98
E3 G3 A2	11,8	1,0	12,2	0,6	12,1	0,7	10,7	2,1	11,2	1,6	11,60	1,20

A Tabela 32 demonstra as médias diárias mensais (em mm) das replicações (R) e as suas respectivas diferenças absolutas (D) com relação à média da precipitação pluviométrica para o mês de novembro. Nota-se num primeiro momento que o tratamento E3G2A2 proporcionou a média mais

próxima das replicações em relação à média real, sendo que os tratamentos E3G1A1 e E3G2A1 são os mais discrepantes.

Na Tabela 33, está apresentada a análise de variância entre as diferenças absolutas das médias mensais simuladas em relação às médias mensais observadas, no mês de novembro. Nota-se que o algoritmo gama influenciou na simulação, pois apresentou diferenças significantes ao nível de 5% pelo teste F.

Tabela 33 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), para o mês de novembro.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Estimador (E)	2	0,5662	0,2831	0,5777	ns
GNA (G)	2	0,3962	0,1981	0,4042	ns
Algoritmo Gama (A)	1	3,2111	3,2111	6,5518	*
E x G	4	1,3856	0,3464	0,7069	ns
E x A	2	0,3102	0,1551	0,3165	ns
G x A	2	0,5202	0,2601	0,5307	ns
E x G x A	4	1,0244	0,2561	0,5226	ns
Tratamentos	17	7,4139	0,4361		
Resíduo	72	35,2872	0,4901		
Total	89	42,7011	0,9262		
(ns) – Não significativo		(*) – $p < 0,05$		(**) – $p < 0,01$	

Tabela 34 – Teste de Médias para o Algoritmo Gama (A), no mês de novembro.

Algoritmo	A1	A2
	1,2333 b	0,8555 a

_ Letras minúsculas diferentes implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o teste F.

Observa-se na Tabela 34, pelo teste de F a 5% que a menor diferença observada ocorreu em A2, sendo significativamente inferior a A1.

Tabela 35 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de **12,4** mm para o mês de dezembro.

Tratamentos	R ₁	D ₁	R ₂	D ₂	R ₃	D ₃	R ₄	D ₄	R ₅	D ₅	$\bar{R}$	$\bar{D}$
E1 G1 A1	15,6	3,2	14,8	2,4	16,3	3,9	14,4	2,0	15,7	3,3	15,36	2,96
E2 G1 A1	15,7	3,3	14,3	1,9	14,5	2,1	15,2	2,8	14,5	2,1	14,84	2,44
E3 G1 A1	14,3	1,9	13,6	1,2	13,6	1,2	15,0	2,6	14,2	1,8	14,14	1,74
E1 G2 A1	13,9	1,5	15,9	3,5	13,7	1,3	14,2	1,8	16,1	3,7	14,76	2,36
E2 G2 A1	14,4	2,0	16,2	3,8	13,6	1,2	13,2	0,8	14,6	2,2	14,40	2,00
E3 G2 A1	14,6	2,2	14,5	2,1	15,8	3,4	13,8	1,4	14,9	2,5	14,72	2,32
E1 G3 A1	15,9	3,5	16,1	3,7	14,3	1,9	15,4	3,0	13,0	0,6	14,94	2,54
E2 G3 A1	16,8	4,4	15,3	2,9	15,7	3,3	13,8	1,4	15,0	2,6	15,32	2,92
E3 G3 A1	15,5	3,1	14,8	2,4	14,1	1,7	13,3	0,9	13,7	1,3	14,28	1,88
E1 G1 A2	15,4	3,0	14,2	1,8	16,3	3,9	15,3	2,9	16,2	3,8	15,48	3,08
E2 G1 A2	15,9	3,5	16,6	4,2	17,1	4,7	16,8	4,4	18,2	5,8	16,92	4,52
E3 G1 A2	15,3	2,9	15,0	2,6	16,3	3,9	16,3	3,9	13,8	1,4	15,34	2,94
E1 G2 A2	16,9	4,5	16,5	4,1	18,0	5,6	14,6	2,2	15,8	3,4	16,36	3,96
E2 G2 A2	15,0	2,6	15,4	3,0	16,8	4,4	17,3	4,9	16,6	4,2	16,22	3,82
E3 G2 A2	16,1	3,7	16,4	4,0	16,4	4,0	14,9	2,5	15,9	3,5	15,94	3,54
E1 G3 A2	17,4	5,0	17,3	4,9	15,8	3,4	16,0	3,6	16,0	3,6	16,50	4,10
E2 G3 A2	15,5	3,1	17,3	4,9	17,0	4,6	17,8	5,4	15,2	2,8	16,56	4,16
E3 G3 A2	14,4	2,0	15,8	3,4	15,9	3,5	16,1	3,7	15,9	3,5	15,62	3,22

Na Tabela 35 são apresentadas as médias diárias mensais (em mm) das replicações (R) e de suas respectivas diferenças absolutas (D) em relação à média para o mês de dezembro, na precipitação pluviométrica. Observa-se que o tratamento E3G1A1, num primeiro momento, proporcionou a mais próxima média das replicações em relação à média real, já o tratamento E2G1A2, torna-se a mais divergente.

Mostra-se na Tabela 36, a análise de variância entre as diferenças absolutas das médias mensais simuladas em relação às médias mensais observadas, no mês de dezembro. Nota-se que embora o algoritmo gama tenha influenciado na simulação ao nível de 1%, houve interação entre estimador e o algoritmo gama que influenciaram estatisticamente na simulação ao nível de 5%.

Tabela 36 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), para o mês de dezembro.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Estimador (E)	2	5,0596	2,5298	3,0335	ns
GNA (G)	2	0,3636	0,1818	0,2180	ns
Algoritmo Gama (A)	1	53,824	53,8240	64,5415	**
E x G	4	5,3376	1,3344	1,6002	ns
E x A	2	6,3680	3,1840	3,8180	*
G x A	2	2,5626	1,2813	1,5365	ns
E x G x A	4	2,8732	0,7183	0,8614	ns
Tratamentos	17	76,3886	4,4934		
Resíduo	72	60,0408	0,8339		
Total	89	136,4294	5,3273		

(ns) – Não significativo (*) – $p < 0,05$ (**) – $p < 0,01$

Tabela 37 – Teste de Médias para Interação Estimador (E) x Algoritmo Gama (A), no mês de dezembro.

Algoritmo	<u>Estimador</u>		
	E1	E2	E3
A1	2,6200 bA	1,8733 aA	1,9800 abA
A2	3,7133 abA	4,1666 bB	3,2333 aB

– Letras minúsculas diferentes na linha implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o teste de Duncan. Letras maiúsculas diferentes na coluna implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o teste F.

Observando a Tabela 37, nota-se pelo teste de Duncan a 5% que quando se analisa o comportamento do algoritmo A1 dentro dos estimadores, percebe-se que o estimador E2 produziu o melhor resultado. No entanto, E3 não diferiu estatisticamente dos estimadores E2 e E1, em E1 foi gerada a maior discrepância. Quando se analisa o algoritmo A2, nota-se que E3 minimizou os erros das médias simuladas produzindo os melhores resultados, com E2 proporcionando a maior diferença; porém E1 não diferiu estatisticamente de E3 e E2. Na análise levando-se em consideração o desempenho dos estimadores face aos algoritmos pelo teste F, nota-se que em E1 os algoritmos não interferem na simulação, observa-se também que o estimador E2 no algoritmo A1 apresentou a menor média divergindo estatisticamente de A2, em E3 quando associados ao algoritmo A1 produziu o melhor resultado.

6.2 Análise da Precipitação Pluviométrica para a localidade de Ponta Grossa – PR.

A Tabela 38, apresenta a estimativa dos parâmetros α e β de acordo com cada estimador. Nota-se que as diferenças calculadas, são menores quando se aplica o método dos momentos (D_{calc3}) apresentando em todos os meses resultados próximos ao teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S) a 5%.

Pelo método de verossimilhança (D_{calc1}) observa-se que o mês de dezembro apresentou significância a 1%. Os meses de fevereiro, outubro e novembro foram significantes a 5% pelo teste K-S.

Ao aplicar o método proposto por Greenwood e Duran (1960) os meses de novembro e dezembro apresentaram significância ao nível de 1%. Os meses de fevereiro, abril, agosto setembro e outubro foram significantes a 5%.

Tabela 38 - Ajustes dos parâmetros da distribuição Gama com os respectivos testes de aderência para localidade de Ponta Grossa baseados nas estimativas utilizando os métodos de verossimilhança (α_1, β_1), Greenwood e Durand (α_2, β_2) e método dos momentos (α_3, β_3).

Mês	α_1	β_1	D_{calc1}	α_2	β_2	D_{calc2}	α_3	β_3	D_{calc3}	$D_{(5\%)}$	$D_{(1\%)}$
Jan.	0,4784	27,0089	0,0593	0,4571	28,2685	0,0684	0,6469	19,9735	0,0206	0,0746	0,0895
Fev.	0,5046	24,7430	0,0853	0,4842	25,7828	0,0879	0,8569	14,5710	0,0576	0,0784	0,0940
Mar.	0,5077	20,9652	0,0658	0,4875	21,8355	0,0737	0,6264	16,9943	0,0243	0,0819	0,0981
Abr.	0,3938	31,4835	0,0952	0,3690	33,6029	0,1037	0,5249	23,6229	0,0574	0,1019	0,1222
Mai	0,4233	29,7627	0,0808	0,3998	31,5149	0,0905	0,5241	24,0415	0,0443	0,1062	0,1273
Jun.	0,4813	30,6334	0,0840	0,4601	32,0455	0,0934	0,7510	19,6309	0,0416	0,0989	0,1186
Jul.	0,4840	24,3873	0,0917	0,4628	25,4994	0,1002	0,6721	17,5615	0,0282	0,1099	0,1318
Ago.	0,5319	22,3469	0,1105	0,5125	23,1928	0,1173	0,8071	14,7277	0,0331	0,1110	0,1331
Set.	0,5801	22,1271	0,0899	0,5623	22,8300	0,0966	0,8964	14,3206	0,0285	0,0919	0,1101
Out.	0,5397	24,7247	0,0933	0,5206	25,6338	0,1006	0,8097	16,4809	0,0394	0,0858	0,1029
Nov.	0,4191	27,4491	0,1059	0,3953	29,0960	0,1128	0,4806	23,9324	0,0895	0,0919	0,1101
Dez.	0,5053	23,2365	0,1004	0,4850	24,2104	0,1077	0,7173	16,3670	0,0369	0,0814	0,0976

Tabela 39 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de **11,8 mm** para o mês de janeiro.

Tratamentos	R ₁	D ₁	R ₂	D ₂	R ₃	D ₃	R ₄	D ₄	R ₅	D ₅	$\bar{R}$	$\bar{D}$
E1 G1 A1	12,9	1,1	14,3	2,5	14,2	2,4	13,3	1,5	13,1	1,3	13,56	1,76
E2 G1 A1	14,1	2,3	13,8	2,0	13,0	1,2	15,3	3,5	13,6	1,8	13,96	2,16
E3 G1 A1	12,7	0,9	13,2	1,4	14,7	2,9	13,4	1,6	11,9	0,1	13,18	1,38
E1 G2 A1	14,5	2,7	14,3	2,5	15,5	3,7	13,9	2,1	13,9	2,1	14,42	2,62
E2 G2 A1	13,2	1,4	15,2	3,4	13,8	2,0	14,0	2,2	14,4	2,6	14,12	2,32
E3 G2 A1	12,1	0,3	12,9	1,1	14,4	2,6	13,4	1,6	13,3	1,5	13,22	1,42
E1 G3 A1	13,0	1,2	13,5	1,7	14,5	2,7	14,5	2,7	14,2	2,4	13,94	2,14
E2 G3 A1	13,3	1,5	13,0	1,2	13,7	1,9	15,6	3,8	12,6	0,8	13,64	1,84
E3 G3 A1	12,9	1,1	14,9	3,1	12,5	0,7	13,3	1,5	13,5	1,7	13,42	1,62
E1 G1 A2	15,2	3,4	14,4	2,6	16,0	4,2	13,5	1,7	14,7	2,9	14,76	2,96
E2 G1 A2	15,7	3,9	15,6	3,8	15,2	3,4	15,7	3,9	15,2	3,4	15,48	3,68
E3 G1 A2	14,2	2,4	15,5	3,7	14,1	2,3	15,9	4,1	13,4	1,6	14,62	2,82
E1 G2 A2	15,6	3,8	13,5	1,7	15,4	3,6	14,6	2,8	13,2	1,4	14,46	2,66
E2 G2 A2	15,8	4,0	14,5	2,7	13,2	1,4	14,5	2,7	15,3	3,5	14,66	2,86
E3 G2 A2	14,4	2,6	13,9	2,1	13,8	2,0	12,8	1,0	12,8	1,0	13,54	1,74
E1 G3 A2	13,0	1,2	16,0	4,2	13,8	2,0	16,4	4,6	15,5	3,7	14,94	3,14
E2 G3 A2	14,2	2,4	14,4	2,6	15,7	3,9	13,7	1,9	14,4	2,6	14,48	2,68
E3 G3 A2	15,5	3,7	13,5	1,7	13,1	1,3	15,2	3,4	13,7	1,9	14,20	2,40

A Tabela 39, mostra as médias diárias mensais (em mm) das replicações (R) e de suas respectivas diferenças absolutas (D) em relação à média para o mês de janeiro. Observa-se num primeiro momento que o tratamento E3G1A1 proporcionou a mais próxima média das replicações em relação à média real e o tratamento E2G1A2 a mais divergente.

Na Tabela 40, apresenta-se a análise de variância entre as diferenças absolutas das médias mensais simuladas em relação às médias mensais observadas, no mês de janeiro. Nota-se que o estimador e o algoritmo gama influenciaram na simulação, pois apresentou diferenças significantes ao nível de 1% pelo teste F, mas não houve interação entre os fatores.

Observa-se na Tabela 41, pelo teste de Duncan a 5%, que a menor diferença observada ocorreu em E3 e a maior ocorreu em E2, sendo que este não difere estatisticamente de E1.

Tabela 40 – Análise de Variância das diferenças absolutas (D), para a localidade de Ponta Grossa no mês de janeiro.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Estimador (E)	2	9,0508	4,5254	5,4096	**
GNA (G)	2	0,6176	0,3088	0,3691	ns
Algoritmo Gama (A)	1	16,3840	16,3840	19,5851	**
E x G	4	3,6280	0,9070	1,0841	ns
E x A	2	0,1820	0,0910	0,1088	ns
G x A	2	4,4326	2,2163	2,6494	ns
E x G x A	4	0,3352	0,0838	0,1002	ns
Tratamentos	17	34,6302	2,0371		
Resíduos	72	60,2352	0,8366		
Total	89	94,8654	2,8737		
(ns) – Não significativo		(*) – $p < 0,05$		(**) – $p < 0,01$	

Tabela 41 – Teste das Médias para o Estimador, no mês de janeiro.

Estimador	E1	E2	E3
	2,5467 b	2,5900 b	1,8967 a

- Letras minúsculas diferentes implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o teste de Duncan.

Tabela 42 – Teste das Médias para o Algoritmo Gama, no mês de janeiro.

Algoritmo	A1	A2
	1,9178 a	2,7711 b

- Letras minúsculas diferentes implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 1%, segundo o teste F.

Nota-se que na Tabela 42, após o teste de F a 1%, que a menor diferença ocorreu em A1 e a maior em A2.

Tabela 43 - Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de **10,6** mm para o mês de fevereiro.

Tratamentos	R ₁	D ₁	R ₂	D ₂	R ₃	D ₃	R ₄	D ₄	R ₅	D ₅	$\bar{R}$	$\bar{D}$
E1 G1 A1	12,9	2,3	13,9	3,3	13,5	2,9	14,0	3,4	14,0	3,4	13,66	3,06
E2 G1 A1	12,2	1,6	12,5	1,9	13,2	2,6	13,1	2,5	12,5	1,9	12,70	2,10
E3 G1 A1	14,1	3,5	13,3	2,7	13,4	2,8	14,2	3,6	13,7	3,1	13,74	3,14
E1 G2 A1	12,6	2,0	11,7	1,1	12,3	1,7	12,3	1,7	12,2	1,6	12,22	1,62
E2 G2 A1	12,8	2,2	13,0	2,4	12,3	1,7	13,9	3,3	12,0	1,4	12,80	2,20
E3 G2 A1	12,1	1,5	12,8	2,2	13,3	2,7	15,2	4,6	13,0	2,4	13,28	2,68
E1 G3 A1	13,8	3,2	12,8	2,2	14,1	3,5	12,3	1,7	13,0	2,4	13,20	2,60
E2 G3 A1	12,8	2,2	12,9	2,3	14,1	3,5	13,0	2,4	13,3	2,7	13,22	2,62
E3 G3 A1	13,4	2,8	12,6	2,0	14,4	3,8	14,0	3,4	13,1	2,5	13,50	2,90
E1 G1 A2	12,6	2,0	12,8	2,2	12,1	1,5	13,5	2,9	12,8	2,2	12,76	2,16
E2 G1 A2	13,5	2,9	14,3	3,7	13,4	2,8	13,4	2,8	13,8	3,2	13,68	3,08
E3 G1 A2	12,6	2,0	13,8	3,2	13,7	3,1	12,9	2,3	13,1	2,5	13,22	2,62
E1 G2 A2	14,2	3,6	13,4	2,8	12,4	1,8	13,5	2,9	15,9	5,3	13,88	3,28
E2 G2 A2	14,2	3,6	12,6	2,0	13,4	2,8	12,6	2,0	13,5	2,9	13,26	2,66
E3 G2 A2	12,3	1,7	13,5	2,9	13,4	2,8	12,6	2,0	13,8	3,2	13,12	2,52
E1 G3 A2	13,9	3,3	12,0	1,4	12,6	2,0	13,0	2,4	12,6	2,0	12,82	2,22
E2 G3 A2	13,4	2,8	11,8	1,2	13,0	2,4	14,1	3,5	13,3	2,7	13,12	2,52
E3 G3 A2	13,7	3,1	14,5	3,9	14,2	3,6	13,1	2,5	11,9	1,3	13,48	2,88

A Tabela 43, demonstra as médias diárias mensais (em mm) das replicações (R) e as suas respectivas diferenças absolutas (D) para o mês de fevereiro. No primeiro momento observa-se que o tratamento E1G2A1 proporcionou a média mais próxima das replicações em relação à média real, sendo o tratamento E1G2A2 foi o mais discrepante.

A análise de variância apresentada na Tabela 44, demonstra as diferenças absolutas das médias mensais simuladas em relação às médias mensais observadas no mês de fevereiro para a localidade de Ponta Grossa. Observa-se que a interação gerador e o algoritmo gama influenciaram na simulação, pois apresentaram diferenças significativas, ao nível de 5%, pelo teste F, quando interligados entre si.

Tabela 44 - Análise de Variância das diferenças absolutas (D), para o mês de fevereiro.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Estimador (E)	2	1,5920	0,7960	1,5288	ns
GNA (G)	2	0,6180	0,3090	0,5935	ns
Algoritmo Gama (A)	1	0,2890	0,2890	0,5551	ns
E x G	4	0,3000	0,0750	0,1440	ns
E x A	2	1,7360	0,8680	1,6671	ns
G x A	2	3,2820	1,6410	3,1517	*
E x G x A	4	5,1270	1,2810	2,4616	ns
Tratamentos	17	15,4810	0,9106		
Resíduos	72	37,4904	0,5207		
Total	89	52,9714	1,4313		

(ns) – Não significativo (*) – p<0,05 (**) – p<0,01

Tabela 45 – Teste de Médias para Interação de Gerador (G) x Algoritmo Gama (A), para o mês de fevereiro.

Algoritmo	G1	Gerador G2	G3
A1	2,7667 bA	2,1667 aA	2,7067 abA
A2	2,6200 aA	2,8200 aB	2,5400 aA

- Letras minúsculas diferentes na linha implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o teste de Duncan. Letras maiúsculas diferentes na coluna implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o teste F.

Observando a Tabela 45, nota-se pelo teste de Duncan a 5% que ao se analisar o comportamento do algoritmo A1 dentro dos geradores, percebe-se que o gerador G2 minimizou os erros das médias simuladas em relação às médias reais, enquanto que a média mais divergente ocorreu em G1, porém o gerador G3 não difere estatisticamente de G2 e G1. Quando se analisa o algoritmo A2 nota-se que não existe razões para afirmar que os geradores influenciaram na melhoria da simulação.

Ao se analisar o desempenho dos geradores dentro dos algoritmos, verifica-se que em G1 não houve significância para tal, o mesmo ocorrendo em G3. No gerador G2 percebe-se que o algoritmo A1 minimizou os erros das médias simuladas em relação às médias históricas, diferindo

estatisticamente de A2. De uma forma geral o melhor desempenho foi conseguido com a combinação G2A1 para o mês de fevereiro.

Tabela 46 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de **11,7 mm** para o mês de março.

Tratamentos	R ₁	D ₁	R ₂	D ₂	R ₃	D ₃	R ₄	D ₄	R ₅	D ₅	$\bar{R}$	$\bar{D}$
E1 G1 A1	11,1	0,6	11,8	0,1	11,5	0,2	12,0	0,3	11,4	0,3	11,56	0,30
E2 G1 A1	10,5	1,2	11,3	0,4	11,4	0,3	13,2	1,5	13,0	1,3	11,88	0,94
E3 G1 A1	10,4	1,3	13,2	1,5	10,9	0,8	10,5	1,2	10,4	1,3	11,08	1,22
E1 G2 A1	11,1	0,6	11,3	0,4	12,3	0,6	11,1	0,6	11,7	0,0	11,50	0,44
E2 G2 A1	10,5	1,2	10,9	0,8	12,7	1,0	11,0	0,7	11,6	0,1	11,34	0,76
E3 G2 A1	10,9	0,8	11,5	0,2	11,0	0,7	12,1	0,4	11,8	0,1	11,46	0,44
E1 G3 A1	10,9	0,8	11,1	0,6	11,7	0,0	11,2	0,5	13,4	1,7	11,66	0,72
E2 G3 A1	12,8	1,1	13,2	1,5	10,6	1,1	9,6	2,1	11,6	0,1	11,56	1,18
E3 G3 A1	11,2	0,5	10,2	1,5	10,7	1,0	11,5	0,2	10,3	1,4	10,78	0,92
E1 G1 A2	11,7	0,0	12,5	0,8	13,0	1,3	12,0	0,3	13,0	1,3	12,44	0,74
E2 G1 A2	11,5	0,2	10,9	0,8	12,2	0,5	11,4	0,3	11,6	0,1	11,52	0,38
E3 G1 A2	12,1	0,4	13,2	1,5	10,0	1,7	11,6	0,1	10,7	1,0	11,52	0,94
E1 G2 A2	11,6	0,1	10,2	1,5	13,3	1,6	12,8	1,1	10,2	1,5	11,62	1,16
E2 G2 A2	12,0	0,3	13,0	1,3	12,7	1,0	13,4	1,7	11,4	0,3	12,50	0,92
E3 G2 A2	11,4	0,3	10,7	1,0	11,0	0,7	11,4	0,3	11,3	0,4	11,16	0,54
E1 G3 A2	10,6	1,1	12,5	0,8	12,8	1,1	12,9	1,2	12,3	0,6	12,22	0,96
E2 G3 A2	10,5	1,2	12,0	0,3	13,1	1,4	12,9	1,2	10,6	1,1	11,82	1,04
E3 G3 A2	11,5	0,2	11,1	0,6	11,9	0,2	9,8	1,9	10,9	0,8	11,04	0,74

Demonstra-se na Tabela 46 as médias diárias mensais (em mm) das replicações (R) e as suas respectivas diferenças absolutas (D) com relação à média da precipitação pluviométrica para o mês de março. Inicialmente, observa-se que o tratamento E1G1A1 proporcionou a média mais próxima das replicações em relação à média real, sendo que o tratamento E3G1A1 foi o mais discrepante.

Na Tabela 47, está apresentada a análise de variância entre as diferenças absolutas das médias mensais simuladas em relação às médias mensais observadas, no mês de março. Nota-se que a interação do estimador com o gerador de números aleatórios para com o algoritmo gama influenciaram na simulação, pois apresentaram diferenças significantes ao nível de 5% pelo

teste F. O mesmo ocorreu com a interação do estimador e o algoritmo gama também significativo ao nível de 5%.

Tabela 47 - Análise de Variância das diferenças absolutas (D), para o mês de março.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Estimador (E)	2	0,3380	0,1690	0,6813	ns
GNA (G)	2	0,7886	0,3943	1,5897	ns
Algoritmo Gama (A)	1	0,0694	0,0694	0,2800	ns
E x G	4	2,5992	0,6498	2,6197	*
E x A	2	1,9148	0,9574	3,8598	*
G x A	2	0,8696	0,4348	1,7527	ns
E x G x A	4	0,2692	0,0673	0,2712	ns
Tratamentos	17	6,8488	0,4029		
Resíduos	72	17,8632	0,2481		
Total	89	24,7120	0,6510		
(ns) – Não significativo		(*) – p<0,05		(**) – p<0,01	

Tabela 48 – Teste de Médias para Interação Estimador (E) x Gerador (G), no mês de março.

<u>Gerador</u>	<u>Estimador</u>		
	E1	E2	E3
G1	0,5200 aA	0,6600 abA	1,0800 bB
G2	0,8000 aA	0,8400 aA	0,4900 aA
G3	0,8400 aA	1,1100 aA	0,8300 aAB

- Letras minúsculas diferentes na linha implica que as médias dos geradores dentro dos estimadores diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o teste de Duncan. Letras maiúsculas diferentes na coluna implica que as médias do estimador dentro dos geradores diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o teste de Duncan

Mostra-se na Tabela 48, após o teste de Duncan a 5%, que quando se analisa o comportamento do gerador G1 dentro dos estimadores percebe-se que eles influenciaram na simulação, sendo que o estimador E1 apresentou os melhores resultados e E3 apresentou o resultado mais divergente, enquanto que o E2 não difere estatisticamente de E1 e E3. Ao se analisar o gerador G2 percebe-se que os estimadores não produziram nenhuma melhoria na simulação. O gerador G3 minimizou os erros em E3 apresentando a média mais próxima dos resultados, mas este não diverge estatisticamente de

E1 e E2. Ao se analisar o comportamento dos geradores face aos estimadores pelo teste F a 5%, percebe-se que em E1 os geradores não influenciaram na simulação, pois não diferem estatisticamente entre si. No estimador E2 os geradores não apresentaram nenhuma significância na simulação. Em E3 a menor diferença ocorreu em G2, enquanto que G1 apresentou a maior divergência, porém G3 não diferiu estatisticamente de G1 e G2.

Tabela 49 – Teste de Médias para Interação Estimador (E) x Algoritmo Gama (A), no mês de março.

<u>Algoritmo</u>	<u>Estimador</u>		
	E1	E2	E3
A1	0,4867 aA	0,9600 bA	0,8600 abA
A2	0,9533 aB	0,7800 aA	0,7400 aA

– Letras minúsculas diferentes na linha implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o teste de Duncan. Letras maiúsculas diferentes na coluna implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o teste F.

Verificando a Tabela 49, observa-se pelo teste de Duncan a 5%, que ao se analisar o comportamento do algoritmo A1 dentro dos estimadores, o estimador E1 produz os melhores resultados, o E2 produziu o pior, enquanto que o E3 não diferiu estatisticamente de E1 e E2. Quando se analisa o desempenho do A2 percebe-se que não existem razões para afirmar que os estimadores influenciaram na simulação, sendo que E3 minimizou os erros das médias simuladas em relação às médias históricas e o mais discrepante foi observado em E1. Quando é realizada a análise levando-se em consideração o desempenho dos estimadores face aos algoritmos nota-se que em E1 o algoritmo A1 apresentou o resultado mais próximo da realidade diferindo estatisticamente de A2, nos estimadores E2 e E3 os algoritmos não apresentaram significância na simulação. De uma forma geral o melhor desempenho foi obtido em E1A1, produzindo uma média absoluta de 0,49 mm para o mês de março.

Apresenta-se na Tabela 50 as médias diárias mensais (em mm) das replicações (R) e de suas respectivas diferenças absolutas (D) em

relação à média para o mês de abril. Observa-se num primeiro momento que o tratamento E1G2A1 proporcionou a mais próxima média das replicações em relação à média real e o tratamento E2G1A2 a mais discrepante.

Tabela 50 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de **12,6** mm para o mês de abril.

Tratamentos	R ₁	D ₁	R ₂	D ₂	R ₃	D ₃	R ₄	D ₄	R ₅	D ₅	$\bar{R}$	$\bar{D}$
E1 G1 A1	11,9	0,7	11,7	0,9	13,2	0,6	13,7	1,1	15,3	2,7	13,16	1,20
E2 G1 A1	13,1	0,5	13,0	0,4	14,0	1,4	12,7	0,1	13,8	1,2	13,32	0,72
E3 G1 A1	11,5	1,1	13,8	1,2	12,1	0,5	16,1	3,5	13,7	1,1	13,44	1,48
E1 G2 A1	12,4	0,2	12,6	0,0	12,4	0,2	13,6	1,0	11,4	1,2	12,48	0,52
E2 G2 A1	14,2	1,6	13,9	1,3	15,9	3,3	15,4	2,8	11,0	1,6	14,08	2,12
E3 G2 A1	11,9	0,7	12,2	0,4	13,5	0,9	12,9	0,3	13,8	1,2	12,86	0,70
E1 G3 A1	15,8	3,2	13,9	1,3	13,4	0,8	10,8	1,8	13,5	0,9	13,48	1,60
E2 G3 A1	13,4	0,8	9,7	2,9	13,4	0,8	12,5	0,1	14,4	1,8	12,68	1,28
E3 G3 A1	12,7	0,1	12,2	0,4	13,4	0,8	13,9	1,3	15,8	3,2	13,60	1,16
E1 G1 A2	16,0	3,4	17,1	4,5	13,7	1,1	13,3	0,7	12,2	0,4	14,46	2,02
E2 G1 A2	16,0	3,4	16,4	3,8	16,8	4,2	17,8	5,2	16,4	3,8	16,68	4,08
E3 G1 A2	11,2	1,4	13,3	0,7	10,8	1,8	15,2	2,6	14,3	1,7	12,96	1,64
E1 G2 A2	12,0	0,6	16,6	4,0	12,2	0,4	14,1	1,5	16,2	3,6	14,22	2,02
E2 G2 A2	15,5	2,9	15,3	2,7	13,2	0,6	17,5	4,9	12,4	0,2	14,78	2,26
E3 G2 A2	13,4	0,8	14,2	1,6	12,8	0,2	15,3	2,7	14,9	2,3	14,12	1,52
E1 G3 A2	16,9	4,3	16,5	3,9	15,0	2,4	16,0	3,4	17,9	5,3	16,46	3,86
E2 G3 A2	15,7	3,1	17,2	4,6	14,6	2,0	11,1	1,5	15,5	2,9	14,82	2,82
E3 G3 A2	13,2	0,6	13,8	1,2	15,5	2,9	13,2	0,6	13,9	1,3	13,92	1,32

Tabela 51 - Análise de Variância das diferenças absolutas (D), para o mês de abril.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Estimador (E)	2	12,6708	6,3354	5,0686	**
GNA (G)	2	3,6722	1,8361	1,4690	ns
Algoritmo Gama (A)	1	32,1605	32,1605	25,7295	**
E x G	4	9,6932	2,4233	1,9387	ns
E x A	2	7,5708	3,7854	3,0285	ns
G x A	2	1,6468	0,8234	0,6588	ns
E x G x A	4	11,7080	2,9270	2,3418	ns
Tratamentos	17	82,1223	4,8307		
Resíduos	72	89,9928	1,2499		
Total	89	172,1151	6,0806		

(ns) – Não significativo

(*) – $p < 0,05$

(**) – $p < 0,01$

A Tabela 51, está exposta a análise de variância entre as diferenças absolutas das médias mensais simuladas em relação às médias mensais observadas, no mês de abril. Nota-se que o estimador e o algoritmo gama influenciaram na simulação, pois ambos foram estatisticamente significantes ao nível de 1%, porém percebe-se que não houve interação entre os fatores.

Tabela 52 – Teste de Médias para o Estimador (E), no mês de abril.

Estimador	E1	E2	E3
	1,8700 ab	2,2133 b	1,3033 a

- Letras minúsculas diferentes implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 1%, segundo o teste de Duncan.

Tabela 53 – Teste de Médias para o Algoritmo Gama (A), no o mês de abril.

Algoritmo	A1	A2
	1,1978 a	2,3933 b

- Letras minúsculas diferentes implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 1%, segundo o teste F.

Verifica-se na Tabela 52 pelo teste de Duncan a 1% que a menor diferença observada ocorreu em E3, e a maior ocorreu em E2 que apresentou a média mais divergente, embora ambos não sejam estatisticamente diferentes de E1.

Observando-se a Tabela 53 pelo teste F a 1%, verifica-se que o algoritmo A1 minimizou os erros das médias simuladas em relação às médias históricas, enquanto que o A2 mostrou a média mais discrepante.

Na Tabela 54, são apresentadas as médias diárias mensais (em mm) das replicações (R) e de suas respectivas diferenças absolutas (D) em relação à média para o mês de maio. Observa-se num primeiro momento que o tratamento E3G1A2 proporcionou a mais próxima média das replicações em relação à média real e o tratamento E1G1A2 a mais discrepante.

Tabela 54 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de **16,2** mm para o mês de maio.

Tratamentos	R ₁	D ₁	R ₂	D ₂	R ₃	D ₃	R ₄	D ₄	R ₅	D ₅	$\bar{R}$	$\bar{D}$
E1 G1 A1	12,7	3,5	11,9	4,3	14,6	1,6	13,0	3,2	12,5	3,7	12,94	3,26
E2 G1 A1	10,5	5,7	15,8	0,4	12,6	3,6	13,8	2,4	12,9	3,3	13,12	3,08
E3 G1 A1	12,7	3,5	14,6	1,6	12,4	3,8	13,3	2,9	12,7	3,5	13,14	3,06
E1 G2 A1	12,2	4,0	14,3	1,9	14,3	1,9	13,5	2,7	12,9	3,3	13,44	2,76
E2 G2 A1	13,7	2,5	13,2	3,0	13,0	3,2	12,7	3,5	12,9	3,3	13,10	3,10
E3 G2 A1	12,5	3,7	13,2	3,0	14,4	1,8	11,8	4,4	14,2	2,0	13,22	2,98
E1 G3 A1	14,2	2,0	13,1	3,1	14,2	2,0	11,8	4,4	14,3	1,9	13,52	2,68
E2 G3 A1	14,9	1,3	14,3	1,9	12,5	3,7	12,4	3,8	13,8	2,4	13,58	2,62
E3 G3 A1	12,8	3,4	13,8	2,4	13,9	2,3	13,9	2,3	13,7	2,5	13,62	2,58
E1 G1 A2	11,6	4,6	13,1	3,1	12,8	3,4	12,8	3,4	12,9	3,3	12,64	3,56
E2 G1 A2	13,0	3,2	11,9	4,3	13,7	2,5	13,6	2,6	12,9	3,3	13,02	3,18
E3 G1 A2	12,8	3,4	14,6	1,6	12,5	3,7	14,2	2,0	14,1	2,1	13,64	2,56
E1 G2 A2	15,1	1,1	12,6	3,6	12,5	3,7	12,2	4,0	13,4	2,8	13,16	3,04
E2 G2 A2	13,7	2,5	12,5	3,7	15,3	0,9	13,9	2,3	11,6	4,6	13,40	2,80
E3 G2 A2	12,9	3,3	13,6	2,6	11,6	4,6	12,8	3,4	13,7	2,5	12,92	3,28
E1 G3 A2	11,1	5,1	15,1	1,1	13,7	2,5	11,4	4,8	13,3	2,9	12,92	3,28
E2 G3 A2	14,4	1,8	12,8	3,4	13,7	2,5	13,1	3,1	13,1	3,1	13,42	2,78
E3 G3 A2	14,3	1,9	13,9	2,3	13,2	3,0	11,3	4,9	13,4	2,8	13,22	2,98

A Tabela 55, mostra a análise de variância entre as diferenças absolutas das médias mensais simuladas em relação às médias mensais observadas, no mês de maio. Nota-se que nenhum dos fatores avaliados proporcionou variabilidade significativa da realidade.

Tabela 55 - Análise de Variância das diferenças absolutas (D), no mês de maio.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Estimador (E)	2	0,6540	0,3270	0,2852	ns
GNA (G)	2	1,3326	0,6663	0,5812	ns
Algoritmo Gama (A)	1	0,4988	0,4988	0,4350	ns
E x G	4	1,8572	0,4643	0,4050	ns
E x A	2	0,6962	0,3481	0,3036	ns
G x A	2	0,6962	0,3481	0,3036	ns
E x G x A	4	0,9936	0,2484	0,2167	ns
Tratamentos	17	6,7286	0,3958		
Resíduos	72	82,5552	1,1466		
Total	89	89,2838	1,5424		

(ns) – Não significativo (*) – p<0,05 (**) – p<0,01

Tabela 56 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de **14,5** mm para o mês de junho.

Tratamentos	R ₁	D ₁	R ₂	D ₂	R ₃	D ₃	R ₄	D ₄	R ₅	D ₅	$\bar{R}$	$\bar{D}$
E1 G1 A1	14,8	0,3	13,6	0,9	14,6	0,1	14,9	0,4	12,1	2,4	14,00	0,82
E2 G1 A1	17,2	2,7	17,5	3,0	12,7	1,8	17,6	3,1	14,9	0,4	15,98	2,20
E3 G1 A1	15,7	1,2	18,5	4,0	15,7	1,2	13,0	1,5	14,5	0,0	15,48	1,58
E1 G2 A1	13,9	0,6	16,1	1,6	17,1	2,6	14,4	0,1	16,1	1,6	15,52	1,30
E2 G2 A1	13,1	1,4	13,0	1,5	16,3	1,8	16,5	2,0	18,9	4,4	15,56	2,22
E3 G2 A1	13,4	1,1	16,4	1,9	15,5	1,0	14,4	0,1	17,6	3,1	15,46	1,44
E1 G3 A1	19,3	4,8	12,6	1,9	14,7	0,2	14,9	0,4	15,5	1,0	15,40	1,66
E2 G3 A1	15,0	0,5	16,3	1,8	14,7	0,2	16,3	1,8	18,3	3,8	16,12	1,62
E3 G3 A1	15,5	1,0	16,2	1,7	15,4	0,9	14,1	0,4	12,9	1,6	14,82	1,12
E1 G1 A2	14,3	0,2	17,7	3,2	17,2	2,7	17,3	2,8	19,2	4,7	17,14	2,72
E2 G1 A2	13,9	0,6	20,1	5,6	17,3	2,8	15,7	1,2	18,3	3,8	17,06	2,80
E3 G1 A2	15,3	0,8	14,6	0,1	15,6	1,1	16,2	1,7	13,4	1,1	15,02	0,96
E1 G2 A2	16,9	2,4	16,4	1,9	13,0	1,5	17,4	2,9	16,9	2,4	16,12	2,22
E2 G2 A2	16,9	2,4	17,8	3,3	17,3	2,8	17,9	3,4	18,6	4,1	17,70	3,20
E3 G2 A2	16,0	1,5	16,8	2,3	12,6	1,9	14,8	0,3	15,3	0,8	15,10	1,36
E1 G3 A2	16,4	1,9	17,0	2,5	15,4	0,9	15,2	0,7	18,3	3,8	16,46	1,96
E2 G3 A2	15,0	0,5	13,9	0,6	16,4	1,9	15,7	1,2	15,8	1,3	15,36	1,10
E3 G3 A2	14,9	0,4	17,1	2,6	16,3	1,8	16,3	1,8	13,9	0,6	15,70	1,44

Tabela 57 - Análise de Variância das diferenças absolutas (D), no mês de junho.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Estimador (E)	2	11,4548	5,7274	4,1160	*
GNA (G)	2	3,6816	1,8408	1,3229	ns
Algoritmo Gama (A)	1	4,0111	4,0111	2,8826	ns
E x G	4	6,9912	1,7478	1,2560	ns
E x A	2	5,1576	2,5788	1,8532	ns
G x A	2	1,7028	0,8514	0,6119	ns
E x G x A	4	5,7044	1,4261	1,0249	ns
Tratamentos	17	38,7035	2,2767		
Resíduos	72	100,1880	1,3915		
Total	89	138,8915	3,6682		

(ns) – Não significativo (*) – p<0,05 (**) – p<0,01

Na Tabela 56, são demonstradas as médias diárias mensais (em mm) das replicações (R) e de suas respectivas diferenças absolutas (D) em relação à média para o mês de junho. No primeiro momento observa-se que o

tratamento E1G1A1 proporcionou a mais próxima média das replicações em relação à média real e o tratamento E2G2A2 a mais discrepante.

Observa-se na Tabela 57, a análise de variância entre as diferenças absolutas das médias mensais simuladas em relação às médias mensais observadas, no mês de junho. Nota-se que o estimador apresentou significância ao nível de 5% pelo teste F.

Tabela 58 – Teste de Médias para o Estimador (E), no mês de junho.

Estimador	E1	E2	E3
	1,7800 ab	2,1900 b	1,3167 a

1 Letras minúsculas diferentes implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o teste de Duncan.

Na Tabela 58, observa-se pelo teste de Duncan a 5% que a menor diferença observada ocorreu no estimador E3 e a maior ocorreu no estimador E2, porém E1 não diferiu de E3 e E2.

Tabela 59 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de **14,7** mm para o mês de julho.

Tratamentos	R ₁	D ₁	R ₂	D ₂	R ₃	D ₃	R ₄	D ₄	R ₅	D ₅	$\bar{R}$	$\bar{D}$
E1 G1 A1	15,6	0,9	12,7	2,0	10,9	3,8	12,7	2,0	11,2	3,5	12,62	2,44
E2 G1 A1	10,8	3,9	11,6	3,1	11,5	3,2	13,8	0,9	12,9	1,8	12,12	2,58
E3 G1 A1	11,6	3,1	13,8	0,9	13,3	1,4	10,8	3,9	11,4	3,3	12,18	2,52
E1 G2 A1	12,5	2,2	12,0	2,7	12,1	2,6	12,3	2,4	11,0	3,7	11,98	2,72
E2 G2 A1	13,5	1,2	13,3	1,4	14,2	0,5	10,5	4,2	12,2	2,5	12,74	1,96
E3 G2 A1	11,4	3,3	13,9	0,8	12,6	2,1	11,5	3,2	10,2	4,5	11,92	2,78
E1 G3 A1	11,7	3,0	10,3	4,4	13,6	1,1	14,6	0,1	14,4	0,3	12,92	1,78
E2 G3 A1	12,5	2,2	15,6	0,9	14,5	0,2	13,1	1,6	11,7	3,0	13,48	1,58
E3 G3 A1	14,7	0,0	11,9	2,8	12,1	2,6	12,7	2,0	12,1	2,6	12,70	2,00
E1 G1 A2	12,3	2,4	16,5	1,8	16,9	2,2	12,0	2,7	17,8	3,1	15,10	2,44
E2 G1 A2	10,8	3,9	10,3	4,4	14,1	0,6	13,5	1,2	13,6	1,1	12,46	2,24
E3 G1 A2	9,9	4,8	13,2	1,5	10,4	4,3	12,6	2,1	13,5	1,2	11,92	2,78
E1 G2 A2	14,0	0,7	13,0	1,7	11,8	2,9	13,9	0,8	11,1	3,6	12,76	1,94
E2 G2 A2	14,9	0,2	15,2	0,5	12,4	2,3	13,2	1,5	15,2	0,5	14,18	1,00
E3 G2 A2	13,1	1,6	11,8	2,9	12,8	1,9	11,8	2,9	15,4	0,7	12,98	2,00
E1 G3 A2	14,6	0,1	12,8	1,9	12,8	1,9	12,8	1,9	13,4	1,3	13,28	1,42
E2 G3 A2	11,2	3,5	13,5	1,2	12,7	2,0	11,1	3,6	12,3	2,4	12,16	2,54
E3 G3 A2	11,9	2,8	11,0	3,7	11,7	3,0	13,4	1,3	13,7	1,0	12,34	2,36

Apresenta-se na Tabela 59 as médias diárias mensais (em mm) das replicações (R) e de suas respectivas diferenças absolutas (D) em relação à média para o mês de julho. Percebe-se num primeiro momento que o tratamento E2G2A2 proporcionou a mais próxima média das replicações em relação à média real e os tratamentos E3G1A2 e E3G2A1 apresentaram as médias mais discrepantes.

Tabela 60 - Análise de Variância das diferenças absolutas (D), no mês de julho.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Estimador (E)	2	2,7908	1,3954	0,9195	ns
GNA (G)	2	5,0836	2,5418	1,6749	ns
Algoritmo Gama (A)	1	0,7471	0,7471	0,4923	ns
E x G	4	4,6064	1,1516	0,7588	ns
E x A	2	0,4536	0,2268	0,1494	ns
G x A	2	5,3182	2,6591	1,7522	ns
E x G x A	4	2,2372	0,5593	0,3685	ns
Tratamentos	17	21,2369	1,2492		
Resíduos	72	109,2672	1,5176		
Total	89	130,5041	2,7668		
(ns) – Não significativo (*) – p<0,05 (**) – p<0,01					

Mostra-se na Tabela 60, a análise de variância entre as diferenças absolutas das médias mensais simuladas em relação às médias mensais observadas, no mês de julho. Observa-se que nenhuma dos fatores avaliados proporcionou variabilidade significativa da realidade.

A Tabela 61, apresenta as médias diárias mensais (em mm) das replicações (R) e de suas respectivas diferenças absolutas (D) em relação à média para o mês de agosto. Percebe-se num primeiro momento que o tratamento E3G3A1 proporcionou a mais próxima média das replicações em relação à média real e o tratamento E2G2A2 e a média mais discordante.

Tabela 61 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de 11,2 mm para o mês de agosto.

Tratamentos	R ₁	D ₁	R ₂	D ₂	R ₃	D ₃	R ₄	D ₄	R ₅	D ₅	$\bar{R}$	$\bar{D}$
E1 G1 A1	12,6	1,4	13,6	2,4	12,5	1,3	12,2	1,0	12,8	1,6	12,74	1,54
E2 G1 A1	13,9	2,7	13,5	2,3	13,9	2,7	12,8	1,6	13,5	2,3	13,52	2,32
E3 G1 A1	12,3	1,1	13,6	2,4	11,6	0,4	12,0	0,8	14,4	3,2	12,78	1,58
E1 G2 A1	12,8	1,6	13,0	1,8	12,7	1,5	13,1	1,9	13,5	2,3	13,02	1,82
E2 G2 A1	13,8	2,6	12,3	1,1	14,1	2,9	12,3	1,1	13,0	1,8	13,10	1,90
E3 G2 A1	12,7	1,5	12,3	1,1	11,4	0,2	12,8	1,6	12,7	1,5	12,38	1,18
E1 G3 A1	12,5	1,3	13,3	2,1	10,9	0,3	14,9	3,7	12,7	1,5	12,86	1,78
E2 G3 A1	13,0	1,8	13,8	2,6	13,3	2,1	14,5	3,3	12,5	1,3	13,42	2,22
E3 G3 A1	11,6	0,4	12,2	1,0	12,4	1,2	12,9	1,7	11,3	0,1	12,08	0,88
E1 G1 A2	13,2	2,0	11,6	0,4	11,5	0,3	13,4	2,2	12,4	1,2	12,42	1,22
E2 G1 A2	11,3	0,1	12,6	1,4	12,3	1,1	12,3	1,1	12,6	1,4	12,22	1,02
E3 G1 A2	10,9	0,3	12,3	1,1	11,3	0,1	12,3	1,1	13,3	2,1	12,02	0,94
E1 G2 A2	14,1	2,9	13,6	2,4	12,9	1,7	12,3	1,1	12,9	1,7	13,16	1,96
E2 G2 A2	13,9	2,7	12,7	1,5	12,7	1,5	13,2	2,0	15,3	4,1	13,56	2,36
E3 G2 A2	12,3	1,1	13,4	2,2	13,2	2,0	12,8	1,6	13,5	2,3	13,04	1,84
E1 G3 A2	12,5	1,3	12,7	1,5	12,1	0,9	13,3	2,1	13,7	2,5	12,86	1,66
E2 G3 A2	13,0	1,8	14,0	2,8	13,2	2,0	12,6	1,4	13,6	2,4	13,28	2,08
E3 G3 A2	12,9	1,7	13,2	2,0	13,3	2,1	12,8	1,6	13,3	2,1	13,10	1,90

Tabela 62 - Análise de Variância das diferenças absolutas (D), no mês de agosto.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Estimador (E)	2	5,3496	2,6748	4,8544	*
GNA (G)	2	2,7376	1,3688	2,4842	ns
Algoritmo Gama (A)	1	0,0160	0,0160	0,0290	ns
E x G	4	0,3984	0,0996	0,1808	ns
E x A	2	1,7606	0,8803	1,5977	ns
G x A	2	6,0446	3,0223	5,4852	**
E x G x A	4	2,0368	0,5092	0,9241	ns
Tratamentos	17	18,3436	1,0790		
Resíduos	72	39,6720	0,5510		
Total	89	58,0156	1,6300		

(ns) – Não significativo

(*) – p<0,05

(**) – p<0,01

Está apresentada na Tabela 62 a análise de variância entre as diferenças absolutas das médias mensais simuladas em relação às médias mensais observadas, no mês de agosto. Pelo teste F repara-se que o estimador

foi significativo ao nível de 5%, e também a interação ocorreu entre o gerador e o algoritmo gama que atingiu o nível de 1% .

Tabela 63 – Teste de Médias para o Estimador (E), no mês de agosto.

Estimador	E1	E2	E3
	1,6633 ab	1,9833 b	1,3867 a

- Letras minúsculas diferentes implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o teste de Duncan

Na Tabela 63, observa-se pelo teste de Duncan a 5%, que a menor diferença observada ocorreu em E3 e a maior ocorreu no tratamento E2, que apresentou a média mais discrepante. O tratamento E1 não divergiu estatisticamente de E2 e E3.

Tabela 64 - Teste de Médias para Interação entre Gerador (G) x Algoritmo Gama (A) no mês de agosto.

Algoritmo	G1	Gerador G2	G3
A1	1,8133 aB	1,6333 aA	1,6267 aA
A2	1,0600 aA	2,0533 bA	1,8800 bA

- Letras minúsculas diferentes na linha implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o teste de Duncan. Letras maiúsculas diferentes na coluna implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o teste F.

Observando a Tabela 64, verifica-se pelo teste de Duncan a 5%, que quando se analisa o comportamento do algoritmo A1 dentro dos geradores, percebe-se que não existem razões para afirmar que o gerador influencia na melhora da simulação, uma vez que não houve significância para tal. Quando se analisa o desempenho do algoritmo A2 dentro dos geradores, nota-se que G1 produziu o melhor resultado, enquanto que os geradores G2 e G3 não divergiram estatisticamente entre si. Quando é realizada a análise levando-se em consideração o desempenho dos geradores face aos algoritmos, observa-se que o gerador G1, em A2, minimizou os erros das médias simuladas em relação às médias reais, diferindo estatisticamente do algoritmo A1. Nos

geradores G2 e G3 os algoritmos não influenciaram na simulação uma vez que não houve significância para tal.

De forma geral o melhor desempenho foi conseguido com a combinação G1A2, produzindo uma diferença média absoluta de 1,06 mm para o mês de agosto.

A Tabela 65, está mostrando as médias diárias mensais (em mm) das replicações (R) e de suas respectivas diferenças absolutas (D) em relação à média para o mês de setembro. Observa-se num primeiro momento que o tratamento E1G3A1 proporcionou a mais próxima média das replicações em relação à média real e o tratamento E3G2A1, a média mais divergente.

Tabela 65 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de **13,9** mm para o mês de setembro.

Tratamentos	R ₁	D ₁	R ₂	D ₂	R ₃	D ₃	R ₄	D ₄	R ₅	D ₅	$\bar{R}$	$\bar{D}$
E1 G1 A1	13,5	0,4	14,2	0,3	14,6	0,7	13,5	0,4	12,1	1,8	13,58	0,72
E2 G1 A1	14,6	0,7	12,4	1,5	13,2	0,7	14,0	0,1	13,7	0,2	13,58	0,64
E3 G1 A1	13,3	0,6	13,6	0,3	12,0	1,9	13,2	0,7	12,0	1,9	12,82	1,08
E1 G2 A1	13,1	0,8	12,9	1,0	15,0	1,1	14,4	0,5	14,7	0,8	14,02	0,84
E2 G2 A1	14,9	1,0	14,1	0,2	14,1	0,2	11,7	2,2	13,8	0,1	13,72	0,74
E3 G2 A1	15,2	1,3	11,6	2,3	11,1	2,8	11,2	2,7	12,0	1,9	12,22	2,20
E1 G3 A1	13,4	0,5	14,1	0,2	13,9	0,0	13,5	0,4	15,4	1,5	14,06	0,52
E2 G3 A1	11,7	2,2	14,9	1,0	15,6	1,7	14,9	1,0	12,4	1,5	13,90	1,48
E3 G3 A1	13,7	0,2	13,4	0,5	13,5	0,4	14,4	0,5	10,9	3,0	13,18	0,92
E1 G1 A2	15,5	1,6	13,8	0,1	15,1	1,2	15,3	1,4	15,3	1,4	15,00	1,14
E2 G1 A2	17,1	3,2	13,3	0,6	14,4	0,5	14,8	0,9	14,3	0,4	14,78	1,12
E3 G1 A2	14,5	0,6	11,4	2,5	14,1	0,2	13,0	0,9	15,1	1,2	13,62	1,08
E1 G2 A2	11,4	2,5	17,4	3,5	14,1	0,2	14,6	0,7	12,8	1,1	14,06	1,60
E2 G2 A2	15,2	1,3	12,9	1,0	15,6	1,7	16,3	2,4	16,6	2,7	15,32	1,82
E3 G2 A2	12,7	1,2	12,8	1,1	12,7	1,2	13,0	0,9	14,3	0,4	13,10	0,96
E1 G3 A2	12,9	1,0	14,7	0,8	14,1	0,2	14,7	0,8	13,9	0,0	14,06	0,56
E2 G3 A2	10,7	3,2	16,2	2,3	16,8	2,9	13,0	0,9	13,8	0,1	14,10	1,88
E3 G3 A2	12,6	1,3	13,9	0,0	13,8	0,1	12,4	1,5	13,5	0,4	13,24	0,66

Mostra-se na Tabela 66 a análise de variância entre as diferenças absolutas das médias mensais simuladas em relação às médias mensais observadas, no mês de setembro. Observa-se pelo teste F que a interação do estimador e o algoritmo foi significativa ao nível de 5%.

Tabela 66 - Análise de Variância das diferenças absolutas (D), no mês de setembro.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Estimador (E)	2	2,2802	1,1401	1,7225	ns
GNA (G)	2	2,8616	1,4308	2,1617	ns
Algoritmo Gama (A)	1	0,7840	0,7840	1,1845	ns
E x G	4	5,8612	1,4653	2,2138	ns
E x A	2	5,5326	2,7663	4,1795	*
G x A	2	0,2180	0,1090	0,1647	ns
E x G x A	4	3,2592	0,8148	1,2311	ns
Tratamentos	17	20,7968	1,2233		
Resíduos	72	47,6568	0,6619		
Total	89	68,4536	1,8852		

(ns) – Não significativo (*) – p<0,05 (**) – p<0,01

Tabela 67 - Teste de Médias para Interação entre Estimador (E) x Algoritmo Gama (A) no mês de setembro.

<u>Algoritmo</u>	<u>Estimador</u>		
	E1	E2	E3
A1	0,6933 aA	0,9533 abA	1,4000 bA
A2	1,1000 abA	1,6067 bB	0,9000 aA

- Letras minúsculas diferentes na linha implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o teste de Duncan. Letras maiúsculas diferentes na coluna implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 5%, segundo o teste F.

Observando a Tabela 67, verifica-se pelo teste de Duncan a 5%, que quando se analisa o comportamento do algoritmo A1 dentro dos estimadores, percebe-se que existem razões para afirmar que o estimador influencia na melhoria da simulação, uma vez que houve significância para tal. O estimador E1 produziu o melhor resultado enquanto que E3 foi o mais divergente, porém, E2 não difere estatisticamente de ambos. Ao se analisar o desempenho do algoritmo A2 dentro dos estimadores, nota-se que o estimador E3 produziu o melhor resultado e o E2 apresentou a maior divergência, porém E1 não diferiu estatisticamente de E2 e E3. Quando é realizada a análise levando-se em consideração o desempenho dos estimadores face aos algoritmos, observa-se que o estimador E1 não apresentou significância para

tal. No estimador E2 o algoritmo A1 apresentou melhores resultados do que o A2. Quando se observa o estimador E3 percebe-se que os algoritmos não influenciam na simulação, uma vez que não divergem entre si.

De forma geral o melhor desempenho foi conseguido com a combinação E1A1, produzindo uma diferença média absoluta de 0,7 mm para o mês de setembro.

Tabela 68 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de **13,8** mm para o mês de outubro.

Tratamentos	R ₁	D ₁	R ₂	D ₂	R ₃	D ₃	R ₄	D ₄	R ₅	D ₅	$\bar{R}$	$\bar{D}$
E1 G1 A1	12,8	1,0	15,6	1,8	13,8	0,0	14,1	0,3	13,8	0,0	14,02	0,62
E2 G1 A1	13,6	0,2	15,1	1,3	15,2	1,4	13,3	0,5	13,5	0,3	14,14	0,74
E3 G1 A1	13,0	0,8	13,6	0,2	14,1	0,3	15,2	1,4	14,6	0,8	14,10	0,70
E1 G2 A1	14,0	0,2	15,6	1,8	15,2	1,4	14,5	0,7	15,2	1,4	14,90	1,10
E2 G2 A1	15,6	1,8	14,6	0,8	14,0	0,2	13,9	0,1	13,4	0,4	14,30	0,66
E3 G2 A1	12,3	1,5	15,0	1,2	14,5	0,7	14,2	0,4	13,5	0,3	13,90	0,82
E1 G3 A1	15,6	1,8	15,7	1,9	13,4	0,4	14,5	0,7	12,5	1,3	14,34	1,22
E2 G3 A1	14,3	0,5	12,7	1,1	15,5	1,7	15,0	1,2	13,0	0,8	14,10	1,06
E3 G3 A1	13,7	0,1	14,2	0,4	13,3	0,5	15,0	1,2	13,8	0,0	14,00	0,44
E1 G1 A2	13,6	0,2	14,2	0,4	15,5	1,7	13,9	0,1	13,7	0,1	14,18	0,50
E2 G1 A2	13,0	0,8	12,3	1,5	13,8	0,0	13,8	0,0	12,4	1,4	13,06	0,74
E3 G1 A2	14,7	0,9	14,6	0,8	14,5	0,7	13,2	0,6	14,3	0,5	14,26	0,70
E1 G2 A2	14,0	0,2	13,7	0,1	15,1	1,3	15,2	1,4	15,0	1,2	14,60	0,84
E2 G2 A2	12,9	0,9	14,3	0,5	14,4	0,6	13,6	0,2	14,3	0,5	13,90	0,54
E3 G2 A2	13,7	0,1	13,9	0,1	13,6	0,2	15,4	1,6	15,0	1,2	14,32	0,64
E1 G3 A2	14,6	0,8	13,1	0,7	14,4	0,6	14,8	1,0	13,6	0,2	14,10	0,66
E2 G3 A2	15,0	1,2	14,0	0,2	14,1	0,3	12,4	1,4	12,9	0,9	13,68	0,80
E3 G3 A2	14,4	0,6	12,9	0,9	15,2	1,4	13,2	0,6	14,4	0,6	14,02	0,82

Apresenta-se na Tabela 68 as médias diárias mensais (em mm) das replicações (R) e de suas respectivas diferenças absolutas (D) em relação à média para o mês de outubro. Nota-se num primeiro momento que o tratamento E3G3A1 proporcionou a mais próxima média das replicações em relação à média real e o tratamento E1G3A1 apresentou a média mais divergente.

Tabela 69 - Análise de Variância das diferenças absolutas (D), no mês de outubro.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Estimador (E)	2	0,2802	0,1401	0,4460	ns
GNA (G)	2	0,4222	0,2111	0,6720	ns
Algoritmo Gama (A)	1	0,3484	0,3484	1,1091	ns
E x G	4	1,2236	0,3059	0,9738	ns
E x A	2	0,5416	0,2708	0,8619	ns
G x A	2	0,0862	0,0431	0,1372	ns
E x G x A	4	0,6600	0,1650	0,5250	ns
Tratamentos	17	3,5622	0,2095		
Resíduos	72	22,6224	0,3142		
Total	89	26,1846	0,5237		
(ns) – Não significativo (*) – $p < 0,05$ (**) – $p < 0,01$					

Mostra-se na Tabela 69, a análise de variância entre as diferenças absolutas das médias mensais simuladas em relação às médias mensais observadas, no mês de outubro. Percebe-se que nenhum dos fatores avaliados proporcionou variabilidade significativa da realidade.

A Tabela 70, demonstra as médias diárias mensais (em mm) das replicações (R) e as suas respectivas diferenças absolutas (D) com relação à média da precipitação pluviométrica para o mês de novembro. No primeiro momento observa-se que o tratamento E3G1A1 proporcionou a média mais próxima das replicações em relação à média real, sendo o tratamento E2G1A2 o mais discrepante.

Observa-se na Tabela 71, a análise de variância entre as diferenças absolutas das médias mensais simuladas em relação às médias mensais observadas, no mês de novembro. Percebe-se que o algoritmo gama pelo teste F ao nível de 1% influenciou na simulação.

Tabela 70 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de **11,3 mm** para o mês de novembro.

Tratamentos	R ₁	D ₁	R ₂	D ₂	R ₃	D ₃	R ₄	D ₄	R ₅	D ₅	$\bar{R}$	$\bar{D}$
E1 G1 A1	12,2	0,9	9,7	1,6	10,6	0,7	12,1	0,8	12,4	1,1	11,40	1,02
E2 G1 A1	11,7	0,4	10,6	0,7	12,2	0,9	15,2	3,9	12,5	1,2	12,44	1,42
E3 G1 A1	13,3	2,0	11,9	0,6	10,3	1,0	11,4	0,1	11,6	0,3	11,70	0,80
E1 G2 A1	10,6	0,7	10,9	0,4	10,4	0,9	12,0	0,7	13,1	1,8	11,40	0,90
E2 G2 A1	11,8	0,5	11,9	0,6	14,0	2,7	12,8	1,5	11,5	0,2	12,40	1,10
E3 G2 A1	12,3	1,0	10,9	0,4	12,0	0,7	13,4	2,1	10,8	0,5	11,88	0,94
E1 G3 A1	14,0	2,7	10,4	0,9	11,8	0,5	14,4	3,1	11,1	0,2	12,34	1,48
E2 G3 A1	13,2	1,9	11,4	0,1	13,5	2,2	13,3	2,0	11,8	0,5	12,64	1,34
E3 G3 A1	12,6	1,3	13,7	2,4	11,5	0,2	11,7	0,4	16,1	4,8	13,12	1,82
E1 G1 A2	13,0	1,7	12,0	0,7	15,9	4,6	17,3	6,0	12,3	1,0	14,10	2,80
E2 G1 A2	15,6	4,3	14,1	2,8	14,5	3,2	14,7	3,4	16,4	5,1	15,06	3,76
E3 G1 A2	13,5	2,2	12,0	0,7	12,3	1,0	13,4	2,1	13,2	1,9	12,88	1,58
E1 G2 A2	13,3	2,0	15,0	3,7	14,9	3,6	14,1	2,8	12,4	1,1	13,94	2,64
E2 G2 A2	12,7	1,4	13,8	2,5	15,3	4,0	15,4	4,1	11,8	0,5	13,80	2,50
E3 G2 A2	14,4	3,1	12,2	0,9	12,6	1,3	11,7	0,4	14,5	3,2	13,08	1,78
E1 G3 A2	16,9	5,6	14,1	2,8	15,0	3,7	14,3	3,0	13,5	2,2	14,76	3,46
E2 G3 A2	14,3	3,0	13,4	2,1	13,7	2,4	13,5	2,2	12,6	1,3	13,50	2,20
E3 G3 A2	12,7	1,4	13,4	2,1	13,0	1,7	16,3	5,0	14,2	2,9	13,92	2,62

Tabela 71 - Análise de Variância das diferenças absolutas (D), no mês de novembro.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Estimador (E)	2	4,2628	2,1314	1,4106	ns
GNA (G)	2	3,9016	1,9508	1,2910	ns
Algoritmo Gama (A)	1	43,5418	43,5418	28,8155	**
E x G	4	9,2652	2,3163	1,5329	ns
E x A	2	4,1802	2,0901	1,3832	ns
G x A	2	0,7082	0,3541	0,2344	ns
E x G x A	4	2,1836	0,5459	0,3613	ns
Tratamentos	17	68,0434	4,0026		
Resíduos	72	108,799	1,5111		
Total	89	176,843	5,5137		

(ns) – Não significativo

(*) – p<0,05

(**) – p<0,01

Tabela 72 - Teste de Médias para o Algoritmo Gama (A), no mês de novembro.

Algoritmo	A1	A2
	1,2022 a	2,5933 b

- Letras minúsculas diferentes implica que as médias diferem estatisticamente ao nível de 1%, segundo o teste F.

Nota-se na Tabela 72, pelo teste de F a 1%, que a menor diferença observada ocorreu em A1 e a maior em A2, apresentando diferenças estatísticas entre eles.

Tabela 73 – Média mensal diária das replicações (R) e de suas diferenças (D) em relação à média real de **12,3** mm para o mês de dezembro.

Tratamentos	R ₁	D ₁	R ₂	D ₂	R ₃	D ₃	R ₄	D ₄	R ₅	D ₅	$\bar{R}$	$\bar{D}$
E1 G1 A1	12,3	0,0	11,3	1,0	13,0	0,7	11,9	0,4	11,9	0,4	12,08	0,50
E2 G1 A1	13,4	1,1	12,0	0,3	11,6	0,7	15,0	2,7	11,6	0,7	12,72	1,10
E3 G1 A1	13,6	1,3	12,6	0,3	11,4	0,9	12,8	0,5	12,6	0,3	12,60	0,66
E1 G2 A1	12,2	0,1	13,5	1,2	12,2	0,1	13,7	1,4	12,6	0,3	12,84	0,62
E2 G2 A1	10,4	1,9	12,9	0,6	14,8	2,5	13,1	0,8	11,2	1,1	12,48	1,38
E3 G2 A1	11,2	1,1	11,9	0,4	11,9	0,4	11,6	0,7	11,4	0,9	11,60	0,70
E1 G3 A1	12,5	0,2	12,4	0,1	12,7	0,4	12,9	0,6	13,0	0,7	12,70	0,40
E2 G3 A1	13,2	0,9	11,5	0,8	11,7	0,6	12,5	0,2	11,9	0,4	12,16	0,58
E3 G3 A1	11,5	0,8	10,3	2,0	13,2	0,9	11,8	0,5	12,4	0,1	11,84	0,86
E1 G1 A2	14,1	1,8	12,2	0,1	11,5	0,8	13,6	1,3	12,9	0,6	12,86	0,92
E2 G1 A2	11,8	0,5	12,5	0,2	15,6	3,3	11,6	0,7	13,9	1,6	13,08	1,26
E3 G1 A2	12,1	0,2	12,3	0,0	11,7	0,6	11,5	0,8	13,3	1,0	12,18	0,52
E1 G2 A2	13,4	1,1	14,1	1,8	13,9	1,6	13,0	0,7	12,1	0,2	13,30	1,08
E2 G2 A2	12,6	0,3	13,2	0,9	13,2	0,9	12,9	0,6	15,4	3,1	13,46	1,16
E3 G2 A2	11,9	0,4	12,2	0,1	11,2	1,1	10,5	1,8	13,1	0,8	11,78	0,84
E1 G3 A2	14,7	2,4	13,0	0,7	12,5	0,2	12,6	0,3	12,6	0,3	13,08	0,78
E2 G3 A2	12,2	0,1	12,6	0,3	14,2	1,9	14,0	1,7	12,3	0,0	13,06	0,80
E3 G3 A2	12,3	0,0	12,4	0,1	12,2	0,1	14	1,7	12,1	0,2	12,60	0,42

Apresentam-se, na Tabela 73, as médias diárias mensais (em mm) das replicações (R) e de suas respectivas diferenças absolutas (D) em relação à média para o mês de dezembro. Nota-se num primeiro momento que o tratamento E1G3A1 proporcionou a mais próxima média das replicações em relação à média real e o tratamento E2G2A1 apresentou a média mais discrepante.

A Tabela 75 apresenta o resumo mensal de todas as ocorrências obtidas após a análise de variância para a localidade de Piracicaba – SP. Os meses de maio, junho e outubro não apresentaram significância.

Houve interação entre estimador e algoritmo nos meses de janeiro, fevereiro e dezembro. Observa-se que não ocorreu interação entre estimador e gerador, nem deste último com o algoritmo. O algoritmo Gama isoladamente apresentou maior influência na simulação dos dados pluviométricos seguida dos estimadores. Apenas no mês de abril o gerador influenciou na simulação.

Tabela 76 – Resumo das Ocorrências para a localidade de Ponta Grossa – PR.

Causa de Variação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Estimador (E)	**			**		*		*				
GNA (G)												
Algoritmo Gama (A)	**			**							**	
E x G			*									
E x A			*						*			
G x A		*						**				
E x G x A												
Sem Significância					*		*			*		*

(*) - significativo a 5% (**) – significativo a 1%

Na Tabela 76 é apresentado o resumo mensal de todas as ocorrências obtidas após a análise de variância para a localidade de Ponta Grossa – PR. Os meses de maio, julho, outubro e dezembro não foram significativos na simulação.

No mês de março ocorreu interação entre estimador e gerador, nos meses de março e setembro a interação foi com estimador e algoritmo. Ocorreu interação entre gerador e algoritmo nos meses de fevereiro e agosto.

O estimador isolado apresentou a maior influência na simulação de dados pluviométricos, tendo significância menor que 1% nos meses de janeiro e abril e menor que 5% nos meses de junho.

Também isoladamente o algoritmo gama influenciou na simulação, apresentando significância menor que 1% nos meses de janeiro, abril e novembro.

7. CONCLUSÕES

A partir dos objetivos propostos na presente pesquisa, utilizando os materiais e métodos e após a análise e interpretação dos resultados pode-se concluir:

a-) Na determinação dos parâmetros da distribuição Gama os estimadores baseados no método dos momentos, produziram os melhores ajustes influenciando positivamente na simulação dos valores de precipitação pluviométrica que se aproximaram mais realísticamente para todos os meses do ano nas localidades estudadas, embora na maioria das pesquisas envolvendo a distribuição Gama em estudos relacionados a precipitação pluviométrica o método de estimação da verossimilhança é o mais empregado.

b-) Não ficou evidenciado a influência dos geradores de números pseudo-aleatórios na simulação de dados diários de precipitação pluviométrica uma vez que em raríssimas ocasiões houve significância estatística entre os conjuntos analisados.

c-) No processo de simulação de dados diários de precipitação pluviométrica houve distorções nas séries de dados simulados provocados pela escolha do algoritmo computacional para gerar variáveis aleatórias com a distribuição Gama, evidenciando a importância da escolha correta do algoritmo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARKIN, G.F., MAAS, S.J., RICHARDSON, C.W. *Forecasting grain sorghum yields using simulated weather data and updating techniques*. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, Michigan, v.23, n. 3, p.676-80, 1980.

ASSIS, F.N., ARRUDA, H. V., PEREIRA, A. R. *Aplicações Estatísticas de Climatologia: teoria e prática*. Pelotas: Ed. Universitária/UFPel, 1966.

BANNAYAN, M., COROUT, N.M.J., HOOGENBOOM. G. *Application of Ceres-Wheat Model for Within-Season Prediction of Winter Wheat Yield in de Kingdom*. **Agronomy Journal**, Medison, v. 95 p. 114-125, 2003.

BRUHN, J.A., FRY, W.E., FICK, G.W. *Simulation of daily weather data using theoretical probability distributions*. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v.19, n.9, p.1029-36, 1980.

BUSTOS, O.H., FRERY, A.C. *Simulação Estocástica : Teoria e Algoritmos*. Rio de Janeiro: IMPA-Instituto de Matemática Pura e Aplicada, 1992. 148p.

COSTA NETO, P.L. *Estatística*. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 264p.

CUNHA.A.R., MARTINS, D.: PASSOS, J.R.S. *O modelo de probabilidade aplicado ao estudo da distribuição da chuva na região administrativa de Bauru, SP*. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 25, Bauru, 1996. CDRom.

GREENWOOD, J.A., DURAND, D. *Aids for fitting the gamma distribution by maximum likelihood*. **Technometrics**, Milwaukee, v.2, n.1, p.55-65, 1960.

HARTKAMP, A.D., WHITE, J.W., HOOGENBOOM, G. *Comparison of three weather generators for crop modeling: a case study for subtropical environments*. **Agricultural Systems**, Essex, UK, v. 76, p.539-560, 2003.

HOOGENBOOM, G. *Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications*. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 103, p.137-157, 2000.

HUNT, L.A., PARARAJASINGHAM, S., JONES, J.W., HOOGENBOOM, G., IMAMURA, D.T., OGOSHI, R.M. *GENCALC: Software to facilitate the use of crop models for analyzing field experiments*. **Agronomy Journal**, Medison, v.85, p.1090-4, 1993.

JOHNSON, G.J., CLAYTON, L.H., STUART, P.H., BALLARD, E.B. *Stochastic weather simulation : Overview and analysis of two commonly used models*. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v.35, p.1878-96, 1996.

JONES, J.W., COLWICK, R.F., THREADGILL, E. D. *A simulated environmental model of temperature, evaporation, rainfall and soil moisture*. **Transactions of the ASAE**, Michigan, v.15, p.366-72, 1972.

KUCHAR, L. *Using WGENK to generate synthetic daily weather data for modeling of agricultural processes*. **Mathematics and Computers in Simulation**, Amsterdam, v 65, p. 69-75, 2004.

LARSEN, G.A., PENSE, R.B. *Stochastic simulation of daily climatic data for agronomic models*. **Agronomy Journal**, Medison, v.74, p. 510-4, 1982.

MAVROMATIS, T., JONES, P.D. *Comparison of climate change scenario construction methodologies for impact assessment studies*. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.91, p.51-67, 1998.

MAVROMATIS, T., HANSEN, J.W. *Interannual variability characteristics and simulated crop response of four stochastic weather generators*. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 109, p. 283-296, 2001.

MEARNS, L.O., KATZ, R.W., SCHNEIDER, S.H. *Extreme high-temperature events: Changes in their probabilities with changes in mean temperature*. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, Boston, v.23, p.1601-13, 1984.

MEARNS, L.O., ROSENZWEIG, C., GOLDBERG, R. *Mean and variance change in climate scenarios: Methods, agricultural applications, and measures of uncertainty*. **Climatic Change**, Dordrecht, Holanda, v.35, p.367-96, 1997.

NAYLOR, T.H., BALINTFY, J.L., BURDICK, D.S., CHU, K. *Computer simulation techniques*. New York: John Wiley & Sons, 1966. 352 p.

NICKS, A.D., HARP, J.F. *Stochastic generation of temperature and solar radiation data. Journal of Hidrology*, Amsterdam, v.48, p. 1-17, 1980.

PERIN FILHO, C. *Introdução à simulação de sistemas*. Campinas: Editora da UNICAMP, 1995. 163 p.

PONTES, J. H. LEAL, F. H. P., VIRGENS FILHO, J. S. *Análise da Influência de Geradores de Números Pseudo-Aleatórios na Simulação de Dados Diários de Precipitação Pluviométrica. XII Encontro Anual de Iniciação Científica*, 11, 2003, Foz do Iguaçu.

PESSOA, M.C.P.Y., LUCHIARI, A.J., FERNANDES, E.N., LIMA, M.A. *Principais modelos e simuladores utilizados para análise de impactos ambientais das atividades agrícolas*. Jaguariúna: **Embrapa-CNPMA**, 1997. 83p. (Embrapa-CNPMA. Documentos, 8).

PICKERING, N.B., HANSEN, J.W., JONES, J.W., WELLS, C.M., CHAN, V.K., GODWIN, D.C. *WeatherMan: A utility for managing and generating daily weather data. Agronomy Journal*, Medison, v.86, p.332-7, 1994.

PORTUGAL, A.D. *Simulação de sistemas agropecuários*. *Pesq. Agropec. Bras*, v.18, n.4, p. 335-42, 1983.

RICHARDSON, C.W. *Stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation. Water Resources Research*, Washington, v.17, n.1, p.182-90, 1981.

RICHARDSON, C.W. *Weather simulation for crop management models. Transactions of the ASAE*, Michigan, v.28, n.5, p.1602-6, 1985.

RICHARDSON, C.W., WRIGHT, D.A. *WGEN: A model for generating daily weather variables*. **USDA-ARS ARS-8**, Washington, 1984, 80p.

SEDIYAMA, G.C., CHANCELLOR, W.J., BURKHARDT, T.H., GOSS, J.R. *Simulação de parâmetros climáticos para a época de crescimento das plantas*. **Revista Ceres**, Viçosa, v.25, n.141, p.455-66, 1978.

SEMENOV, M.A., BARROW, E.M. *Use of a sthochastic weather generator in the development of climate change scenarios*. **Climatic Changes**, Amsterdam, v.35, p.397-415, 1997.

SENTELHAS, P.C., FARIA, R.T., CHAVES, M.O. *Avaliação do desempenho dos geradores de dados climáticos do DSSAT v.3.5 I – Comparação entre dados observados e gerados*. **In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 11, Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia, 2, 1999, Florianópolis. CD-ROM**. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999a.

SENTELHAS, P.C., FARIA, R.T., CHAVES, M.O. *Avaliação do desempenho dos geradores de dados climáticos do DSSAT v.3.5 II – Aplicação dos dados observados e gerados em modelos de simulação da produtividade potencial e real*. **In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 11, Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia, 2, 1999, Florianópolis. CD-ROM**. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999b.

SHANNON, R.E. *Systems simulation: the art and science*. New Jersey: Prentice-Hall, 1975. 387p.

SHIMIZU, T. *Pesquisa operacional em engenharia, economia e administração : modelos básicos e métodos computacionais*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1984. 360p.

SOLTANI, A., HOOGENBOOM. *A statistical comparison of the stochastic weather generators WGEN and SIMMETEO*. **Climate Research**, Oldendorf, v.24, p. 215-230, 2003.

SOLTANI, A., HOOGENBOOM. *Minimum data requirements for parameter estimation weather generators*. **Climate Research**, Oldendorf, v.25, p.109-119, 2003.

THOM, H.C.S. *A note on the gamma distribution*. **Monthly weather Review**, Washington, v.86, p.117-122, 1958.

VAN EVERT, F.K., CAMPBELL, G.S. *CROPSYST: A collection of object-oriented simulation models of agricultural systems*. **Agronomy Journal**, Medison, v.86, p.325-31, 1994.

VIRGENS FILHO, J.S. *Modelo computacional para simulação de dados climáticos*. Botucatu, 1997. 86p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

VIRGENS FILHO, J.S. *Ferramenta computacional para simulação de séries climáticas diárias, baseada na parametrização dinâmica das distribuições de probabilidade*. Botucatu, 2001. 92p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

WALLIS, T.W.R., GRIFFITHS, J.F. *An assessment of the weather generator (WXGEN) used in the erosion/productivity impact calculator (EPIC)*. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.73, p.115-33, 1995.

WILKS, D.S. *Simultaneous stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation at multiple sites in complex terrain*. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v 96, p. 85-101, 1999.

WEISS, A. *Computer techniques and meteorological data applied to problems of agriculture and forestry: A Workshop*, 30-31 March 1981, Anaheim, Calif. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, v.63, n.10, p.1162-4, 1982.

WEISS, A., ROBB, J.G. *Challenge for the future: Incorporating systems into the agricultural infrastructure*. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.2, n.4, p.287-9, 1989.

YOUNG, K.C. *A multivariate chain model for simulating climatic parameters from daily data*. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v.33, p.661-71, 1994.

YU, B. *An assessment of uncalibrated CLIGEN in Australia*. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 119 p.131-148, 2003.