

ISSN 0104-1347

Ajuste do módulo de produção de matéria seca no modelo CERES-Sorghum para simulação da cultura do sorgo sacarino¹

Improvement of the dry mater production in CERES-Sorghum model for simulation of sweet sorghum crop

Sandro Luis Petter Medeiros², Ghislain Gosse³, Michel Chartier³ e Paulo Augusto Manfron²

Resumo - Os modelos da família CERES são amplamente utilizados na simulação da produtividade das culturas. Entretanto, esses modelos vêm sofrendo modificações para torná-los mais mecanísticos. Esse trabalho tem como objetivo analisar, testar e propor modificações no módulo de produção de matéria seca (SGROSUB) do modelo CERES-Sorghum, adaptando-o para simulações do sorgo sacarino cv. Keller. Testes preliminares do modelo CERES-Sorghum evidenciaram que uma simulação adequada da produção de matéria seca ocorre quando substituiu-se o valor original da eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa em matéria seca (ϵb) por um ϵb variável em função da temperatura média do ar do período diurno (TT). Além disso, o limite inferior de temperatura do ar determinante do estresse térmico sobre a fotossíntese não mostrou-se adequado para o genótipo Keller do sorgo sacarino.

Palavras-chave: modelização de culturas, radiação fotossinteticamente ativa, sorgo.

Abstract - The CERES model is widely utilized in crop productivity simulations. However, this models has been subject of the modifications in their original functions with propose the improvement of crop simulations. Our objective is to propose modifications in dry matter production (SGROSUB subroutine) in this CERES-Sorghum model. The previous simulations indicated that original efficiency of the conversion of photosynthetically active radiation in dry matter (ϵb) was not suitable to predict dry mater production in sweet sorghum crop cv. Keller. Then, it was proposed a new value of ϵb related with mean diurnal air temperature (TT). This new formulation improved dry matter production in SGROSUB subroutine. The lower threashold of the air temperature in function that determines photosynthesis diminution (PRFT function) was not adequately for cv. Keller.

Key words: crop modeling, photosynthetically active radiation, sorghum.

Introdução

A literatura agrônômica é rica em modelos de simulação da produtividade de culturas, os quais descrevem vários aspectos do desenvolvimento e crescimento das mesmas. BONHOME & RUGET (1991) mencionam que a ação de modelizar o funcionamento de uma cultura, significa realizar uma síntese dos mecanismos de crescimento e desenvolvimento, representando-os através de funções matemáticas. Dentro de um modelo, estas funções encontram-se agru-

padas em módulos que tem por objetivo simular os processos biológicos que ocorrem no ciclo de uma cultura. Entretanto, os autores salientam que é ilusório querer imitar perfeitamente os sistemas biológicos, assim a modelização deve ser dirigida a respostas de questões específicas: previsão da produtividade, potencialidades de diferentes variedades e gestão da irrigação.

Dentro de um modelo de simulação pode-se destacar o módulo de produção de matéria seca. De

¹ Parte da Tese de doutorado do primeiro autor.

² Eng. Agr. Dr., Prof. do Depto de Fitotecnia, CCR, UFSM. 97119.900- Santa Maria, RS. Email: sandro@ccr.ufsm.br.

³ Eng. Agr. Pesquisador da Unité de Bioclimatologie. Thiverval-Grignon-França.

acordo com BONHOME & RUGET (1991), o módulo de simulação de produção de matéria seca é, após a emergência, o elemento motor dos modelos de previsão da produtividade, pois as folhas interceptam a radiação solar e graças à fotossíntese produzem assimilatos necessários para o crescimento da planta.

Dentre os modelos agronômicos existentes destacam-se os da “família” CERES. CARBERRY (1991) cita que o modelo CERES-Maize é largamente empregado graças a descrição das relações físicas e biológicas utilizadas, destacando-se também por ser um modelo facilmente disponível. O CERES-Sorghum mesmo sendo menos documentado que o CERES-Maize também é muito empregado. Entretanto, esses modelos já foram testados e modificados por autores como JEGU (1994), GABRIELLE *et al.* (1995) e SAVIN *et al.* (1994). Estas modificações tiveram por objetivo a substituição de funções empíricas por outras mais mecanísticas. Neste sentido, o presente trabalho almeja analisar, testar e sugerir modificações no módulo de produção de matéria seca dentro do modelo CERES-Sorghum.

Material e métodos

Os dados utilizados para a realização do teste e modificação do modelo CERES-Sorghum foram obtidos a partir de experimentos realizados na rede “SWEET SORGHUM” desenvolvida no programa JOULE (Joint Opportunities for Unconventional or Long-term Energy Supply), sendo o INRA-Grignon (Institut National de la Recherche Agronomique-França) o responsável pela coordenação dessa rede.

A rede “SWEET SORGHUM” teve como objetivo testar e adequar um modelo de previsão da produtividade do sorgo adaptado ao tipo sacarino. Para essa finalidade, elaborou-se uma rede de ensaios que seguiu um protocolo experimental, utilizado pelas instituições participantes de 10 países da Comunidade Econômica Européia. Informações mais específicas sobre a rede “SWEET SORGHUM” referentes a condução dos experimentos, observações fenométricas, meteorológicas e pedológicas podem ser obtidas em GOSSE (1992; 1994). Neste trabalho, os dados utilizados foram obtidos na França, na localidade de Grignon nos anos de 1989 e 1991, e na Itália em Rutigliano em 1990, Catania em 1993, Policoro em 1993 e Ravenna em 1990 e 1991. Nesses locais, os experimentos foram realizados em condição de ótima disponibilidade hídrica e nutricional.

O material vegetal utilizado foi o sorgo sacarino cv. Keller. Para este genótipo, os coeficientes genéti-

cos necessários ao modelo podem ser encontrados em MANTINEO *et al.* (1996).

O modelo de simulação utilizado foi o CERES-Sorghum v. 2.1 sendo que detalhes de seu funcionamento e dados de entrada encontram-se nos manuais de IBSNAT (1989).

O fluxograma representado na Figura 1 esquematiza a produção de matéria no módulo “SGROSUB” do modelo CERES-Sorghum.

Segundo RITCHIE & ALAGARSWAMY (1989), a produção de matéria seca no modelo CERES-Sorghum ocorre da seguinte forma (Figura 1): A variável de entrada SOLRAD (Radiação solar global, em MJ.m²) é transformada em PAR (Radiação fotossinteticamente ativa, em MJ.m²), sendo que a PAR compreende 50% de SOLRAD.

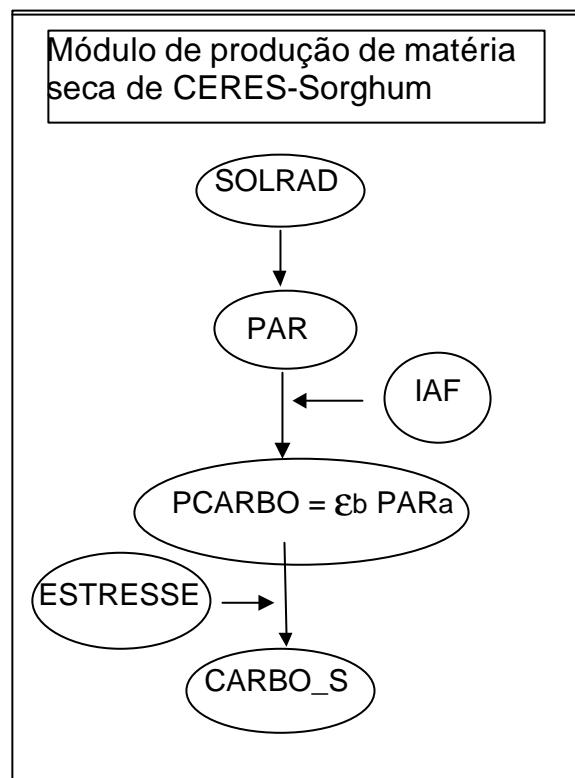


Figura 1. Fluxograma do módulo de produção de matéria seca (SGROSUB) de CERES-Sorghum v.2.1. (SOLRAD= Radiação solar global; PAR= Radiação fotossinteticamente ativa, PARa = PAR absorvido; IAF= índice de área foliar, ϵ_b = coeficiente de conversão de PAR em matéria seca; PCARBO = simulação potencial de matéria seca; ESTRESSE= ação de estresse térmico, hídrico ou nutricional e CARBO_S = matéria seca simulada sendo que CARBO_S \leq PCARBO.

Utilizando a Lei de Beer, o modelo estima a interceptação da PAR que depende do índice de área foliar (IAF) da cultura. Finalmente, a PAR interceptado é convertido em uma produção potencial de matéria seca (PCARBO). Esta transformação utiliza uma constante de conversão da PAR em matéria seca produzida, ϵb . Nesse caso, o modelo estima que para cada 1 MJ.m^{-2} de PAR absorvido ocorre a produção de 4 g de matéria seca. Após a simulação de PCARBO, em condições adversas, podem ocorrer a ação de fatores de estresse (hídrico, térmico ou nutricional) que diminuem a produção potencial para uma produção real de matéria seca, originalmente denominada de CARBO no CERES, sendo adotada a representação CARBO_S nesse trabalho.

Resultados e discussão

As Figura 2a a 2d representam a matéria seca simulada (CARBO_S) utilizando-se o modelo original CERES-Sorghum. Constata-se que a quantidade de CARBO_S foi apenas suficiente para estimar o crescimento da parte aérea (AER_OBS) do sorgo sacarino. Observa-se, principalmente para a localidade de Ravenna, que existe uma clara tendência de CARBO_S aproximar-se ou mesmo ser inferior a AER_OBS. Considerando-se que AER_OBS representa apenas o somatório da massa seca de folhas e colmo, percebe-se então que não existe a simulação de uma quantidade adequada de carbono necessária para a produção de raízes. Portanto, os dados apresentados sugerem uma deficiência na produção de massa seca para uma adequada simulação do crescimento da planta inteira (Raízes, colmos e folhas).

Nas Figura 1, observa-se que as fontes de erro na simulação da matéria seca recaem sobre três hipóteses: a) na simulação do IAF e conseqüentemente da interceptação da PAR; b) na constante ϵb ; e c) na ação de fatores de estresse.

Como SOONTORNCHAINAKSAENG (1995) e JEGU (1994) testaram e reformularam o módulo de simulação do IAF, tornando-o mais mecânico e possibilitando estimativas mais precisas do IAF. Assim, a deficiência na produção de CARBO_S não estaria ligada a simulação da área foliar e assim na eficiência de conversão de PAR em matéria seca produzida ou na ação de fatores de estresse (Figura 1).

Como as simulações foram efetuadas em condições potenciais tanto do nível nutricional quanto hídrico, não ocorreu a ação desses fatores de estresse que poderiam diminuir a produção de CARBO_S

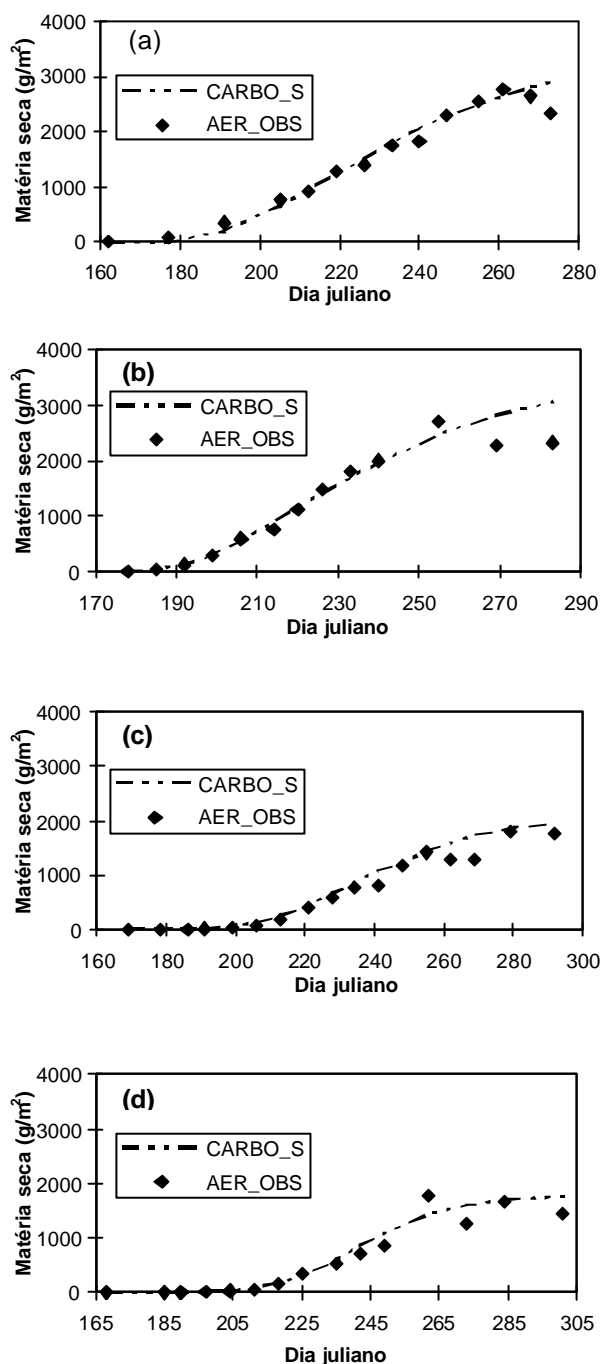


Figura 2 Comparação entre a matéria seca do sorgo sacarino (cv. Keller) simulada pelo modelo CERES-Sorghum original (CARBO_S) e matéria seca da parte aérea observada (AER_OBS) para as localidades de Ravenna (Itália) nos anos de 1990 (a) e 1991 (b) e de Grignon (França) nos anos de 1989 (c) e 1991 (d).

(Figura 1). Restou, somente a ação do estresse térmico como fator limitante para CARBO_S. O estresse térmico atua sobre a produção de matéria seca apenas quando a temperatura do ar, durante período diurno (equação 2) possui valor inferior a 20°C . No mo-

delo CERES, a função que determina o estresse térmico devido a baixa temperatura é denominada de PRFT. Porém, MEDEIROS (1997) cita que o modelo CERES-Sorghum foi desenvolvido para o sorgo granífero, sendo que a maioria dos seus genótipos são, geralmente, cultivados em regiões tropicais. Assim, no CERES, o limite de temperatura do ar de 20°C determinante do início do estresse térmico, pode não ser o mais adequado para o genótipo Keller. O genótipo Keller foi desenvolvido para as condições européias, produzindo bem em regiões de menor disponibilidade térmica como as de Grignon (48,9°N), onde segundo GOSSE (1992) o genótipo apresentou uma produtividade média de aproximadamente 18t.ha⁻¹.

Tal hipótese confirmou-se através de simulações com o modelo CERES sem a função PRFT. Os valores de CARBO_S contidos na Tabela 1, evidenciam que o limite de temperatura do ar existente na função PRFT não encontrava-se adequada para o genótipo Keller. Observa-se que na localidade de Grignon houve um incremento nos valores de matéria seca simulada em relação modelo original, o qual foi de 13% e 16% para o ano de 1989 e 1991, respectivamente. Entretanto, os incrementos foram bastante inferiores para a localidade de Ravenna, sendo iguais a 1% para os dois anos.

Dessa forma, menores incrementos nos valores de matéria seca simulada na localidade de Grignon encontrava-se ligada a um limite de temperatura do ar não adequado para o genótipo Keller. Entretanto, em função dos valores apresentados na Tabela 1, para localidade de Ravenna, somente a hipótese de ϵ_b estar subdimensionada explicaria a deficiência na simulação de matéria seca.

Dentro do relatório do Programa JOULE, GOSSE (1992) cita que foi encontrado um valor médio de ϵ_b igual a 3,58, quando foram utilizados dados das localidades de Braunschweig (Alemanha), Cork (Irlanda), Essex (Inglaterra), Ravenna e

Rutigliano (Itália), Grignon e Lusignan (França) Attiki (Grécia), Madri (Espanha) e Lisboa (Portugal). Esse valor médio ϵ_b foi obtido com dados provenientes de locais com diferenças marcantes de temperatura do ar. Nesse relatório, verifica-se também que um valor de ϵ_b igual a 5,2 foi observado em Rutigliano e que resultados preliminares evidenciaram valores mais elevados de ϵ_b para as regiões Mediterrâneas. Ressalta-se que os valores de ϵ_b foram obtidos considerando-se somente a matéria seca da parte aérea. Portanto, ao considerar-se a planta inteira, espera-se que ocorram maiores valores de ϵ_b .

Partindo-se desta premissa, procurou-se estabelecer uma relação entre ϵ_b e a temperatura do ar. Para isto, utilizou-se dados provenientes de ambientes (locais e anos) com disponibilidades térmicas diferenciadas (Tabela 2). Calculou-se a temperatura do ar pelas equação seguintes:

$$TTm = \Sigma TT/ND \quad (1)$$

$$TT = 0,75.TEMPMX + 0,25.TEMPMN \quad (2)$$

onde TTm é a temperatura média do ar durante o período diurno ao longo do ciclo (°C), TT é a temperatura média do ar durante o período diurno em (°C) obtida segundo algoritmo do CERES-Sorghum, re-

Tabela 2. Eficiência de conversão da radiação solar fotossinteticamente ativa em matéria seca (ϵ_b) e a temperatura média do ar durante o período diurno (TTm) ao longo do ciclo do sorgo.

Local/Ano	ϵ_b	TTm
Grignon (1989)	3,28	20,7
Grignon (1990)	3,57	22,5
Catania (1993)	4,96	24,5
Rutigliano (1990)	4,97	25,3
Rutigliano (1991)	5,49	27,6

Tabela 1. Evolução dos valores de matéria seca simulada (CARBO_S, em g.m⁻²) com o modelo CERES-Sorghum v.2.1 nas localidades de Ravenna-Itália, em 1990 e 1991, e Grignon-França, em 1989 e 1991.

Modelo*	Ravenna 1990		Ravenna 1991		Grignon 1989		Grignon 1991	
	CARBO_S	%	CARBO_S	%	CARBO_S	%	CARBO_S	%
Original	2891,2	100	3038,8	100	1964,3	100	1757,6	100
Sem PRFT	2900,5	101	3051,2	101	2212,8	113	2036,4	116
ϵ_b variável	3196,4	111	3608,4	119	2276,6	116	2095,8	119

*Sem PRFT- modelo CERES sem a função determinante do estresse térmico sobre a fotossíntese (PRFT); ϵ_b variável- modelo CERES com a inclusão de uma eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa absorvida em matéria seca (ϵ_b) variável com a temperatura do ar.

presentado pela equação 2 na qual TEMPMX e TEMPMN são respectivamente temperatura diária máxima e mínima do ar, respectivamente, NDC o número de dias do ciclo.

A seguir, calculou-se a eficiência de conversão ϵ_b para os diferentes ambientes através das relação apresentada por GOSSE (1994):

$$\epsilon_b = MS/PARA \quad (3)$$

$$PARA = 0,95 \cdot PARi \cdot (1 - \exp(-0,85 \cdot IAF)) \quad (4)$$

onde, ϵ_b a eficiência de conversão de PAR em matéria seca ($g \cdot MJ^{-1}$), MS a matéria seca produzida, PARA o PAR absorvido pela cultura ao longo do ciclo ($MJ \cdot m^{-2}$), PARi o PAR incidente ao longo do ciclo ($MJ \cdot m^{-2}$) e IAF o índice de área foliar ($m^2 \cdot m^{-2}$).

O PARi foi estimado diariamente, sendo considerado como sendo 50% da radiação solar global incidente. O IAF diário foi obtido através de interpolação entre duas amostragens sucessivas. Essas observações obedeceram o protocolo experimental do Programa JOULE. Entretanto, pelo protocolo foram observadas somente a matéria seca da parte aérea. Porém, no cálculo de ϵ_b foi considerada a matéria seca da planta inteira ou seja, estimou-se a matéria seca das raízes considerando-a como sendo igual a 15% da matéria seca da parte aérea. Pois de acordo com VARLET-GRANCHER & GOSSE (1992), em condições de ótima disponibilidade hídrica, o genótipo Keller apresentou uma fração de matéria seca de raízes ao redor de 15% da matéria seca total no final do ciclo.

Os valores da Tabela 2 evidenciam uma estreita relação entre ϵ_b e TTm, a qual também pode ser constatada através da equação de regressão entre os parâmetros em questão (Figura 3) apresentado um R^2 de 0,93, constatando-se assim uma forte correlação

entre os dois termos. Contudo, deve-se ressaltar o pequeno número de observações utilizadas para o estabelecimento da tal relação. Apesar disso, substituiu-se ϵ_b constante e igual a 4 do CERES-Sorghum por uma ϵ_b variável em função da temperatura do ar durante o período diurno ($TT^\circ C$), substituindo-se TTm por TT, resultando a equação abaixo:

$$\epsilon_b = 0,3515 \cdot TT + 4,032 \quad (5)$$

A equação 5 representa o aumento de ϵ_b dentro do intervalo de 4 a 6 em função do aumento da temperatura do ar nos limites de 22,8 até 28,5°C (Figura 3). Para o limite inferior de ϵ_b manteve-se o valor original do CERES, que assume ϵ_b igual a 4, quando o valor de temperatura do ar é inferior a 22,8°C. O limite superior de ϵ_b foi adotado em função de simulações preliminares realizadas para os locais constantes na Tabela 2. Essas simulações mostraram que o limite superior mais adequado foi de ϵ_b igual 6, o qual é atingido quando o valor de TT é superior a 28,5°C.

Na Figura 4 constam os resultados das simulações realizadas com modelo CERES-Sorghum v.2.1 contendo as duas modificações sugeridas: sem a função PRFT e a inclusão de uma ϵ_b variável em função de TT. Nessa figura, deve-se considerar somente os resultados obtidos em Ravenna (4a e 4b) pois os dados de Grignon foram utilizados na geração da equação 5. Para Ravenna observa-se que CARBO_S passou a ser superior a AER_OBS ou seja, o modelo com ϵ_b apresentou um aumento na simulação de matéria seca que pode ser melhor utilizado para simular o crescimento de toda a planta (Raízes, caule e folhas).

Através da Tabela 1, pode-se constatar os problemas existente no modelo. No caso de Grignon, uma estimativa não adequada do estresse térmico sobre a fotossíntese determinava uma diminuição da produção de CARBO_S. Para este local, observa-se que a inclusão de ϵ_b variável determinou um pequeno incremento de 3% na simulação CARBO_S quando comparado com o modelo sem PRFT, o qual determinou um incremento muito maior. Entretanto, para um local com maior disponibilidade térmica como Ravenna ocorreu uma tendência inversa: a retirada

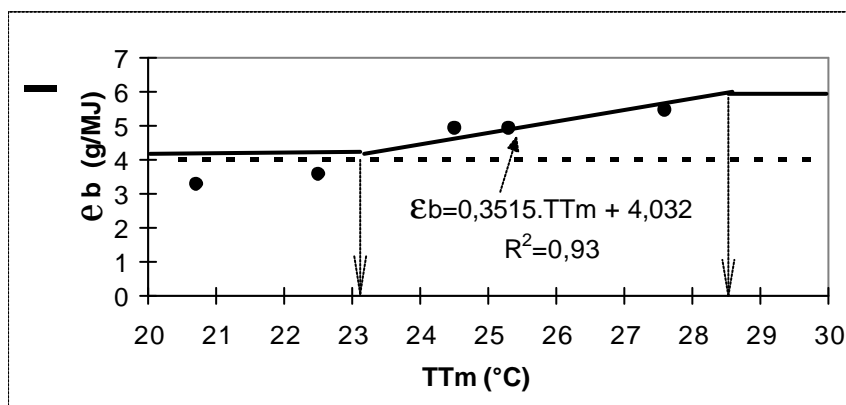


Figura 3. Relação entre a eficiência de conversão da radiação solar em matéria seca (ϵ_b) e temperatura média do ar durante o período diurno (TTm). ϵ_b original de CERES (---); ϵ_b variável em função de TTm (—).

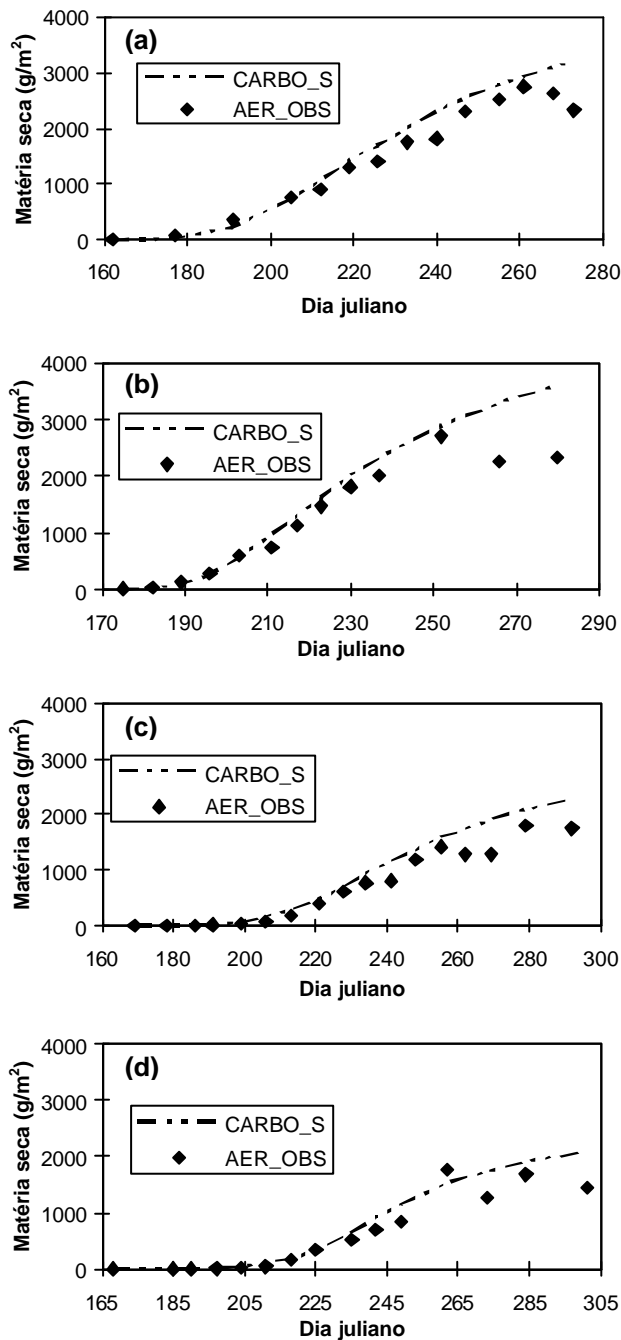


Figura 4 Comparação entre a matéria seca do sorgo sacarino (cv. Keller) simulada pelo modelo CERES-Sorghum com *eb* variável (CARBO_S) e matéria seca da parte aérea observada (AER_OBS) para as localidades de Ravenna (Itália) nos anos de 1990 (a) e 1991(b) e de Grignon (França) nos anos de 1989 (c) e 1991(d).

da de PRFT determinou um pequeno acréscimo, de 1%, enquanto que os maiores incrementos foram devidos a introdução de *eb* variável.

Conclusões

As modificações sugeridas no modelo CERES-Sorghum v.2.1. (retirada da função PRFT e a inclusão de *eb* variável) resultam em uma simulação mais adequada da produção de matéria seca, de tal forma que CARBO_S torna-se superior a AER_OBS. Assim, é possível uma simulação mais adequada do crescimento da planta. Entretanto, é conveniente um maior número de dados para o estabelecimento da relação entre *eb* e TT. Essa constatação é extremamente importante no caso do sorgo sacarino, onde os dados experimentais evidenciaram esta relação.

Referências bibliográficas

- BONHOMME, R., RUGET, F. Modélisation du fonctionnement d'une culture de maïs: cas de CORNGRO et CERES-Maize. In : COLLOQUE INRA/AGPM/UNIVERSITÉ PARIS SUD, 1990, PARIS, **Physiologie et production du maïs**, Paris : INRA, 1991. 501 p., p.385-392.
- CARBERRY, P.S. Test of leaf area development in CERES-Maize : a correction. **Field Crops Res.**, Cambridge, n. 27, p. 159-161, 1991.
- GABRIELLE, B., MENASSERI, S., HOUOT, S. Analysis and field evaluation of Ceres models water balance component. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, n. 59, p. 403-412, 1995.
- GILLET, M., LEMAIRE, G., GOSSE, G. Essai d'élaboration d'un schéma global de la croissance des graminées fourragères. **Agronomie**, Paris, v.4.,n.1, p. 75-82, 1984
- GOSSE, G. **Synthesis of modeling activities**. Grignon : INRA-Grignon and Lusignan contribution. 1992.150 p. (Rapports finaux du Contrat N° JOUB - 0036 (Période 1/10/91 - 30/09/92)
- GOSSE G. European Sweet Sorghum Network ESSON State of art, Progress Report and Perspectives. In: E.C. CONFERENCE, 8., BIOMAS for energy environment agriculture and industry. 1994, Viena, **Proceedings...**, Vienna, 1994. 460 p. p 322-331.
- IBSNAT. **Decision support system for agrotechnology transfer v.2.1 (DSSAT v.2.1)**. Dep. Agron. Soil Sci. Coll. Trop. Agric. Human Resources. Univ. of Hawaii, Honolulu. 1989
- JEGU, S. **Modification d'un modèle dynamique de simulation de la productivité d'un couvert végétal (Ceres Sorgho)**. Paris : INRA, 1994, 75p. Mémoire de D.E.A. Informatique, INRA-Station de Bioclimatologie, Centre de Recherche Grignon-Massy-Paris. 1994.
- MANTINEO, D.M., MEDEIROS, S.L.P., CHARTIER, M. et al. First estimation of CERES model's genetic

coefficients for three sorghum genotypes. In: EUROPEAN SEMINAR ON SORGHUM FOR ENERGY AND INDUSTRY, 1., 1996, Toulouse. **Seminar...** Toulouse : INRA, 1996. 485 p. p 280-287.

MEDEIROS, S.L.P. **Modifications et developpement d'un nouveau module de contrainte hydrique dans le modèle CERES-Sorghum sucrier.** Paris: INA-PG, 1997. 154 p. Thèse (Doctorat de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon). Institut National de Recherche Agronomique, 1997.

RITCHIE, J.T., ALAGARSWAMY, G. Physiology of sorghum and pearl millet. In: VIRMANI, S.M., TANDON H.L.S., ALAGARSWAMY G. (eds). **Modeling the growth and development of sorghum and pearl millet.** ICRISAT, India, 45 p. 1989. (Research Bulletin, 12).

SAVIN, R., HALL A., J., SATORRE, E.H. Testing the root growth subroutine of the CERES-Maize model

for two cultivar of different cycle length. **Field Crops Res.**, Cambridge, n. 38, p. 125-133. 1994.

SOONTORNCHAINAKSAENG, P. **Mise en place de la surface foliaire, accumulation et répartition de la matière sèche du sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) : Effet de la température.** Toulouse : INPT, 1995, 115 p. Thèse (Doctorat en Sciences des Agroressources) - Institut National Polytechnique de Toulouse. 1995.

VARLET-GRANCHER, C., GOSSE, G. **Sweet sorghum productivity network-Contribution des stations INRA de Lusignan et de Grignon.** Grignon : INRA, n.p. 1992. (Rapports intermédiaires représentant les activités pour la période du 1/10/90 au 1/10/91. CONTRAT n. JOUB 0036-C (CD)).