**EXIGÊNCIAS TÉRMICAS E AVALIAÇÃO DE MODELOS
DE ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DE ARROZ
(*Oriza sativa* L.) IRRIGADO.**

VAGNER CAMARINI ALVES
Lic. em Ciências - Hab. Física

Orientador: Dr. MÁRIO JOSÉ PEDRO JR

Dissertação apresentada à
Escola Superior de Agricultura
"Luiz de Queiroz", da
Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Mestre em
Agronomia, área de
Concentração: Agrometeorologia.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Fevereiro de 1995

630.2515 Alves, Vagner Camarini.
A474e Exigências térmicas e avaliação de
modelos de estimativa da produtividade
de arroz (*Oriza sativa* L.) irrigado /
Vagner Camarini Alves. -- Piracicaba,
1995. (Dissertação de Mestrado -
ESALQ/USP)
65p.; il.

1.Agrometeorologia. 2.Climatologia agrícola. I.A.
II.T.

**EXIGÊNCIAS TÉRMICAS E AVALIAÇÃO DE MODELOS
DE ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DE ARROZ
(*Oriza sativa* L.) IRRIGADO.**

VAGNER CAMARINI ALVES

Aprovada em: 26 / 08 / 1995

Comissão julgadora:

Dr. Mário José Pedro Jr.

IAC

Prf.Dr. Luiz Roberto Angelocci

ESALQ/USP

Dr. Eduardo Antonio Bulisani

IAC

Dr. Mário José Pedro Jr.
Orientador

D E D I C O :

*À meus pais, Varnel e Lordes, por todo esforço
e apoio à minha formação.*

O F E R E Ç O :

*À meu filho Murilo, que mesmo sem experiência
de vida, ensinou-me a enxergar um mundo
melhor e deu mais força para vencer os
obstáculos.*

A G R A D E C I M E N T O S

O Autor expressa os mais sinceros agradecimentos:

Ao Prof. Dr. Mário José Pedro Jr, pela orientação, dedicação no desenvolvimento do presente trabalho, além da amizade e colaboração durante a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. José Carlos Ometto, pelo apoio e orientação, além da amizade e colaboração no decorrer do curso.

Aos Professores do Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, pelos ensinamentos e amizade.

Aos Pesquisadores e Funcionários da Seção de Climatologia Agrícola do Instituto Agronômico - IAC, que de uma forma ou outra colaboraram na realização deste trabalho.

Ao Pesquisador Paulo Cesar Sentelhas, da Seção de Climatologia Agrícola, do Instituto Agronômico de pela cooperação e apoio durante o curso e no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Pesquisador Luiz Ernesto Azzini, da Seção de Arroz e Cereais de Inverno do Instituto Agronômico Campinas, pela cooperação na aquisição de dados para a realização deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura " Luiz de Queiroz ", da Universidade de São Paulo, pelo apoio e colaboração durante minha permanência no departamento.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela bolsa de estudos durante o curso.

A Direção da Faculdade de Ciências Letras e Educação de Presidente Prudente e a Direção da Faculdade de Ciências Agrárias, da Universidade do Oeste Paulista, pelo ótimo ambiente de trabalho e facilidades oferecidas durante a realização do Curso de Pós-Graduação. pelo apoio e estímulo à realização deste curso.

S U M Á R I O

Página

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. Relação entre condições climáticas e o desenvol-	
vimento do arroz	5
2.2. Relação entre condições climáticas e a produ- tividade do arroz irrigado	10
3. MATERIAL E MÉTODO	17
3.1. Localização das áreas experimentais	17
3.2. Período de realização dos experimentos	18
3.3. Observações e registros meteorológicos	18
3.4. Dados fenológicos e de produtividade	19
3.5. Metodologia	20
3.5.1. Cálculo da temperatura-base	20
3.5.2. Determinação das exigências térmicas	22
3.5.3. Modelos de estimativa da produtividade utilizados	23
3.5.4. Avaliação dos modelos	28

Página

4. RESULTADO E DISCUSSÃO	30
4.1. Temperatura-base (Tb)	30
4.2. Graus-dia (GD)	33
4.3. Avaliação dos modelos de estimativa da produ- tividade	36
5 - CONCLUSÕES	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
APÊNDICE	56

L I S T A D E T A B E L A S

Tabela nº	Página
01 Valores dos coeficientes a e b da equação de Ångström para as localidades estudadas	28
02 Coeficientes da equação de regressão (a e b) e de determinação (R^2), da relação desenvolvimento relativo (DR) e a temperatura média do ar (T_{med}), e temperatura-base (T_b) para diferentes fases fenológicas do arroz irrigado cultivar IAC 4440	31
03 Graus-dia (GD) acumulados por fase fenológica do arroz irrigado, cultivar IAC 4440	35
04 Valores de produtividade observada e estimada por diferentes modelos para as localidades de Mococa, Pariquera-Açú e Pindamonhangaba, Estado de São Paulo	37

Tabela nº	Página
05	Coeficientes da equação de regressão e de determinação (a , b e R^2), índice de concordância de Willmott (d) e do erro médio absoluto (EAM) da estimativa, considerando-se as três localidades estudadas 38
06	Coeficientes da equação de regressão e de determinação (a , b e R^2), índice de concordância de Willmott (d) e do erro médio absoluto (EAM) da estimativa, considerando-se a localidade de Mococa-SP 38
07	Coeficientes da equação de regressão e de determinação (a , b e R^2), índice de concordância de Willmott (d) e do erro médio absoluto (EAM) da estimativa, considerando-se a localidade de Parquera-Açú-SP 45
08	Coeficientes da equação de regressão e de determinação (a , b e R^2), índice de concordância de Willmott (d) e do erro médio absoluto (EAM) da estimativa, considerando-se a localidade de Pindamonhangaba-SP 45

L I S T A D E F I G U R A S

Figura n°	Página
01 Determinação da temperatura-base do arroz irrigado cultivar IAC 4440 nas diferentes fases fenológicas, utilizando-se do método da regressão linear entre o desenvolvimento relativo e a temperatura média do ar	32
02 Relação da produtividade observada com a produtividade estimada, para a cultura do arroz irrigado cultivar IAC 4440 nas localidades de Mococa, Pariquera-Açú e Pindamonhangaba, Estado de São Paulo.	39
03 Relação da produtividade observada com a produtividade estimada, para a cultura do arroz irrigado cultivar IAC 4440 na localidade de Mococa, Estado de São Paulo.	43
04 Relação da produtividade observada com a produtividade estimada, para a cultura do arroz irrigado cultivar IAC 4440 na localidade de Pariquera-Açú, Estado de São Paulo.	44

Figura nº	Página
05	Relação da produtividade observada com a produtividade estimada, para a cultura do arroz irrigado cultivar IAC 4440 na localidade de Pindamonhangaba, Estado de São Paulo.46

EXIGÊNCIAS TÉRMICAS E AVALIAÇÃO DE MODELOS DE ESTIMATIVA
DA PRODUTIVIDADE DE ARROZ (*Oriza sativa* L.) IRRIGADO.

Autor: Vagner Camarini Alves

Orientador: Dr. Mário José Pedro Jr.

R E S U M O :

No presente trabalho foram estudadas as exigências térmicas e avaliados cinco modelos de estimativa da produtividade para o arroz irrigado por inundação, cultivar IAC4440, em função da temperatura média do ar e da radiação solar, nas regiões de Mococa, Pariquera-Açú e Pindamonhangaba, Estado de São Paulo, no período compreendido entre os anos agrícolas de 1982/83 a 1991/92.

Inicialmente estudou-se a relação entre a temperatura do ar e o desenvolvimento da planta para determinação da temperatura-base. Observou-se que a temperatura-base para as fases fenológicas foi: semeadura-germinação: 18,8°C; germinação-florescimento: 12,8°C; florescimento-colheita: 12,5°C e ciclo total, isto é, semeadura-colheita: 11,8°C.

As necessidades térmicas medidas em graus-dia

para as fases fenológicas da cultura: semeadura-germinação; germinação-florescimento; florescimento-colheita e semeadura-colheita, encontradas foram, respectivamente: 70, 1246, 402 e 1985 GD.

Os modelos para a estimativa da produtividade do arroz irrigado por inundação, em função de parâmetros climáticos, testados neste trabalho foram os propostos por MURATA (1964), HANYU (1966), MURAKAMI et al (1973), YOSHIDA & PARAO (1974) e PEDRO JR. et al (1994), sendo que a avaliação estatística dos mesmos permitiu verificar que os propostos por YOSHIDA & PARAO (1974) e por PEDRO JR. et al (1994) foram os que apresentaram melhores estimativas. Apesar disso, sugere-se que no uso mais preciso de quaisquer desses modelos, são necessárias adaptações.

**TEMPERATURE REQUIREMENTS AND YIELD ESTIMATION
MODELS FOR LOWLAND RICE (*Oriza sativa* L.).**

Author: Vagner Camarini Alves

Adviser: Dr. Mário José Pedro Jr.

S U M M A R Y

Temperature requirements were determined and the utilization of five yield estimation models was evaluated, for lowland rice, cultivar IAC 4440, in function of average air temperature and solar radiation, in three localities of the State of São Paulo (Brazil): Mococa, Pariquera-Açú and Pindamonhangaba, using data obtained from 1982 to 1992.

Initially was studied the relationship between air temperature and crop development to determine the base-temperature. The obtained base-temperature from seeding to germination was: 18,8°C; from germination to flowering: 12,8°C; from flowering to ripening: 12,5°C and from seeding to ripening: 11,8°C.

The temperature requirements, expressed as degree-days (DD), for different crop phenological phases: seeding to germination; germination to flowering;

flowering to ripening and seeding to ripening, were respectively: 70, 1246, 402 and 1985 DD.

The yield estimation models evaluated for low land rice as a function of climatic parameters were the proposed by: MURATA (1964); HANYU (1966); MURAKAMI et al (1973); YOSHIDA & PARAO (1974) and PEDRO JR. et al (1994).

Best fit were found for models proposed by YOSHIDA & PARAO (1974) and by PEDRO Jr et al (1994) evaluate through statistical analysis.

1 - INTRODUÇÃO

O arroz é considerado como planta semi-aquática, que pode viver tanto em clima tropical quanto em clima semitropical. Os cultivares de arroz, das espécies cultivadas, crescem em solos inundados e também, em bem drenados. Em sua longa história de cultivo, foi verificado que o arroz se adapta a diversas condições geográficas, climáticas, edáficas e bióticas (FAGERIA, 1984).

Nos países orientais, principalmente os asiáticos, o arroz representa uma das principais fontes de renda na produção agrícola.

Atualmente, o arroz é cultivado em mais de 111 países, localizados em todos os continentes, exceto na Antártica, entre as latitudes 53°N e 40°S (DE DATTA, 1981), e se constitui na principal fonte de alimentação de mais da metade da população mundial, tendo um papel muito importante na economia de vários países, especialmente da Ásia (LU & CHANG, 1980).

Por ser o arroz um dos principais alimentos da população de grande parte do mundo e sua cultura das mais antigas realizadas pelo homem, ela tem sido pesquisada em vários países, com o objetivo de otimizar sua produção, tanto na área de melhoramento genético quanto na de adaptação e de condicionamento climático.

O Brasil é o país que possui o maior consumo per cápita de arroz na América. Esse cereal faz parte da dieta básica, e, é fonte de nutrientes de sua população, daí a importância sócio-econômica desta cultura, justificando as necessidades de pesquisas visando melhoria de produtividade.

No Brasil o arroz é cultivado em todo o território nacional, estando a maior produção concentrada nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul. Segundo FAGERIA (1984), o cultivo do arroz se dá sob quatro sistemas diferentes:

- I) terras baixas com irrigação controlada;
- II) terras baixas com irrigação não controlada;
- III) terras baixas sem irrigação; e
- IV) terras firmes sem irrigação (sequeiro).

Dentre esses sistemas o que oferece ao

produtor melhor resposta com relação à produtividade é o de terras baixas com irrigação controlada, no qual a disponibilidade de água para a cultura é regulada conforme suas necessidades, sem qualquer restrição hídrica.

Desse modo, nesse sistema tanto o desenvolvimento da cultura quanto a produtividade ficam restritos a outros fatores climáticos, principalmente os relacionados à disponibilidade de energia, como a irradiância solar e a quantidade de calor no ar atmosférico.

A cultura do arroz irrigado por inundação permite ao rizicultor obter elevadas produtividades, tornando várzeas sistematizadas altamente produtivas e rentáveis, principalmente com o uso de cultivares apropriados à região.

A temperatura média do ar, a irradiância solar e o comprimento do dia, são os principais responsáveis pela duração de cada fase fenológica da cultura e pela sua produtividade.

O comportamento fenológico do arroz e suas exigências térmicas são importantes parâmetros que o rizicultor pode utilizar para o conhecimento antecipado da provável data de colheita, permitindo assim um melhor planejamento das atividades agrícolas.

Recentemente houve um incremento das pesquisas na previsão da produção deste cereal, a qual depende basicamente da relação água-produção e/ou clima-produção, geralmente através de modelos estatísticos, ou funções matemáticas.

Sabe-se que o cultivar IAC 4440 tem alto potencial de produção, podendo atingir produtividades de 9.000 kg/ha, porém, observa-se uma variabilidade nesta produtividade intimamente relacionada com condições climáticas.

Portanto, o objetivo deste estudo foi determinar para o desenvolvimento da cultura do arroz irrigado por inundação, cultivar IAC 4440, as exigências térmicas, expressas em graus-dia e avaliar modelos de estimativa de produtividade, em função da temperatura média do ar, irradiância solar e duração do brilho solar.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Relação entre condições climáticas e o desenvolvimento do arroz

Estudos de aptidão agroclimática dos vegetais são necessários para o planejamento de instalação de uma cultura. O conhecimento das épocas de plantio e de colheita, para tanto, torna-se necessário para um bom entendimento das relações clima-planta (BRUNINI et al, 1976).

O arroz irrigado por inundação, como qualquer outro vegetal, necessita de energia para seu desenvolvimento, isto é, de quantidade de calor no ar atmosférico e irradiância solar global. Como esses parâmetros são dinâmicos, é comum utilizar-se o somatório desses para avaliar o comportamento da planta até completar seu ciclo, pois, neste tipo de cultivo não existe restrição de água.

A duração do período de crescimento e a produção do arroz depende das características fisiológicas das variedades e das condições ambientais. Associando-se as condições climáticas à duração do período de crescimento é possível realizar ajuste da época de colheita, auxiliando na seleção de datas mais adequadas para a semeadura e previsão de etapas de operação e manejo (GAO,1987).

A soma térmica necessária para uma determinada cultura completar seu ciclo ou fase fenológica, é praticamente constante para uma dada espécie vegetal. Historicamente, Reaumur em 1735 foi o primeiro a sugerir esta relação, posteriormente chamada de graus-dia (KISH¹- Citado por VILLA NOVA et al, 1972).

O conceito de graus-dia pressupõe a existência de uma temperatura-base abaixo da qual a planta não se desenvolve, e se o fizer, será à taxas muito reduzidas. Cada grau da temperatura média diária acima da temperatura-base corresponde a um grau-dia. Cada espécie vegetal ou cultivar possui uma temperatura-base própria, que pode variar em função da fase fenológica da planta, sendo comum a prática de adotar um valor médio para cada variedade; e, uma quantidade de graus-dia acumulados acima da temperatura-base, específica para

1 - KISH, A.J. Forecasting maturity date of snap beans in South Carolina U.S.Dept.Commerce Tech. Mem., New York, 1967, n.20, 7p.

cada cultivar, em uma mesma fase fenológica (CAMARGO, 1984).

Essa teoria assume ainda que tanto as temperaturas diurnas quanto as noturnas são igualmente importantes para o desenvolvimento da planta, e que a resposta à temperatura é linear (HOLMES & ROBERTSON, 1959). Os referidos autores consideram ainda que fatores como: a fertilidade do solo, a densidade de plantas e o tipo de solo, podem influir no total de graus-dia exigidos por uma determinada cultura. Além disso, o comprimento do dia faz com que haja variações entre o total de graus-dia exigidos por um mesmo cultivar em diferentes locais (CARDER², citado por HOLMES & ROBERTSON, 1959).

Não apenas a temperatura do ar atmosférico influencia o desenvolvimento do arroz irrigado, mas também, a temperatura do solo e da água de irrigação. Os cultivares do tipo moderno, de origem tropical como o BR-IRGA 409 e BR-IRGA 410, apresentam vigor médio em solos com temperaturas baixas, entretanto, devem ser semeados no início da época de implantação da lavoura em cada região rizícola, para escapar à possível ocorrência de frio no período reprodutivo. Cultivares tolerantes a

2 - CARDER, A.C. Growth and development of some field crops as influenced by climatic phenomena at two diverser latitudes. Canadian Jounal of Plant Science, Ottawa, 37:392-406, 1957.

solos frios podem germinar com temperatura em torno de 13°C. A baixa temperatura do solo, além de alongar o período de emergência da planta, causa clorose nas folhas jovens e redução na altura das plântulas (TERRES & GALLI, 1985).

Os cultivares de arroz irrigado, dependendo da região onde são semeados, tem ciclos diferentes. Assim, um cultivar poderá ter ciclo com mais de 150 dias, em uma região subtropical, e um ciclo com menos de 120 dias, em uma região de clima tropical. A época de semeadura influi consideravelmente no tempo requerido para completar o ciclo da cultura e, é fundamental para uma boa produtividade da lavoura (INFELD et al, 1985).

INFELD (1987), cita que a quantidade de radiação solar requerida pela cultura de arroz difere de uma fase fenológica para outra, e os graus-dia exigidos pela cultura dependem dos cultivares. No Japão as somas térmicas da semeadura à floração variam de 1.000 a 3.000 graus-dias.

SINGH & RAM (1990), fizeram comparações entre dois cultivares de arroz, o C14-8 e o CR1009, fazendo cultivos com plantio no 10º dia de cada mês, durante um ano. Observaram que a variação no número de dias para o florescimento foi causado por diferenças

vegetativas só na fase que antecede a floração. Nas fases fenológicas básicas: de reprodução e amadurecimento permaneceu constante em ambos, e as diferenças nos números de dias foi função do clima.

QUAYYUM et al (1990), analisaram a duração da fase vegetativa, fotoperíodo-sensível, estágios de sensibilidade fotoperiódica e tipos de planta em 60 cultivos de arroz, observaram uma correlação negativa entre a duração da fase vegetativa com a fase de fotoperíodo-sensível e a qualidade da sensibilidade fotoperiódica. Os cultivares tradicionais eram mais sensíveis que os cultivares modernos.

A influência da temperatura na duração do período de desenvolvimento do arroz irrigado por inundação é tão acentuada, que a fase total de maturação, em uma mesma variedade, a uma temperatura média de 29°C leva em torno de 30 dias, enquanto que a uma temperatura média diária de 18°C atinge até 53 dias (INFELD, 1987).

Além disso, como cita INFELD (1987), a temperatura influi nas diferentes fases fenológicas, com intensidades diferentes, dependendo da variedade. No período de enchimento de grãos, para o cultivar IR20, a uma temperatura média diária de 28°C a duração é de 13 dias e para o cultivar FUJISAKA 5 nas mesmas condições leva 18 dias. Este mesmo autor faz inferências sobre a

quantidade de graus-dia acumulados, e cita que dependendo da variedade, a quantidade total, desde o plantio até a maturação, pode variar de 2.000 a 4.000 graus-dia.

2.2. Relação entre condições climáticas e a produtividade do arroz irrigado

As condições climáticas tem marcante influência na variação da produtividade do arroz, por afetar as diferentes fases do desenvolvimento da cultura.

No início do período de florescimento, plantas submetidas a 17°C durante cinco dias resultam completamente estéreis, entretanto, basta que sejam submetidas a uma temperatura de 15°C durante uma hora para afetar ou cessar a formação do polén, dependendo do cultivar (PEDROSO, 1982; TERRES & GALLI, 1985; SATAKE³, citado por ESTEFANEL et al, 1991).

A tolerância as baixas temperaturas varia entre os diferentes genótipos. Materiais testados em diferentes regiões do Rio Grande do Sul e também em diferentes épocas, confirmam estes fatos (CRUZ et al, 1974; SOUZA & PEDROSO, 1976; INFELD, 1979; TERRES et al, 1981; TERRES & GALLI, 1985; BURIOL et al, 1991).

3 - SATAKE, T. Research on cool injury of paddy rice plants in Japan. Japan Agric. Res. Quart., 1969, 4(4):5-10.

Em 1989, BI et al (1990), observaram que tanto as variedades japônicas quanto as índicas HPGMR ("Hubei Photoperiod-sensitive Genetically Male Sterile Rice") quando submetidas a períodos de baixas temperaturas em pleno verão, tem a estabilidade da fertilidade afetada em todas as HPGMR, enquanto as japônicas são menos afetadas.

Alguns cultivares de arroz irrigado, como TRC246-C10, possuem boa fertilidade, florescimento concentrado e o envelhecimento tardio das folhas, com uma produtividade de 5.200 kg/ha, atingem o amadurecimento em 140 a 145 dias, e são tolerantes ao frio durante a fase vegetativa, com temperatura de 5 à 15°C (SARDANA et al, 1989).

BURIEL et al (1991), mostram que as baixas temperaturas prejudicam a cultura do arroz tanto no sub-período germinação-emergência, como no estágio reprodutivo e de maturação. A maior sensibilidade com reflexos na produtividade ocorre na pré-floração e na floração.

Em alguns genótipos de arroz irrigado por inundação, temperaturas abaixo de 19°C durante o florescimento causam esterilidade das flôres, mas geralmente, considera-se a temperatura de 17°C como nível térmico mínimo abaixo do qual a fecundação das flores é

prejudicada, podendo chegar a esterilidade total (ESTEFANEL et al, 1991).

Para INFELD (1987) as temperaturas mínimas absolutas, durante o florescimento das plantas de arroz irrigado, abaixo da qual sua fertilidade é afetada, é de 15°C, sendo que em estudos na CPATB/EMBRAPA, foi demonstrado que existe uma correlação entre o número de dias com temperatura abaixo de 15°C e a percentagem de esterilidade nos cultivares IRGA 408, BR IRGA 409 e BR IRGA 410; entretanto para os cultivares EEA 406, Bluebelle e Lebonnet os coeficientes de correlação não foram significativos, então, isso indica que estes cultivares são mais tolerantes as baixas temperaturas.

Para minimizar os efeitos causados pelas baixas temperaturas na produtividade do arroz irrigado, pode-se adotar práticas culturais como: a elevação do nível da lâmina d'água na irrigação, uso de cultivares tolerantes e/ou precoces e semi-precoces, época de semeadura na qual as plantas atinjam estágios críticos em períodos de menor probabilidade de ocorrência de temperaturas prejudiciais (TERRES et al, 1983; INFELD et al, 1985; BURIEL et al, 1991).

O aumento da temperatura média do ar juntamente com o aumento da umidade relativa do ar, diminui a evapotranspiração, e favorece a abertura das

flôres proporcionando um alto índice de fertilidade (PEDROSO, 1982).

TATSUTA & HORISUE (1990), em experimentos controlados realizados no período de 1987 a 1989, estudaram oito cultivares de arroz, em condições controladas, com temperatura do ar de: 20,9°C; 22,7°C ou 24,5°C e com temperatura da água de: 19,0°C; 19,5°C ou 20°C e com profundidades variando de 20 à 30 cm de lâmina d'água. Em todos os cultivos observaram um aumento da fertilidade com o aumento da temperatura e da profundidade da lâmina d'água.

TANAKA & MANABE (1989), observaram que as datas de transplante são importante para a produtividade do arroz irrigado, pois, atrasando os transplantes se retarda a emergência e a maturação dos cachos, diminuindo o número de flores, o número de cachos e a produção por metro quadrado.

Devido a grande influência do clima na produtividade, vários autores vem buscando determinar expressões matemáticas e funções estatísticas para estimativa da produtividade do arroz irrigado em função de parâmetros climáticos.

WANG & ZHANG (1987) mostraram que existe uma estreita relação clima-produção, principalmente em estudos realizados no sul da planície Tai Hu e na área

central do delta do Yangtse, na China. O estudo apresenta a tentativa para a simulação de uma longa seqüência de dados de colheita de arroz, baseado nos fatores climáticos durante a estação de crescimento.

MURATA (1964) usou dados de cinco anos de produtividade e correlacionou-os com a radiação solar diária e a temperatura média do ar do período de agosto e setembro, entre 1957 e 1961. O estudo resultou na seguinte equação de estimativa de produtividade :

$$Y = [1,20 - 0,021(t-21,5)^2].Q$$

onde, Y é o valor da produção em $g.m^{-2}$ e o valor $21,5^{\circ}C$ é considerado como a temperatura média ideal, em $^{\circ}C$.

HANYU et al⁴, citado por MURATA (1975), obtiveram um modelo onde a produção é estimada em função da temperatura do ar e da quantidade de horas de insolação, sendo considerado como valor ótimo da temperatura $21,4^{\circ}C$, para um período crítico de 40 dias consecutivos após o florescimento, e através de regressão obteve:

4 - HANYU, J.; UCHIJIMA, T.; SUGAWARA, S. Studies on the agro-climatological method for expressing the paddy rice products, In: An agro-climatic index for expressing the quantity of ripening of the paddy rice. Bull. Tohoku Nat. Agric. Expt. Sta., 1966, 34:27-36.

$$Y = [4,14 - 0,13(t - 21,4)^2].I$$

MURATA & KUDO⁵, citado por MURATA (1975), para aprimorar o modelo obtido por MURATA em 1964, para os dados do Japão, incorporaram o valor da temperatura média do ar no período de maio e junho, assim, obtiveram a seguinte equação para a estimativa da produtividade :

$$Y = [a - b(t_2 - 21,5)^2].Q.t_1$$

onde:

Y = produção em g.m⁻²

t₁ = temperatura média do ar, em maio e junho, em °C

t₂ = temperatura média do ar, em agosto e setembro, em °C

Q = irradiância solar global incidente, em cal.cm⁻².dia⁻¹

a,b = coeficientes da equação.

No Brasil PEDRO JR. et al (1994) utilizaram esta metodologia para estimar a produtividade de arroz irrigado na região de Pindamonhangaba obtendo

5 - MURATA, Y. & KUDO, S. On the influence of solar radiation and air temperature upon the local differences in the productivity of paddy rice in Japan. Proc. Crop Sci. Soc. Jap., 1968, **38**:179.

estimativa de produtividade em kg/ha, em função da irradiância solar global e temperatura média do ar atmosférico, no período considerado crítico, de quarenta dias consecutivos iniciando dez dias antes do florescimento, e adotando como temperatura ótima 25°C, através da seguinte equação matemática:

$$Y = [17,79 - 0,81.(T_{med} - 25)^2].Q$$

onde,

Y é a produtividade em kg/ha,

Q, a irradiância solar global média indidente no período crítico, em cal.cm⁻².dia⁻¹,

T_{med}, a temperatura média no período crítico, em °C.

A existência na literatura de diferentes modelos de estimativa de produtividade de arroz irrigado mostra a necessidade de se efetuar avaliação para encontrar os que mais se adaptam as condições climáticas do Estado e especificamente ao cultivar IAC 4440.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização das áreas experimentais

Os dados climáticos e fenológicos da cultura do arroz, utilizados no presente trabalho, foram obtidos de experimentos conduzidos em várzea inundada pela Seção de Arroz e Cereais de Inverno do Instituto Agrônomo de Campinas - IAC, nas seguintes Estações Experimentais:

Mococa :

Lat.: $21^{\circ}28'S$; Long.: $47^{\circ}01'W$; Alt.: 665m.

Pariquera-Açú:

Lat.: $24^{\circ}43'S$; Long.: $47^{\circ}53'W$; Alt.: 25m.

Pindamonhagaba:

Lat.: $22^{\circ}58'S$; Long.: $45^{\circ}27'W$; Alt.: 560m.

3.2. Período de realização dos experimentos

Os experimentos foram desenvolvidos no período compreendido entre os anos de 1982 e 1992. Os plantios foram realizados obedecendo sempre as épocas tradicionais da cultura do arroz irrigado, em cada localidade.

O cultivar utilizado de arroz (*Oriza sativa L.*) foi o IAC 4440.

O tratamento adotado constituiu-se de quatro repetições em cada ano agrícola em cada localidade, com canteiros de 3 linhas de 5m de comprimento, espaçamento de 40cm entre si em Mococa, totalizando uma área de 6m² cada, e com espaçamento de 30cm entre linhas em Pindamonhangaba e Pariquera-Açú, totalizando em cada canteiro uma área de 4,5m².

3.3. Observações e registros meteorológicos

Os dados climáticos utilizados foram obtidos nas Estações agrometeorológicas da Seção de Climatologia Agrícola localizadas nas Estações Experimentais, onde foram conduzidos os experimentos.

As temperaturas médias diárias foram determinadas pela média aritmética simples entre os valores das temperaturas máximas, obtidas com termômetros do tipo líquido-em-vidro, tem como elemento sensível o mercúrio e possui como característica uma constrição capilar que impede o retorno do mercúrio ao bulbo, e mínimas diárias, obtidas com termômetros tipo líquido-em-vidro que tem como elemento sensível o álcool e possui no interior do capilar um indicador no formato de haltere, cuja extremidade oposta ao bulbo indica a menor temperatura do ar, com termômetros marca R.Fuess com precisão de $0,2^{\circ}\text{C}$ colocados dentro do abrigo termométrico, nos locais dos experimentos.

A quantidade de horas de brilho de sol, foi obtida através das tiras heliográficas dos heliógrafos tipo Campbell-Stokes, marca R.Fuess.

3.4. Dados fenológicos e de produtividade

Os dados fenológicos e de produtividade utilizados no presente trabalho, foram extraídos dos arquivos da Seção de Arroz e Cereais de Inverno do Instituto Agrônomo de Campinas.

As datas de germinação e de florescimento,

utilizados neste trabalho, foram assumidas como aquelas em que houve ocorrência de 50% do fenômeno observado. Isto é, quando 50% das sementes haviam germinado e no caso do florescimento, quando 50% das plantas tinham florescido.

3.5. Metodologia

Foram determinadas as temperaturas-base e os graus dia necessários para cada fase fenológica e para que a cultura completasse o ciclo total.

Foram utilizados análises estatísticas dos valores das séries históricas de épocas de cultivo do arroz irrigado, cultivar IAC 4440, compreendendo os anos agrícolas de 1982/83 à 1991/92, para as localidades de Mococa, Pariquera-Açú e Pindamonhangaba, Estado de São Paulo.

3.5.1. Cálculo da temperatura-base (T_b)

Foram determinadas as temperaturas-base, para as seguintes fases fenológicas da cultura:

- a) Semeadura-Germinação

- b) Germinação-Florescimento
- c) Florescimento-Colheita
- d) Semeadura-Colheita

Para a determinação da temperatura-base, foi utilizado o método que aplica a regressão linear entre a temperatura média do ar do período e o desenvolvimento relativo, como utilizado por SENTELHAS et al (1994).

O método da regressão linear entre a temperatura média do ar e o desenvolvimento relativo, em cada fase fenológica da cultura, culminando na determinação da seguinte expressão matemática:

$$DR = a + b.T_{med}$$

onde :

DR é o desenvolvimento relativo da cultura,

T_{med} , a temperatura média no período,

a e b , respectivamente, os coeficientes linear e angular da reta obtidos pela regressão linear simples.

O desenvolvimento relativo foi determinado como segue:

$$DR = \frac{100}{D}$$

onde,

D é o número de dias do período do ciclo da cultura

A temperatura-base foi obtida considerando-a igual à temperatura média, para a qual não haja desenvolvimento da planta, isto é, o desenvolvimento relativo é igual à zero, ou seja:

$$T_b = - \frac{a}{b}$$

3.5.2. Determinação das exigências térmicas

A caracterização das exigências térmicas para o arroz IAC 4440, foi feita utilizando-se o método dos graus-dia (VILLA NOVA et al, 1972):

$$GD = (T_{med} - T_b).N$$

onde,

GD = graus-dia

T_{med} = temperatura média do ar no período considerado.

T_b = temperatura-base da cultura (°C)

N = número de dias do período considerado

3.5.3. Modelos de estimativa da produtividade utilizados

Foram estudados os modelos propostos por: MURATA (1964); HANYU et al (1966); MURAKAMI et al (1973); YOSHIDA & PARAO (1974) e PEDRO Jr. et al (1994b).

O modelo proposto por MURATA (1964) considera o valor 21,5°C como a temperatura média ideal para a produtividade do arroz irrigado, e como valores extremos a temperatura média mínima diária de 13,9°C e temperatura média máxima diária de 29,0°C, considerando como período crítico para produtividade, 40 dias consecutivos, sendo 10 dias antes e 30 dias após o

florescimento, e é dado pela seguinte expressão:

$$Y = [1,20 - 0,021.(T_{med} - 21,5)^2].Q.10 \quad (1)$$

onde,

Y é o valor da produtividade em kg/ha,

Q é a irradiância solar global média diária em cal/cm²dia, no período crítico.

T_{med} é a temperatura média do ar em °C, no período crítico.

10 é o fator de transformação para kg/ha.

O modelo para estimativa da produtividade proposto por HANYU et al (1966), considera como período crítico para a produtividade 40 dias consecutivos após o florescimento e como valor ótimo da temperatura 21,4°C, e como valores extremos, para as temperaturas médias mínimas e máximas, respectivamente, 15,8°C e 27,0°C, sendo expresso da seguinte forma:

$$Y = [4,14 - 0,13.(T_{med} - 21,4)^2].I.10 \quad (2)$$

onde,

Y = produtividade em kg/ha,

T_{med} = temperatura média do ar em °C, no

período crítico.

I = quantidade de brilho solar, em horas,
no período crítico.

10 = fator de transformação para kg/ha.

O modelo proposto por MURAKAMI et al (1973) utiliza-se de dados climáticos dos 40 dias após o florescimento, considerando como valores máximos e mínimos, temperatura média mínima e máxima de 14,5°C e 28,1°C, respectivamente, para a validade do modelo que é dado pela expressão:

$$Y = [6,52 - 0,1411 \cdot (T_{med} - 21,26)^2] \cdot I_p \cdot 10 \quad (3)$$

onde,

Y é a produtividade em kg/ha,

T_{med} , a temperatura média diária nos 40 dias após o florescimento, em °C,

I_p , a insolação média ponderada nos 40 dias após o florescimento, em horas.

A insolação ponderada é determinada pela seguinte expressão:

$$I_p = \sum_{n=1}^n I_n \cdot [(40 - n) / 40],$$

com, n variando de 1 a 40 dias após o florescimento, e onde I_n é a insolação média diária até o dia n , em horas.

O modelo proposto por YOSHIDA & PARAO (1974), estima a produtividade do arroz através de fatores climáticos, em um período crítico de 25 dias após o florescimento.

$$Y = (278 - 7,07T_{med}) . Q . 15,566.10^{-2} \quad (4)$$

onde,

Y é a produtividade em kg/ha

Q , a irradiância solar global média diária no período crítico, em $\text{cal}/\text{cm}^2.\text{dia}$

T_{med} , a temperatura média diária no período crítico, em $^{\circ}\text{C}$.

O modelo proposto por PEDRO Jr et al (1994b), utiliza-se da irradiância solar global média no período de 40 dias consecutivos iniciando 10 dias antes do florescimento, e considera a temperatura ideal de 25°C , com limite inferior de $20,3^{\circ}\text{C}$ e superior de $29,7^{\circ}\text{C}$.

$$Y = [17,79 - 0,81(T_{med} - 25)^2]Q \quad (5)$$

onde,

Y é a produtividade em kg/ha,

Q é a irradiância solar global média incidente, no período crítico, em cal/cm².dia.

Tmed é a temperatura média do ar no período crítico, em °C.

A irradiância solar global utilizada neste trabalho foi determinada em função da quantidade de horas de brilho solar, utilizando-se a expressão proposta por ÅNGSTRÖM (1924), citada por PEDRO Jr (1989):

$$Q = Q_0(a + b.n/N)$$

onde:

Q = Irradiância solar global que atinge a superfície terrestre por cm².

Q₀ = Irradiância solar total que atinge uma superfície plana no topo da atmosfera, no dia 15 de cada mês.

n = Insolação diária média mensal, em horas.

N = Insolação diária média possível para o dia 15 de cada mês.

a e b são coeficientes da equação de Ångström.

Tabela 01 : Valores dos coeficientes a e b da equação de Ångström para as localidades estudadas.

Localidades	a	b
Mococa	0,40	0,41
Pariquera-Açú	0,24	0,58
Pindamonhangaba	0,28	0,51
Fonte: CERVELLINI et al (1966)		

3.5.4. Avaliação dos Modelos

Para avaliação dos modelos representados pelas equações (1), (2), (3), (4) e (5) para estimativa da produtividade do arroz irrigado, IAC 4440, foram utilizadas: análise de regressão, obtendo-se o coeficiente de determinação (R^2), e a análise de concordância de Willmott (d) e o erro absoluto médio (EAM) (WILLMOTT et al, 1985), dados pelas seguintes expressões:

$$d = 1 - \{ [\sum_{n=1}^n (p_i - o_i)^2] / [\sum_{n=1}^n (|p_i - o_i| + |o_i - o|)^2] \}$$

e

$$EAM = \sum_{n=1}^n |P_i - O_i| / N$$

onde:

P_i é o valor da produtividade estimada,

O_i é o valor da produtividade observada,

O é o valor médio da produtividade observada,

N é o número de pares de dados analisados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Temperatura-base (Tb)

Na tabela 2 e figura 1, são apresentados os valores obtidos de temperatura-base (Tb) do arroz irrigado cultivar IAC 4440, para as seguintes fases fenológicas: semeadura-germinação: 18,8°C; germinação-florescimento: 12,8°C; florescimento-colheita: 12,5°C e semeadura-colheita: 11,8°C.

Esses valores mostram a variação existente entre as diferentes fases fenológicas, principalmente entre a fase semeadura-germinação e as demais, como encontrado por INFELD (1987).

Os valores de Tb para o cultivar IAC 4440 encontram-se próximos dos valores obtidos por BRUNINI et al (1976), que observaram variações na Tb entre 8 e 11°C para as variedades de arroz de sequeiro Pratão Precoce e IAC-1246. Os referidos autores também observaram que a Tb

na fase semeadura-germinação foi maior que nas demais fases indicando uma exigência térmica mais elevada nesse período.

As temperaturas-base determinadas para o cultivar IAC 4440 também se encontram próximas às temperaturas mínimas exigidas pelas cultivares japônicas estudadas por Yoshida⁶, citado por FAGERIA (1984), que variaram de 7 a 22°C.

Tabela 2 : Coeficientes da equação de regressão e de determinação (R^2), da relação entre o desenvolvimento relativo (DR) e a temperatura média do ar (T_{med}), e temperatura-base (T_b) para diferentes fases fenológicas do arroz irrigado cultivar IAC 4440.

Fase Fenológica	a	b	R^2	T_b
				°C
Semeadura-Germinação	-28,77	1,53	0,48	18,8
Germinação-Floresc.	- 1,02	0,08	0,44	12,8
Floresc.-Colheita	- 3,23	0,26	0,31	12,5
Semeadura-Colheita	- 0,60	0,05	0,54	11,8

6 - YOSHIDA, S. Fundamentals of rice crop science. IRRI, Los Baños, 1981. 269p.

Figura 1 : Determinação da temperatura-base do arroz irrigado cultivar IAC 4440 para as diferentes fases fenológicas, utilizando-se o método da regressão linear entre o desenvolvimento relativo e a temperatura média do ar no período.

4.2 - Graus-dia (GD)

A tabela 3, mostra os valores de graus-dia acumulados acima da temperatura-base de $18,8^{\circ}\text{C}$, para a fase fenológica semeadura-germinação, obtendo uma média de 70 GD com um desvio padrão de 17,6 GD e coeficiente de variação de 25,1 %.

Na fase fenológica germinação-florescimento, o arroz irrigado cultivar IAC 4440, necessita em média de 1246 GD. Na tabela 3, também são encontrados além dos graus-dia acumulados acima da temperatura base de $12,8^{\circ}\text{C}$, o coeficiente de variação de 6,1%, e desvio padrão de 76,3GD.

Os graus-dia acumulados na fase fenológica florescimento-colheita para o arroz irrigado IAC 4440, apresentado na tabela 3, onde mostra que nesta fase necessita-se em média 402 GD acima da temperatura base de $12,5^{\circ}\text{C}$, com um desvio padrão de 68,8 GD e um coeficiente de variação de 17,1 %.

Considerando o ciclo completo da cultura, isto é, a fase semeadura-colheita, para arroz irrigado estudado, a exigência térmica média é de 1985 GD. Na tabela 3 são mostrados os graus-dia acumulados acima da temperatura-base de $11,8^{\circ}\text{C}$, e o desvio padrão: 82,4 GD e

o coeficiente de variação: 4,2 %.

Os valores obtidos de graus-dias para as diferentes fases fenológicas encontram-se dentro dos limites descritos por PEDROSO (1980) e por INFELD (1987), considerando as diferenças nas temperaturas-base dos cultivares estudados.

Tabela 3 : Graus-dia (GD) acumulados por fase fenológica
do arroz irrigado, cultivar IAC 4440.

Local	Ano Agrícola	S-G	Graus-dia		
			G-F	F-C	S-C
Mococa	82/83	65	1175	311	****
	83/84	60	1212	496	1987
	84/85	83	1277	401	1972
	85/86	78	1369	387	2061
	86/87	99	1253	360	1993
	87/88	96	1248	339	1924
	88/89	61	1186	384	1870
	89/90	82	1275	330	1950
	90/91	70	1173	342	****
	91/92	47	1242	334	1964
Pariquera-Açú	87/88	**	****	357	****
	88/89	**	1411	352	2112
	89/90	44	1144	422	1904
	90/91	**	****	***	1925
	91/92	60	1235	462	1927
Pindamonhangaba	82/83	**	****	421	1927
	85/86	**	****	***	2061
	86/87	**	****	455	2021
	88/89	**	****	330	1870
	89/90	**	****	***	1975
	90/91	**	****	***	2116
	91/92	**	****	504	1975
Média		70	1246	402	1985
Des.Padrão		17,6	76,3	68,8	82,4
C.V. (%)		25,1	6,1	17,1	4,2

S-G = semeadura-germinação / G-F=germinação-florescimento
F-C = florescimento-colheita / S-C = semeadura-colheita

4.3. Avaliação dos modelos de estimativa da produtividade

Na tabela 4 são apresentados os valores das produtividades observadas e estimadas, pelos modelos de MURATA (1964), HANYU (1966), MURAKAMI et al (1973), YOSHIDA & PARAO (1974) e PEDRO JR et al (1994), para as localidades de Mococa, Pariquera-Açú e Pindamonhangaba (Estado de São Paulo).

Na figura 2 é apresentada a análise geral da relação entre a produtividade observada e a estimada. Observando-se a figura 2, nota-se que os modelos de HANYU (1966), figura 2B, e MURAKAMI et al (1973), figura 2C, não apresentaram boa estimativa da produtividade do arroz irrigado cultivar IAC 4440. Isso foi evidenciado pelos baixos coeficientes de determinação e os elevados erros das estimativas obtidas (tabela 5).

Já, os modelos de MURATA (1964) (figura 2A), YOSHIDA & PARAO (1974) (figura 2D), e PEDRO JR. et al (1994) (figura 2E) apresentaram uma maior coerência entre os resultados. Fato este verificado pelos valores da tabela 8, que contém os resultados da análise estatística. O modelo de PEDRO JR et al (1994) foi o que mostrou maior precisão ($R^2=0,39$) e maior exatidão ($d=0,75$) e o menor erro médio absoluto (EAM) igual a

Tabela 5 : Coeficientes da equação de regressão (a e b) e de determinação (R^2), da análise de concordância de Willmott (d) e do erro médio absoluto (EAM, em kg/ha) da estimativa considerando-se as três localidades estudadas.

Modelo	a	b	R^2	d	EAM
Murata	985,85	1,10	0,32	0,62	1783
Hanyu	6.730,33	0,03	0,002	0,39	2603
Murakami	6.027,51	0,16	0,03	0,51	2148
Yoshida	1.138,07	0,82	0,26	0,68	1333
Pedro Jr	1.239,12	0,75	0,39	0,75	1230

Tabela 6 : Coeficientes da equação de regressão (a e b) e de determinação (R^2), da análise de concordância de Willmott (d) e do erro médio absoluto (EAM, em kg/ha) da estimativa considerando-se a localidade de Mococa-SP.

Modelo	a	b	R^2	d	EAM
Murata	1958,93	0,87	0,12	0,52	1315
Hanyu	6493,96	0,08	0,01	0,39	2212
Murakami	5348,36	0,26	0,06	0,51	1270
Yoshida	2553,48	0,58	0,11	0,50	1269
Pedro Jr.	2314,52	0,56	0,14	0,50	1565

Figura 2 : Relação da produtividade observada com a estimada para a cultura do arroz irrigado cultivar IAC 4440 nas localidades de Mococa, Pariquera-Açú e Pindamonhangaba, Estado de São Paulo.

O modelo de Hanyu et al (1966) estima uma produtividade negativa para o ano agrícola de 1983/1984 (-1612 kg/ha) na região de Pindamonhangaba, conforme tabela 4. Este resultado é obtido por consequência da temperatura média diária ($27,4^{\circ}\text{C}$) estar fora dos limites estabelecidos para o modelo, pelo autor, que são: temperatura média mínima diária de $15,8^{\circ}\text{C}$ e a temperatura média máxima diária de 27°C .

Avaliando-se a eficiência dos modelos para a estimativa de produtividade por local, pode-se observar que em Mococa (figura 3), os modelos testados apresentaram a mesma tendência da análise geral, porém, com índices de precisão (R^2) e exatidão (d) inferiores (tabela 6)

Apesar desses baixos índices estatísticos (tabela 6), pode-se verificar que os modelos propostos por MURATA (1964), YOSHIDA & PARAO (1974) e PEDRO JR. et al (1994) foram os que apresentaram os melhores resultados e que o modelo de MURAKAMI et al (1973) apesar da elevada dispersão dos dados ($R^2 = 0,06$) apresentou razoável exatidão ($d = 0,51$). Já, o modelo proposto por HANYU (1966) (figura 3B e tabela 6) apresentou tanto o índice de precisão (R^2) quanto o de exatidão (d) muito baixos.

A análise dos dados da localidade de

Pariquera-Açú (figura 4 e tabela 7) mostrou que todos os modelos apresentaram ajuste bastante superior à localidade de Mococa, com a precisão (R^2) entre 0,30 e 0,47 e exatidão (d) entre 0,63 e 0,79. Dentre os modelos testados o de PEDRO JR. et al (1994) foi o que apresentou melhores resultados ($R^2 = 0,43$; $d = 0,79$ e EAM de 1047 kg/ha). Esse melhor ajuste dos dados se devem à maior variabilidade dos dados observados de produtividade na localidade de Pariquera-Açú.

Por outro lado, em Pindamonhangaba a análise estatística mostrou uma correlação negativa entre a produtividade observada e a estimada (figura 5 e tabela 8), indicando aparentemente que nenhum dos modelos se ajusta bem à localidade. Porém, se observarmos atentamente a figura 5 podemos verificar que os modelos propostos por YOSHIDA & PARAO (1974) e PEDRO JR. et al (1994) apresentaram os valores estimados bem próximos dos observados, inclusive com os erros de estimativa em torno de 1.000 a 1.500 kg/ha, comparáveis com os de Pariquera-Açú (tabela 7). Isso mostra, portanto, que nesses dois casos o não ajustamento dos modelos pode ser devido à pequena amplitude de variação dos dados de produtividade observada em Pindamonhangaba.

De um modo geral, o modelo de PEDRO JR. et al (1994) foi o que apresentou os melhores ajustes, tanto

para a análise geral dos dados como para a análise individual da localidades. Isso se deve ao fato desse modelo ter sido desenvolvido para variedades adaptadas as condições climáticas do Estado de São Paulo. Apesar disso, para utilização eficiente desses modelos testados é necessário que se façam ajustes para cultivares e locais.

Figura 3 : Relação da produtividade observada com a estimada para a cultura do arroz irrigado cultivar IAC 4440 em Mococa, Estado de São Paulo.

Figura 4 : Relação da produtividade observada com a estimada para a cultura do arroz irrigado cultivar IAC 4440 em Pariquera-Açú, Estado de São Paulo.

Tabela 7 : Coeficientes da equação de regressão (a e b) e de determinação (R^2), da análise de concordância de Willmott (d) e do erro médio absoluto (EAM, em kg/ha) da estimativa considerando-se a localidade de Pariquera-Açú.

Modelo	a	b	R^2	d	EAM
Murata	-1617,35	1,56	0,39	0,63	1474
Hanyu	1943,75	0,58	0,30	0,74	1470
Murakami	1416,88	0,82	0,37	0,76	1273
Yoshida	-5733,56	1,89	0,47	0,64	1258
Pedro Jr.	396,38	0,81	0,43	0,79	1047

Tabela 8 : Coeficientes da equação de regressão (a e b) e de determinação (R^2), da análise de concordância de Willmott (d) e do erro médio absoluto (EAM, em kg/ha) da estimativa considerando-se a localidade de Pindamonhangaba.

Modelo	a	b	R^2	d	EAM
Murata	11.560,78	-0,59	0,27	0,25	2.611
Hanyu	8.402,67	-0,03	0,02	0,15	4.170
Murakami	8.857,92	-0,14	0,08	0,18	3.998
Yoshida	13.236,05	-0,70	0,45	0,16	1.480
Pedro Jr.	14.459,35	-0,79	0,32	0,12	1.040

Figura 5 : Relação da produtividade observada com a estimada para a cultura do arroz irrigado cultivar IAC 4440 em Pindamonhangaba, Estado de São Paulo.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram concluir que:

a) a temperatura-base da cultura do arroz irrigado cultivar IAC 4440 foi: 18,8°C; 12,8°C; 12,5°C e 11,8°C, respectivamente para as fases fenológicas: semeadura-germinação; germinação-florescimento; florescimento-colheita e semeadura-colheita.

b) o total de GD necessários para as fases fenológicas: semeadura-germinação; germinação-florescimento; florescimento-colheita e semeadura-colheita, foram respectivamente: 70; 1246; 402 e 1985 GD.

c) considerando-se os modelos utilizados, o que mais se adaptou para estimativa da produtividade no conjunto dos locais estudados, foi o proposto por PEDRO JR. et al (1994), e o que mostrou menor precisão foi o proposto por MURAKAMI et al (1973).

d) considerando os locais estudados, Pariquera-Açú foi onde as estimativas de produtividade foram melhores quando comparadas com valores medidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

BI, C.Q.; LI, Z.B.; WAN, J.M. Effect of low temperature in mid-summer on the fertility stability of HPGMR. *Chinese Journal of Rice Science*, Hubei-China, 4(4):181-4, 1990.

BRUNINI, O.; AZZINI, L.E.; ORTOLANI, A.A.; SANTOS, J.M. Determinação dos índices biometeorológicos para variedades de arroz Pratão precoce e IAC-1246., *Ciência e Cultura*, 28(8):928-31, 1976.

BURIOL, G.A.; ESTEFANEL, V.; SCHINEIDER, F.M.; HELDWEIN, A. B. Ocorrência e duração das temperaturas mínimas diária do ar prejudiciais à fecundação das flores do arroz em Santa Maria, RS. I - Probabilidades de ocorrência. *Ciência Rural*, Santa Maria, 21(1):23-34, 1991.

CAMARGO, M.B.P. de Exigências Bioclimáticas e Estimativa da Produtividade para quatro Cultivares de Soja no Estado de São Paulo. Piracicaba, 1984. 96p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP)

CERVELLINI, A.; SALATI, E.; GODOY, H. Estimativas da dis-tribuição da energia solar no Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, **25**(3): 31-40, 1966.

CRUZ, O.C.; ESTRELA, P.; CARMONA, P.S. Ensaio regional de variedades e linhagens de arroz. In: REUNIÃO GERAL DA CULTURA DO ARROZ, Pelotas, RS, 1974. *Anais*, Pelotas, IPEAS/IRGA, 1974, p.51-6.

DE DATTA, S.K. Rice in perspective. In: *Principles and practices of rice production*. New York, John Willey & Sons, 1981, p.1-40.

ESTEFANEL, V.; BURIOL, G.A.; SCHINEIDER, F.M.; HELDWEIN, A. B. Ocorrência e duração das temperaturas mínimas diária do ar prejudiciais à fecundação das flores do arroz em Santa Maria, RS. II - Estimativa do numero diário de horas com temperaturas baixas. *Ciência Rural*, Santa Maria, **21**(3):305-13, 1991.

FAGERIA, N.K. *Adubação e nutrição mineral da cultura do arroz*. Rio de Janeiro, Ed. Campus, 1984, 341p.

GAO, L.Z.; JIN, Z.Q.; LI, L. A climatic classification for rice production in China, *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, **39**:55-65, 1987.

HOLMES, R.M. & ROBERTSON, G.W. *Heat units and crop growth*. Canada Departament of Agriculture. Ottawa, Publication n.1042, 1959, 35p.

INFELD, J.A. Influência das baixas temperaturas na produ-tividade de seis variedades de arroz irrigado. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 1979, Pelotas,RS. *Anais*, Porto Alegre: IRGA/EMBRAPA, 1979, p.61-3.

INFELD, J.A. Influência da temperatura e da radiação solar no arroz. *Trigo e Soja*, Porto Alegre, (93):9-10, 1987.

INFELD, J.A.; SILVEIRA JR, P.; ZONTA, E.P. Potencial de Produção em função das épocas de semeadura. In: *Fundamentos para a cultura do Arroz irrigado*. Campinas: Fundação Cargill, 1985, cap.7, p.95-112.

LU, J. & CHANG, T.T. Rice in its temporal and spatial perspectives. In: LUH, B.S. ed. *Rice: production and utilization*. Davis, AVI, 1980, p.1-74.

MURATA, Y. On the influence of solar radiation and air temperature upon the local differences in the productivity of paddy rice in Japan. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan*, 33:59-63, 1964. (Resumo)

MURATA, Y. On the influence of solar radiation and air temperature upon the local differences in the productivity of paddy rice in Japan. *International Rice Commission, News letter, Tokyo*, 15:20-30, 1966.

MURATA, Y. Estimation and simulation of rice yield from climatic factors, *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, 15:117-31, 1975.

PEDRO Jr, M.J.; ALFONSI, R.R.; CAMARGO, M.B.P.de; CHIAVEGATTO, O.M.D.P.; ORTOLANI, A.A. & BRUNINI, O. *Disponibilidade de Radiação Solar Global para o Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, Boletim técnico (123), 1989.

PEDRO Jr, M.J.; SENTELHAS, P.C.; POMMER, C.V.; MARTINS, F.P. Determinação da Temperatura-base, Graus-dia e Índice biometeorológico para a Videira "Niagara Rosada", *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, 2(1):51-6, 1994a.

PEDRO Jr, M.J.; SENTELHAS, P.C.; VILELA, O.V.; MORAES, A.V.C. Estimativa da produtividade do arroz irrigado por inundação em função da temperatura do ar e radiação solar na região de Pindamonhagaba - SP. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, 1994b. (No prelo)

PEDROSO, B.A. Condições climáticas para cultivar arroz: temperatura. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, 33(320): 6-8, 1980. K
60 x TB

PEDROSO, B.A. Arroz irrigado: Obtenção e manejo de cultivares. Sagra Editora e Distribuidora Ltda., Porto Alegre, 1982.

QUAYYUM, H.A.; GOMOSTA, A.R.; HAQUE, M.Z. Growth Characteristics of Rice (*Oriza sativa* L.) Associated With Photoperiod Sensitivity. *Bangladesh Journal of Botany*, Bangladesh, 19(1):29-32, 1990.

SARDANA, S.; SASIKUMAR, B.; GHOSH, A.K.; LASKAR, S. "TRC 246-C10", a new boro rice variety for Tripura. ICAR Research Complex for North Eastern Hills Region, Indian Farming, **39**(1):12, 1989.

SENTELHAS, P.C.; NOGUEIRA, S.dos S.S.; PEDRO Jr, M.J. Temperatura-base e Graus-dia para cultivares de girasol, *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, **2**(1): 43-9, 1994.

SINGH, S. & RAM, T. Photoperiod Sensitivity of Traditional Rice variety of Andamans. *Internatinal Rice Research. Newsletter*, **15**(3):9, 1990.

SOUZA, P.R. & PEDROSO, B.A. Efeito da época de semeadura em cultivares e linhagens de arroz (*Oriza sativa* L.) irrigado. In: REUNIÃO GERAL DA CULTURA DO ARROZ, 1976, Pelotas,RS. *Anais*, Pelotas: IPEAS/IRGA, 1976, p.20-5.

TANAKA, K & MANABE, H. The effect of transplanting time and factors on the growth, yield and quality of rice in Fukuoka Prefecture in 1988. Fukuoka Agricultural Research Centre, Fukuoka - Japan. *Report of the Kyushu Branch of the Crop Science Society of Japan*, (56):35-8, 1989.

TATSUTA, H. & HORISUE, N. Practical studies of cold weather injury to rice. 63 varietal differences in sterility with different conditions of air and water temperature in the growth chamber. *Report of the Branch, the Crop Science Society of Japan*, (33):98-9, 1990.

TERRES, A.L.; GALLI, J.; RIBEIRO, A.S. Avaliação em arroz para tolerância ao frio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 16(2):231-40, 1981

TERRES, A.L.; GALLI, J.; GASTAL, P.L. Manejo da água como redutor dos danos causados pelo frio na produção do arroz. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 1983, Porto Alegre, RS. *Anais*, Porto Alegre, IRGA/EMBRAPA, 1983, p.160-171.

TERRES, A.L. & GALLI, J. Efeitos do frio em cultivares de Arroz irrigado no Rio Grande do Sul - 1984. In: *Fundamentos para a cultura do Arroz irrigado*. Campinas: Fundação Cargill, 1985, cap.6, p.83-94.

VILLA NOVA, N.A.; PEDRO JR., M.J.; PEREIRA, A.R.; OMETTO, J.C. Estimativa de graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas máximas e mínimas. *Ciência da Terra - USP/IG*, São Paulo, 1972, p.1-7.

WANG, D. & ZHANG, T. Simulated analysis for 110 years of seasonal weather impacts on Yangtze Delta rice harvest yields. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, **39**:193-213, 1987.

WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DENNEL, J.; ROWE, C.W. Statistic for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, Washington, **90**(C5):8995-9005, 1985.

YOSHIDA, S. & PARAO, F.T. Climatic influence on yield and yield components of lowland rice in the tropics. *Symp. Climate and rice*, IRRI, Philippines, sept. 1974, p.24-27.

APÊNDICE

Valores da duração da fase (em dia), do desenvolvimento relativo (DR) e da temperatura média (Tmed, em °C) para a fase fenológica semeadura - germinação, utilizados para a determinação da temperatura-base e graus-dia.

Local	Ano/Agr	Duração	DR	Tmed.
Mococa	82/83	10	10.00	25.3
	83/84	13	7.69	23.4
	84/85	14	7.14	24.7
	85/86	13	7.69	24.8
	86/87	21	4.76	23.5
	87/88	16	6.25	24.8
	88/89	13	7.69	23.5
	89/90	20	5.00	22.9
	90/91	9	11.11	26.6
	91/92	10	10.00	23.5
Pariquera-açú	89/90	8	12.50	24.3
	91/92	7	14.29	27.3
Media		12.8	8.68	24.5

Valores da duração da fase (em dia), do desenvolvimento relativo (DR) e da temperatura média (Tmed, em °C) para a fase fenológica germinação-florescimento, utilizados para a determinação da temperatura-base e graus-dia.

Local	Ano/Agr	Duração	DR	Tmed.
Mococa	82/83	104	0.96	24.1
	83/84	101	0.99	24.8
	84/85	112	0.89	24.2
	85/86	116	0.86	24.6
	86/87	108	0.93	24.4
	87/88	104	0.96	24.8
	88/89	104	0.96	24.2
	89/90	109	0.92	24.5
	90/91	102	0.98	24.3
	91/92	108	0.93	24.3
Pariquera-açú	88/89	112	0.89	25.4
	89/90	86	1.16	26.1
	91/92	95	1.05	25.8
Media		105	0.96	24.7

Valores da duração da fase (em dia), do desenvolvimento relativo (DR) e da temperatura média (Tmed, em °C) para a fase fenológica florescimento-colheita, utilizados para a determinação da temperatura-base e graus-dia.

Local	Ano/Agr	Duração	DR	Tmed.
Mococa	82/83	27	3.70	24.0
	83/84	40	2.50	24.9
	84/85	34	2.94	24.3
	85/86	32	3.13	24.6
	86/87	33	3.03	23.4
	87/88	28	3.57	24.6
	88/89	34	2.94	23.8
	89/90	28	3.57	24.3
	90/91	32	3.13	23.2
	91/92	34	2.94	23.5
Pariquera-açú.	87/88	41	2.44	21.2
	88/89	48	2.08	24.0
	90/91	41	2.44	22.8
	91/92	44	2.27	23.0
Pindamonhangaba	82/83	38	2.63	23.6
	86/87	37	2.70	24.8
	88/89	25	4.00	25.7
	91/92	42	2.38	24.5
Media		35.4	2.9	23.9

Valores da duração da fase (em dia), do desenvolvimento relativo (DR) e da temperatura média (Tmed, em °C) para a fase fenológica semeadura-colheita, utilizados para a determinação da temperatura-base e graus-dia.

Local	Ano/Agr	Duração	DR	Tmed.
Mococa	83/84	154	0.65	24.7
	84/85	159	0.63	24.2
	85/86	161	0.62	24.6
	86/87	162	0.62	24.1
	87/88	148	0.68	24.8
	88/89	152	0.66	24.1
	89/90	156	0.64	24.3
	91/92	161	0.62	24.0
Pariquera-açú.	88/89	160	0.63	25.0
	89/90	137	0.73	25.7
	90/91	154	0.65	24.3
	91/92	146	0.68	25.0
Pindamonhangaba	82/83	146	0.68	25.0
	85/86	155	0.65	25.1
	86/87	163	0.61	24.2
	88/89	152	0.66	24.1
	89/90	166	0.60	23.7
	90/91	172	0.58	24.1
	91/92	158	0.63	25.4
Media		156	0.64	24.5

Valores da temperatura média diária (Tmed), insolação máxima possível (N), insolação média diária (n), radiação solar no topo da atmosfera (Q₀) e radiação solar global (Q), utilizados para a estimativa da produtividade, pelo modelo de MURATA (1964).

Local	Ano	Data	Tmed.	N	n	Q ₀	Q
Agrícola Flores.							
			(°C)	(horas)		(cal/cm ² .dia)	
(1)	82/83	25/2	24.6	12.3	7.0	907.5	517.35
	83/84	28/2	25.7	12.3	8.8	902.5	591.10
	84/85	10/2	24.6	12.5	6.1	945.0	494.27
	85/86	14/2	24.4	12.5	5.5	935.0	463.01
	86/87	06/3	23.8	12.1	8.1	868.5	545.65
	87/88	10/2	24.6	12.5	5.9	945.0	485.50
	88/89	20/3	24.2	11.8	7.4	812.3	490.41
	89/90	23/2	24.0	12.3	6.7	912.5	507.29
	90/91	04/3	23.5	12.1	5.4	880.1	439.03
	91/92	24/2	23.8	12.6	6.5	934.4	503.83
(2)	82/83	15/4	22.8	11.1	2.3	669.1	241.00
	83/84	05/3	25.2	12.1	5.5	859.7	432.98
	84/85	14/3	25.8	11.8	4.8	813.2	387.03
	85/86	01/4	23.8	11.5	5.9	745.3	400.65
	87/88	08/4	22.3	11.0	2.9	698.2	274.33
	88/89	28/3	24.3	11.6	5.2	762.8	381.40
	89/90	15/3	26.1	11.8	5.7	809.6	421.13
	90/91	22/3	23.8	11.7	4.8	784.4	374.90
	91/92	20/3	24.0	11.7	5.2	791.6	394.04
(3)	82/83	06/3	24.9	12.1	5.4	863.5	430.75
	83/84	13/2	27.5	12.6	7.7	938.3	557.77
	84/85	01/2	25.9	12.8	4.7	979.7	443.77
	85/86	13/2	25.5	12.5	4.0	938.6	399.47
	86/87	26/1	24.7	13.0	4.4	996.0	434.56
	87/88	17/2	25.3	12.5	5.3	927.8	450.84
	89/90	17/1	26.9	13.0	7.3	1008.6	570.56
	90/91	25/1	25.5	13.0	5.5	997.4	484.12
	91/92	28/2	24.3	12.3	6.1	898.9	474.30
Média			24.7	12.2	5.7	875.9	449.7

(1) Mococa (2) Pariquera-açú (3) Pindamonhangaba

Valores da temperatura média diária (Tmed) e insolação acumulada no período (I), utilizados para a estimativa da produtividade, pelo modelo de HANYU (1966).

Local	Ano	Data	Tmed.	I
	Agrícola	Floresc.		
			(°C)	(horas)
(1)	82/83	25/2	24.0	262.5
	83/84	28/2	24.9	289.7
	84/85	10/2	23.0	245.8
	85/86	14/2	21.9	241.1
	86/87	06/3	20.9	300.4
	87/88	10/2	24.6	256.2
	88/89	20/3	23.8	327.9
	89/90	23/2	22.8	276.5
	90/91	04/3	23.2	226.6
	91/92	24/2	23.5	226.2
(2)	82/83	15/4	22.4	67.2
	83/84	05/3	23.6	185.5
	84/85	14/3	25.3	193.0
	85/86	01/4	23.6	215.8
	87/88	08/4	21.1	119.2
	88/89	28/3	22.5	182.1
	89/90	15/3	25.5	205.3
	90/91	22/3	22.9	205.2
	91/92	20/3	23.4	189.6
(3)	82/83	06/3	23.6	219.0
	83/84	13/2	27.4	298.6
	84/85	01/2	26.2	211.6
	85/86	13/2	25.7	185.7
	86/87	26/1	24.8	220.6
	87/88	17/2	25.1	285.1
	89/90	17/1	26.7	293.4
	90/91	25/1	25.4	224.1
	91/92	28/2	23.8	257.6
Média			24.0	229.3

(1) Mococa (2) Pariquera-açú (3) Pindamonhagaba

Valores da temperatura média diária (Tmed), insolação média diária no período (I) e insolação ponderada no período (Ip), utilizados para a estimativa da produtividade, pelo modelo de MURAKAMI et al (1973).

Local	Ano	Data	Tmed	I	Ip
Agrícola Flores.					
			°C	-horas-	
(1)	82/83	25/2	24.0	6.6	121.3
	83/84	28/2	24.9	7.4	157.1
	84/85	10/2	23.0	6.1	119.9
	85/86	14/2	21.9	6.0	110.8
	86/87	06/3	20.9	7.6	146.0
	87/88	10/2	24.6	6.5	116.9
	88/89	20/3	23.8	8.2	155.8
	89/90	23/2	22.8	6.8	123.1
	90/91	04/3	23.2	5.6	106.9
	91/92	24/2	23.5	5.7	98.1
(2)	82/83	15/4	22.4	1.7	31.8
	83/84	05/3	23.6	4.7	97.3
	84/85	14/3	25.3	4.8	94.0
	85/86	01/4	23.6	5.5	108.6
	87/88	08/4	21.1	2.9	55.5
	88/89	28/3	22.5	4.5	98.1
	89/90	15/3	25.5	5.2	91.4
	90/91	22/3	22.9	5.0	89.9
	91/92	20/3	23.4	4.8	97.8
(3)	82/83	06/3	23.6	5.3	108.3
	83/84	13/2	27.4	7.5	156.0
	84/85	01/2	26.2	5.2	116.6
	85/86	13/2	25.7	4.5	81.8
	86/87	26/1	24.8	5.4	79.6
	87/88	17/2	25.1	7.0	123.7
	89/90	17/1	26.7	7.4	146.8
	90/91	25/1	25.4	5.6	104.5
	91/92	28/2	23.8	6.4	117.0
Média			24.0	5.7	109.1
(1)Mococa (2)Pariquera-açú (3)Pindamonhagaba					

Valores da temperatura média diária (Tmed), insolação média diária possível (N) e insolação média diária no período (n), radiação solar no topo da atmosfera (Q₀) e radiação solar global (Q), utilizados para a estimativa da produtividade, pelo modelo de PEDRO Jr. et al (1994).

Local	Ano/Agr	Data	Tmed.	N	n	Q ₀	Q
		Floresc.					
			°C	(horas)		(cal/cm ² .dia)	
(1)	82/83	25/2	24.6	12.3	7.0	907.5	517.4
	83/84	28/2	25.7	12.3	8.8	902.5	591.1
	84/85	10/2	24.6	12.5	6.1	945.0	494.3
	85/86	14/2	24.4	12.5	5.5	935.0	463.0
	86/87	06/3	23.8	12.1	8.1	868.5	545.7
	87/88	10/2	24.6	12.5	5.9	945.0	485.5
	88/89	20/3	24.2	11.8	7.4	812.3	490.4
	89/90	23/2	24.0	12.3	6.7	912.5	507.3
	90/91	04/3	23.5	12.1	5.4	880.1	439.0
	91/92	24/2	23.8	12.6	6.5	934.4	503.8
(2)	82/83	15/4	22.8	11.1	2.3	669.1	241.0
	83/84	05/3	25.2	12.1	5.5	859.7	433.0
	84/85	14/3	25.8	11.8	4.8	813.2	387.0
	85/86	01/4	23.8	11.5	5.9	745.3	400.7
	87/88	08/4	22.3	11.0	2.9	698.2	274.3
	88/89	28/3	24.3	11.6	5.2	762.8	381.4
	89/90	15/3	26.1	11.8	5.7	809.6	421.1
	90/91	22/3	23.8	11.7	4.8	784.4	374.9
	91/92	20/3	24.0	11.7	5.2	791.6	394.0
(3)	82/83	06/3	24.9	12.1	5.4	863.5	430.8
	83/84	13/2	27.5	12.6	7.7	938.3	557.8
	84/85	01/2	25.9	12.8	4.7	979.7	443.8
	85/86	13/2	25.5	12.5	4.0	938.6	399.5
	86/87	26/1	24.7	13.0	4.4	996.0	434.6
	87/88	17/2	25.3	12.5	5.3	927.8	450.8
	89/90	17/1	26.9	13.0	7.3	1008.6	570.6
	90/91	25/1	25.5	13.0	5.5	997.4	484.1
	91/92	28/2	24.3	12.3	6.1	898.9	474.3
Média			24.7	12.2	5.7	875.9	449.7

(1)Mococa (2) Pariquera-açu (3) Pindamonhagaba