

ISSN 0104-1347

## Ajuste dos coeficientes de repartição da matéria seca do modelo CERES-Sorghum para simulação da cultura do sorgo sacarino<sup>1</sup>

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

Sandro Luis Petter Medeiros<sup>2</sup>, Ghislain Gosse<sup>3</sup>, Michel Chartier<sup>3</sup> e Paulo Augusto Manfron<sup>2</sup>

**Resumo** - O modelo CERES-Sorghum foi gerado para a simulação do crescimento e desenvolvimento do sorgo, a qual é obtida direcionando-se uma quantidade adequada de matéria seca para o crescimento de raízes, folhas e colmos. Originalmente o modelo CERES-Sorghum prioriza o crescimento de grãos, principalmente em final de ciclo, pois esse modelo foi proposto para a simulação da produção de grãos. Nesse trabalho, objetivou-se modificar a repartição de matéria de seca do modelo CERES Sorghum transformando-o de um modelo "tipo grão" para um modelo "tipo colmo", ajustando-o para a simulação do crescimento da parte aérea do sorgo sacarino cv. Keller. Assim, modificou-se a chave de repartição da matéria seca produzida, favorecendo-se o crescimento de colmo em detrimento do crescimento de grãos. Os resultados obtidos evidenciaram que essa modificação permite uma simulação mais adequada do crescimento da parte aérea do sorgo sacarino.

**Palavras-chave:** CERES-Sorghum, simulação, sorgo sacarino.

**Abstract** - CERES-Sorghum model as proposed for crop modeling and its integrate the growth and development process of the sorghum crop. CERES-Sorghum was generated for simulation of the grain yield. In this paper, we will discuss and propose a new partition of the dry matter in CERES-Sorghum model. Our objective are to became CERES-Sorghum capable for simulations of the sweet sorghum crop, where the stems are the major sink of dry matter produced. In the new version of the CERES-Sorghum model, the panicle growth was reduced and the major portion of the dry matter is translocated for stem growth. The modifications suggested in CERES-Sorghum to allow simulation more appropriate in aerial dry matter of the sweet sorghum crop.

**Key words:** CERES-Sorghum, crop model, sweet sorghum.

### Introdução

De acordo com GILLET et al. (1984), o crescimento vegetal pode ser definido como uma evolução da fitomassa ao longo do tempo. O crescimento representa o resultado da interação entre fatores externos (nutricionais, térmicos, hídrico...) e fatores internos (balanço hormonal, atividade de enzimas,...), ligados aos estádios de desenvolvimento das plantas, caracterizado pelo aparecimento de novas estruturas como flores e frutos.

A evolução da fitomassa de cada órgão, ou seja de cada compartimento componente da planta, varia com o estágio fenológico. Isto é, o crescimento dos órgãos que compõem a planta depende da quantidade de matéria seca que é direcionada a cada compartimento, a qual é variável no ciclo da cultura. Em termos de modelização, o crescimento dos órgãos ocorre através de um percentual de matéria seca direcionada a cada compartimento. Esse percentual representa uma chave de repartição de matéria seca nos modelos de simulação.

<sup>1</sup> Parte da Tese de doutorado do primeiro autor.

<sup>2</sup> Eng. Agr. Dr., Prof. do Depto de Fitotecnia, CCR, UFSM. 97119-900- Santa Maria, RS. Correspondência para Email: [sandro@ccr.ufsm.br](mailto:sandro@ccr.ufsm.br)

<sup>3</sup> Eng. Agr. Pesquisador da Unité de Bioclimatologie. Thiverval-Grignon-França.

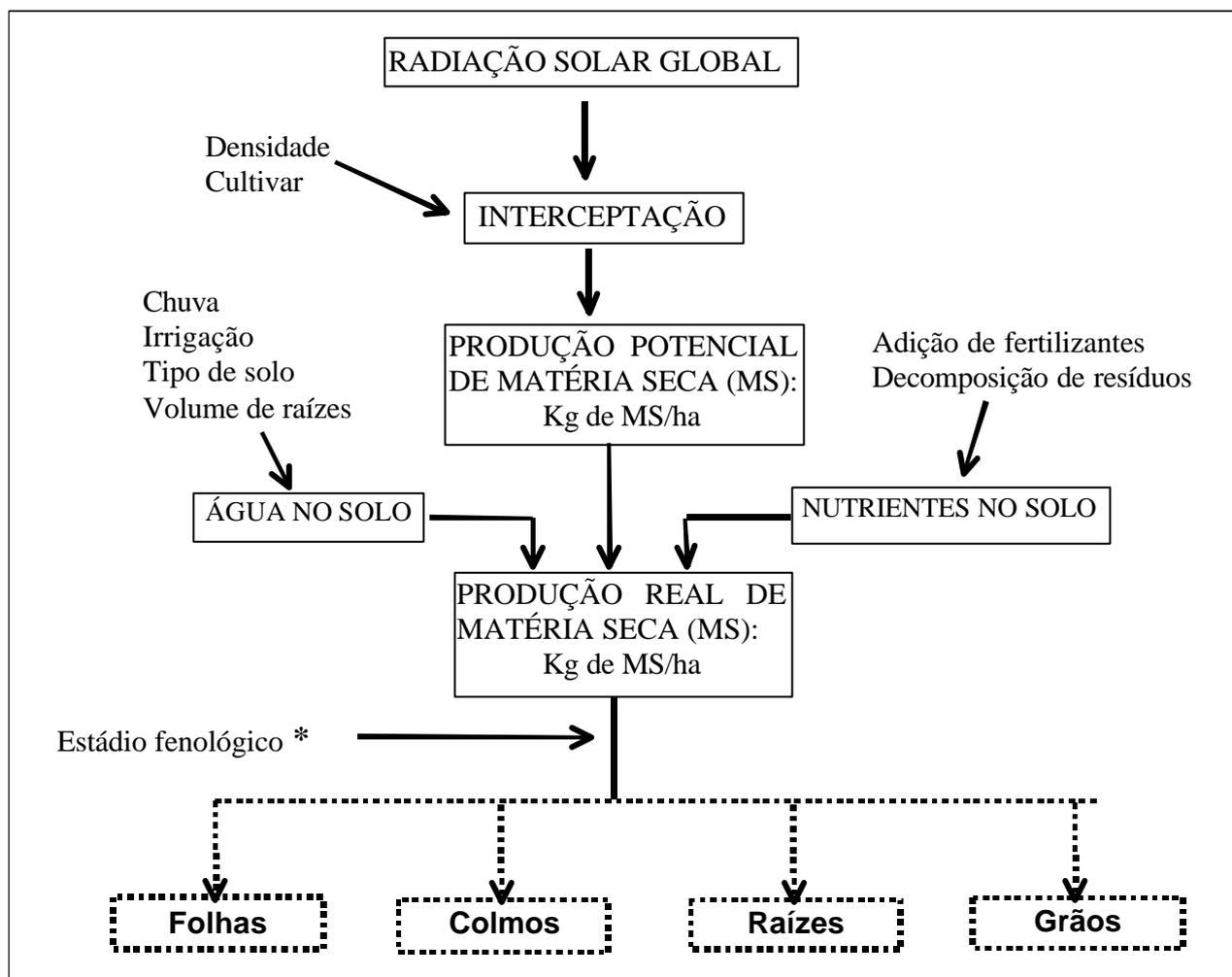
Em condições consideradas ótimas, no que se refere a disponibilidade dos fatores que regulam o crescimento da planta, a chave de repartição de matéria seca entre os diferentes órgãos das plantas obedece uma hierarquia, determinada geneticamente, priorizando o crescimento de determinados órgãos ao longo do ciclo. Assim, na emergência, basicamente as folhas e raízes são as beneficiadas com uma maior fração de matéria seca. Durante o subperíodo vegetativo, ocorre um crescimento mais acentuado de raízes e folhas, sendo que no final deste subperíodo intensifica-se o crescimento de colmos. No subperíodo reprodutivo, as estruturas responsáveis pela reprodução serão as mais beneficiadas. Um exemplo de chave repartição é adotada pelo modelo CERES-Sorghum (Figura 1).

No final do ciclo e em condições de ótima disponibilidade hídrica, SIVAKUMAR *et al.* (1989) constataram que para o sorgo granífero cv. CHS8 cerca de 15%, 30% e 55% da matéria seca da parte aérea

(MSA) encontra-se, respectivamente, em folhas, colmos e grãos. Para o sorgo granífero cv. CO26, RAMU *et al.* (1991) verificaram que 15,9%, 37,3%, e 46,8% da matéria seca total foi destinada à raízes, colmos e panícula.

Em condições de ótima disponibilidade hídrica, VARLET-GRANCHER & GOSSE (1992) citam que o sorgo sacarino cv. Keller, por ser de ciclo tardio, não apresentou a formação de panícula na colheita, em experimentos realizados no norte da França. A biomassa formada constitui-se basicamente de folhas e colmos, sendo que esses representam cerca de 70% da massa da parte aérea. A biomassa de raízes totalizou cerca de 15% da matéria seca total.

Existe uma nítida diferença na chave de repartição de matéria seca entre um sorgo granífero e um sorgo sacarino. No primeiro, a produção de grãos é priorizada em final de ciclo, enquanto que no segundo é beneficiada a formação de colmos.



**Figura 1** Fluxograma ilustrativo da produção e repartição de matéria seca no modelo CERES-Sorghum. As linhas tracejadas representam a chave de repartição de matéria seca entre os diferentes órgãos em crescimento. (\* A quantidade de matéria seca direcionada para órgãos em crescimento varia de acordo com o estágio fenológico).

O modelo CERES-Sorghum (IBSNAT, 1989) foi originalmente gerado para a previsão da produtividade dos sorgos graníferos, tendo portanto uma chave de repartição de matéria seca adaptada para tal finalidade. Devido aos freqüentes aumentos no preço do petróleo, existem pesquisas direcionadas para o álcool, um combustível alternativo para os derivados do petróleo. O álcool pode ser obtido através processamento de culturas como cana de açúcar e sorgo sacarino. Esse último tem sido objeto de estudo na Europa Ocidental como uma alternativa energética. O presente trabalho tem como objetivo ajustar a chave de repartição de matéria seca do modelo CERES-Sorghum, passando-o de modelo sorgo granífero para um modelo sorgo sacarino.

### 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) responsável pela coordenação dessa rede.

A rede "SWEET SORGHUM" teve como objetivo testar e adequar um modelo de simulação adaptado para a previsão da produtividade do sorgo sacarino. Para essa finalidade, realizou-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 e de observações fenométricas, meteorológicas e pedológicas podem ser obtidas em GOSSE (1992; 1994). Neste trabalho, os dados utilizados para o ajuste do modelo foram obtidos na França, na localidade de Grignon, nos anos de 1989 e 1991 e na Itália, em Ravenna nos anos de 1990 e 1991. Para o teste da nova versão, utilizou-se um conjunto de dados independentes, provenientes da Itália: Catania em 1993, Gaudiano em 1994 e Policoro em 1993; na Grécia: Thebes em 1994 e na França: Lusignan em 1990. 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 genéticos necessários encontram-se em MANTINEO et al. (1996).

O modelo de simulação utilizado foi CERES-Sorghum v. 2.1. A Figura 2 apresenta um fluxograma

resumido do funcionamento do modelo CERES-Sorghum v. 2.1, onde observa-se as entradas e saídas, bem como os três principais módulos do modelo: PHENOL, SGROSUB e WATBAL.

SOONTORNCHAINAKSAENG (1995) e JEGU (1994) aperfeiçoaram o módulo de desenvolvimento e crescimento do aparato foliar de CERES-Sorghum v.2.1. No caso do sorgo sacarino, a maior fração da parte aérea é constituída de colmos. Assim, procedeu-se o ajuste do modelo para a simulação da massa seca de colmos (MSC) e conseqüentemente, ajustando-o para a simulação da massa seca da parte aérea (MSA).

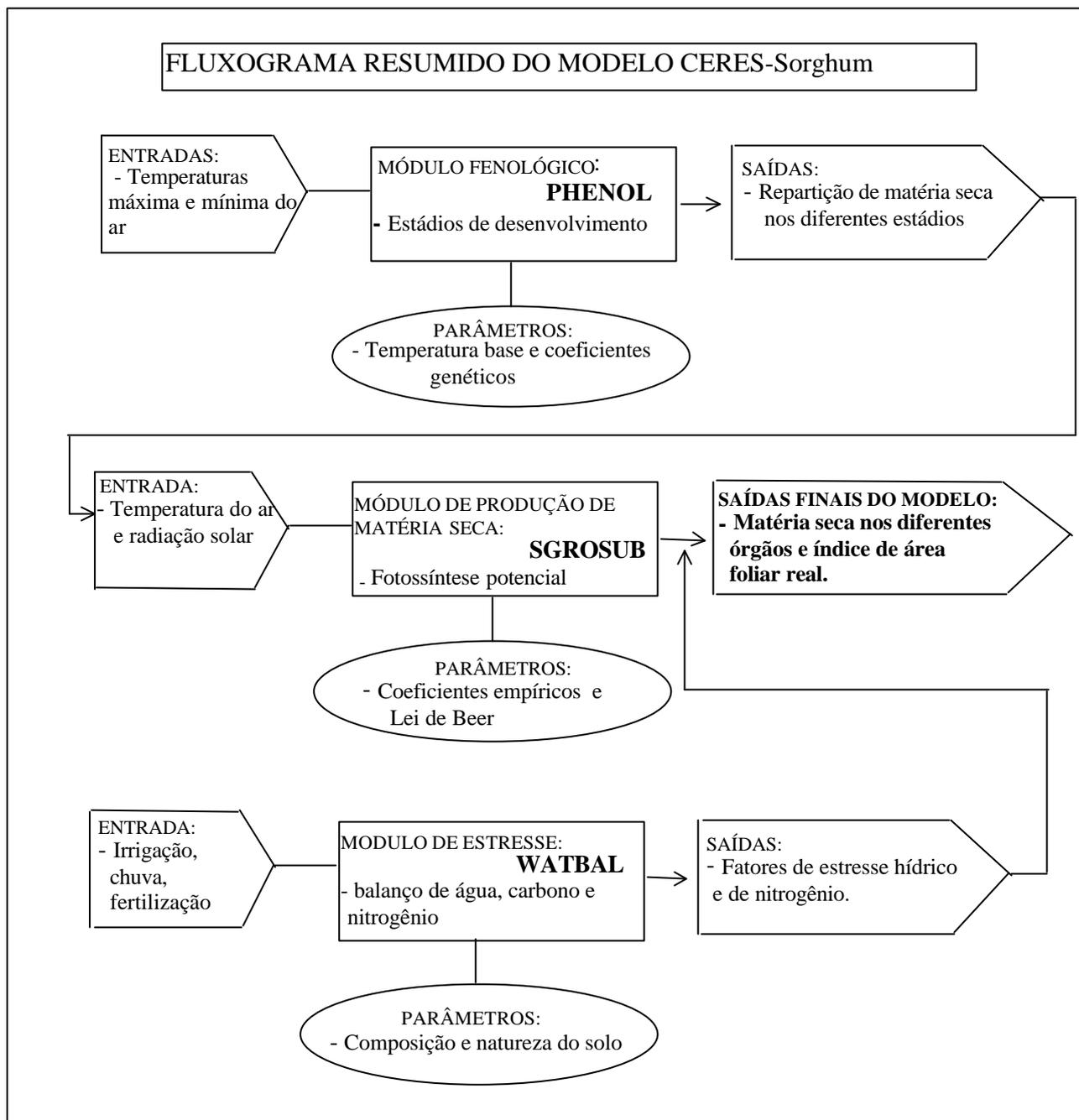
### Resultados e discussão

No processo de ajuste de CERES-Sorghum para um modelo sacarino, realizaram-se simulações preliminares com o modelo CERES-Sorghum original, as quais encontram-se na Figura 3. Nessa, observa-se que existe uma subestimativa na simulação do crescimento dos colmos, a qual ocorre devido a dois fatores: **i**) início do crescimento dos colmos e **ii**) uma menor quantidade de matéria seca dirigida para crescimento dos colmos.

Assim sendo, para o ajuste do modelo CERES-Sorghum utilizaram-se dados de matéria seca do colmo (MSC) provenientes de Ravenna e Grignon. Empregando-se os seguintes procedimentos para o ajuste do modelo:

**1)** No caso do genótipo Keller, o modelo CERES-Sorghum original somente inicia o crescimento dos colmos no estágio 2 ou seja após 540 graus-dia (GD) depois da emergência (Tabela 1). Porém na Figura 3, os dados evidenciam que o crescimento dos colmos ocorre muito antes daquele limite existente no modelo. Para determinar o início do crescimento dos colmos foram realizadas simulações com variações do modelo, modificando o início do crescimento dos colmos desde 150 até 450 GD, com um passo de 50 GD. A análise dessas simulações mostraram que o valor de 250 GD foi o mais adequado para o início do crescimento dos colmos. Assim, modificou-se o modelo CERES-Sorghum determinando o início do crescimento do colmo para 250 GD. Os dados da Figura 2 denotam que esse limite adotado foi o mais adequado.

**2)** Procedimento similar foi utilizado para melhorar a distribuição de matéria seca ao longo dos estádios de desenvolvimento. Analisou-se a distribuição de matéria seca no modelo original de CERES-Sorghum (Tabela 1). Após, realizaram-se variações na fração de distribuição da matéria seca do modelo, com pas-

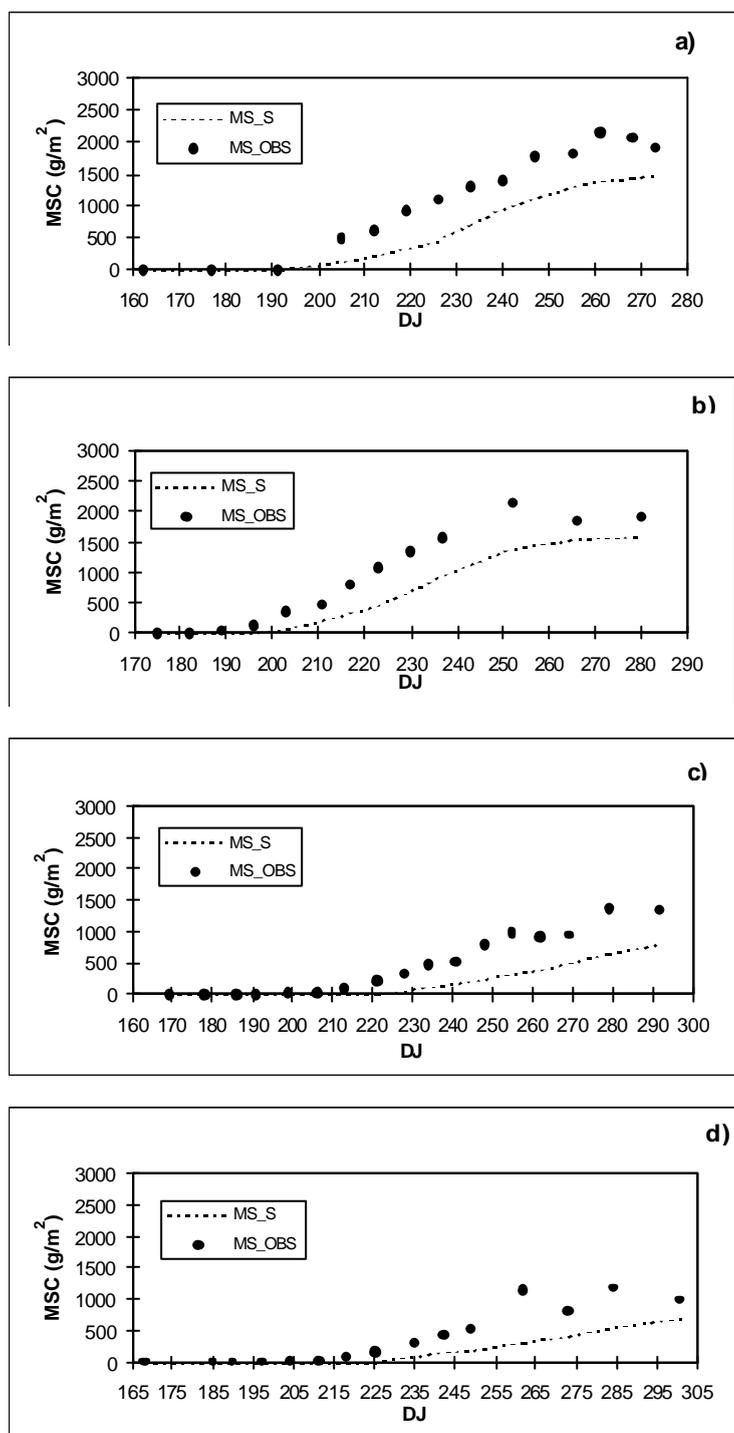


**Figura 2.** Fluxograma resumido do funcionamento do modelo CERES-Sorghum v. 2.1, de acordo com GABRIELLE (1993).

so de 5%, na distribuição de matéria seca para raízes e grãos, beneficiando-se a fração de matéria seca direcionada para o colmo, tal que os valores simulados aproximasse dos observados. Na Tabela 1, encontram-se as frações de distribuição de matéria seca da versão modificada de CERES-Sorghum, que permitiu uma distribuição mais adequada da matéria seca dirigida para o crescimento do colmo, sendo também representada pela Figura 4.

Após, os ajustes de início de crescimento de colmos e da redistribuição da matéria seca produzida, realizaram-se uma série de simulações com a nova versão de CERES-Sorghum, testando-a para a previsão da MSA do sorgo cv. Keller com um conjunto de dados independentes.

Na análise dos resultados, empregou-se a metodologia proposta por RITCHIE & ALAGARSWAMY (1989), a qual utiliza a análise



**Figura 3** Matéria seca do colmo (MSC) do sorgo sacarino cv. Keller. Evolução dos valores observados ( $_{OBS}$ ) e simulados ( $_{S}$ ) pelo Modelo CERES-Sorghum original ao longo dos dias após a semeadura (DAS) para as localidades Ravenna em 1990 (a) e 1991 (b) e Grignon em 1989 (c) e 1991 (d). DJ- dia juliano.

do coeficiente de determinação e da equação de regressão obtida a partir dos valores observados e simulados como parâmetro de análise do modelo. Nessa análise, o modelo realiza uma simulação adequada quando a comparação entre os valores observados e

simulados possuir tanto um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) quanto coeficiente angular mais próximos a unidade. Esse tipo de análise é o mais adequado que uma comparação entre as simulações da versão original e modificada do modelo CERES-Sorghum. Pois, o modelo CERES-Sorghum foi gerado para uma finalidade “tipo grão” e que foi modificada para uma versão “tipo colmo” adaptado ao sorgo sacarino. Desta forma, não seria adequado comparar modelos com finalidades diferentes.

Na Figura 5, observa-se que o modelo possibilita uma simulação adequada da MSA do sorgo sacarino. Isto pode ser constatado através da elevada concordância entre os valores observados e simulados, confirmada pelo alto valor do coeficiente  $R^2$  igual a 0,91, sendo portanto próximo a um. Assim, de acordo com esses dados, o modelo determina uma pequena subestimativa da MSA, pois o valor do coeficiente angular vale 0,947; entretanto, a reta da regressão encontra-se bastante próxima da linha 1:1, porém ligeiramente abaixo da mesma.

Constata-se, na Figura 5, que para valores abaixo de  $2000\text{g.m}^{-2}$  de MSA existe uma maior proximidade entre as simulações e observações do parâmetro em questão. Entretanto, essa relação possui uma maior dispersão para valores de MSA acima de  $2000\text{g.m}^{-2}$ , principalmente nos locais de Catania e Thebes.

De acordo com MEDEIROS (1997) em Thebes ocorreu problema com a irrigação, ficando a cultura em uma condição abaixo da potencial para as condições hídricas, pois, segundo o relatório experimental, nesse local houve um aporte hídrico (chuva + irrigação) de  $1,3\text{mm.dia}^{-1}$  desde a semeadura até 21 dias após a semeadura (DAS). Além disso, de 22 a 43 DAS, não ocorreu nenhum aporte d'água. Análise do relatório experimental desse local, também evidenciou que durante o ciclo houve a ocorrência de altas temperaturas do ar e elevada disponibilidade de radiação solar

global. Dessa forma, a evapotranspiração do sorgo não foi repostada adequadamente pelo aporte hídrico, sendo que esse déficit hídrico foi acentuado pelo tipo de solo arenoso (43% de areia) do local, determinando uma pequena reserva d'água para a cultura. Neste

**Tabela 1.** Coeficientes de repartição da matéria seca produzida durante os diferentes estádios de desenvolvimento para a versão original e modificada do modelo CERES-Sorghum v. 2.1.

Estádio**	Versão original				Versão modificada			
	Raízes	Folhas	Colmo	Grãos	Raízes	Folhas	Colmo	Grãos
1°	≥25	≤75	0	0	≥25	≤75	0	0
					≥25 ou saldo*	≤75 ou ≤60*	0 ou 40*	0
2°	≥25	≤75	saldo	0	10	≤85	5+saldo	0
3°	≥20	≤80	saldo	0	10	≤70	20+saldo	0
4°	8	0	92	0	4	0	96	0
5°	0	0	0	100	0	0	95	5

\* Esta chave de repartição inicia após uma soma de graus-dia igual a 250. Duas situações são previstas em função da produção de matéria seca produzida (MSP):

- 1- se existe suficiente MSP para o crescimento dos três órgãos: no máximo 40% da MSP é dirigida para os crescimento do colmo. A MSP destinada ao crescimento de folhas depende da expansão foliar, porém com um máximo 60%. Para o crescimento de raízes destina-se o saldo de MSP.
- 2- Caso contrário: o crescimento dos colmos é nulo. O crescimento de folhas depende da expansão, sendo destinada no máximo 75% da MSP. Para o crescimento das raízes destina-se ao máximo 25% da MSP. Neste caso manteve-se os coeficientes da versão Original.

\*\* Estádios: 1°= Emergência, 2°= final da fase juvenil, 3°= final do crescimento de folhas, 4°= início do enchimento de grãos, 5°= enchimento de grãos e maturação fisiológica.

caso, o emprego do modelo pode ajudar a identificar problemas ocorridos na condução de experimentos ou mesmo para identificar as aptidões potenciais de uma região para o cultivo do sorgo sacarino.

Para Catania, o relatório experimental não evidenciou uma explicação plausível que justificasse as diferenças encontradas entre os valores observado e simulados de MAS (Figura 5). Porém, supõe-se que possa existir uma eficiência de conversão de radiação solar global em matéria seca mais elevada para aquela localidade, pois segundo GOSSE (1992), o sorgo sacarino cultivado nas localidades situadas na região Mediterrânea possuem maior eficiência de conversão. Assim, cita-se três hipóteses prováveis para tal discordância: 1) o modelo simulou uma eficiência de conversão inferior aquela verificada na condição experimental, 2) a chave de repartição da matéria seca produzida não adapta-se as condições de Catania e 3) ocorreu erro experimental.

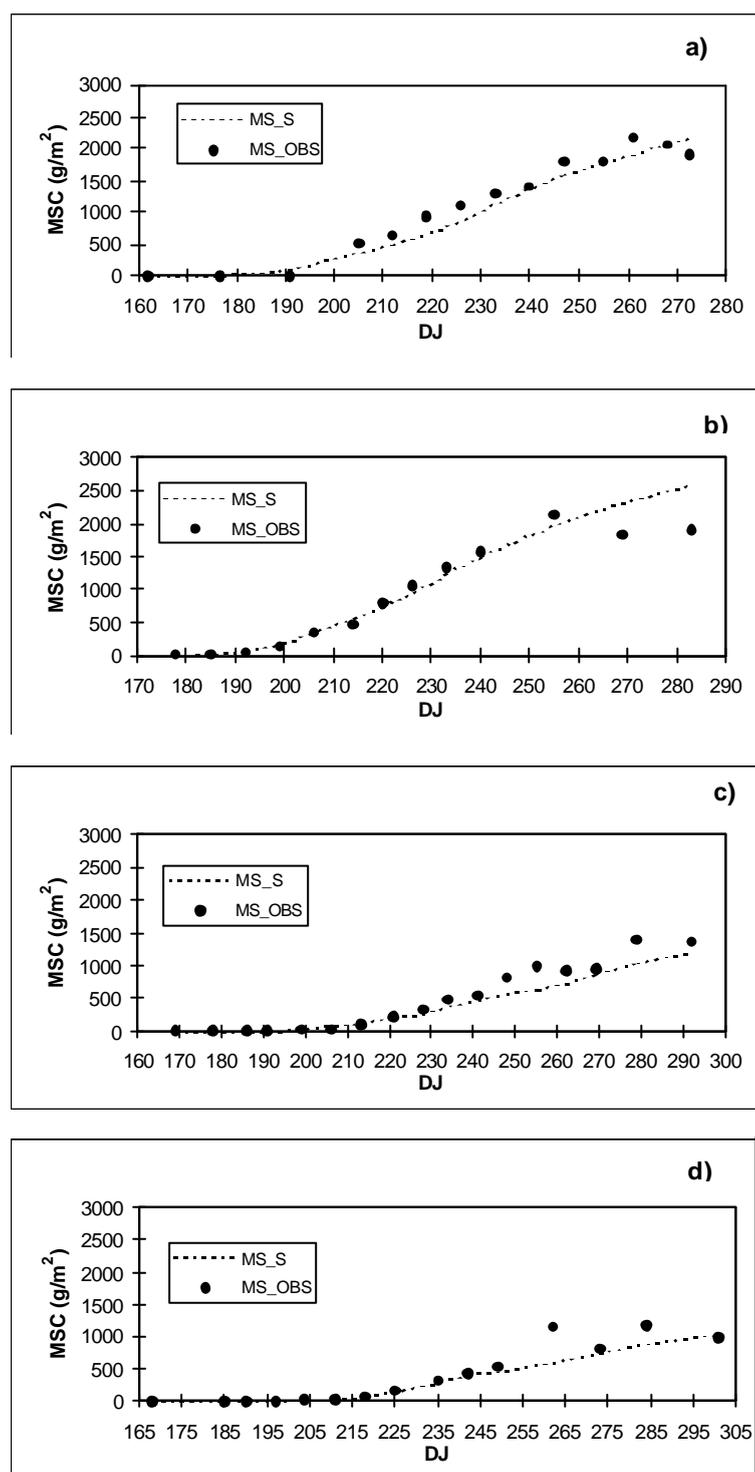
## Conclusões

As modificações efetuadas no modulo de repartição de matéria seca, do modelo CERES-Sorghum, conforme propostas no presente trabalho, evidenciam a possibilidade de se obter uma simulação mais adequada para a parte aérea do sorgo sacarino cv. Keller. Todavia, para confirmar-se a validade dessas alterações, seriam necessários novos testes do modelo modificado, utilizando-se amostras de locais,

caracterizados por variabilidades climáticas maiores do que as verificadas nos locais utilizadas no presente trabalho.

## Referências bibliográficas

- GABRIELLE, B. **Modélisation des bilans environnementaux (eau, carbone, azote) d'une culture. Cas du maïs: simulation à l'aide du modèle CERES-N Maïs.** Paris : INRA, 1993, 60 p. Mémoire (D.E.A. Energétiques), INRA-Station de Bioclimatologie, Centre de Recherche Grignon-Massy-Paris. 1993.
- 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. "BIOMAS FOR ENERGY ENVIRONMENT AGRICULTURE AND INDUSTRY". CHARTIER, Ph., BEENACKERS, A.A.C.M., GRASSI, G. (eds). Proceedings of 8th E.C. Conference. Vienna, Austria, 3-5 October, 1994. p. 322-331. 1994. 460 p.
- IBSNAT. **Decision support system for agrotechnology transfer V.2.1 (DSSAT V2.1).** 1ª ed. Honolulu : Univ. of Hawaii, 1989. 130 p.



**Figura 4.** Matéria seca do colmo (MSC) do sorgo sacarino cv. Keller. Evolução dos valores observados (\_OBS) e simulados (\_S) pelo Modelo CERES-Sorghum modificado ao longo dos dias após a semeadura (DAS) para as localidades de Ravenna em 1990 (a) e 1991 (b) e Grignon em 1989 (c) e 1991 (d). DJ- dia juliano.

EGU S. **Modification d'un modèle dynamique de simulation de la productivité d'un couvert végétal (Ceres Sorgho)**. Paris : Institut National de la Recherche Agronomique, 1994, 75 p. Mémoire (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.

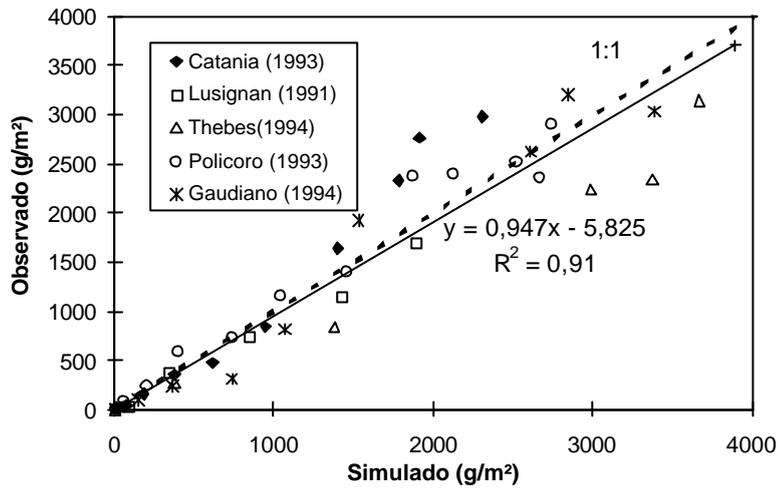
MEDEIROS, S.L.P. **Modifications et developement d'un nouveau module de contrainte hydrique dans le modèle CERES-Sorghum sucrier**. Paris : INAPG 1997. 154 p. Thèse (Doctorat de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon). Institut National de la Recherche Agronomique, 1997.

RAMU, S.V., PALANIAPPAN, S.P., PANCHANATHAN, R.M.. Growth and dry matter partitioning of sorghum under moisture stress conditions. **J.Agronomy & Crop Science**, New Dheli, v. 166, p. 273-277, 1991.

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).

SIVAKUMAR, M.V.K., SEETHARAMA, N., SINGH, S et al. Water relations, growth, and dry matter accumulation of sorghum under post-rainy season conditions. **Agronomy. Journal.**, Madison, v. 71, p. 843-847, 1989.

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.



**Figura 5.** Valores observados e simulados da matéria seca da parte aérea (MSA) do sorgo para as localidades de Lusignan (1991), Catania (1993), Policoro (1993), Gaudio (1994) e Thebes (1994).

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)).