

MARCOS ANTONIO VANDERLEI SILVA

**INTERAÇÕES ENTRE MICROCLIMA, PARÂMETROS DE CRESCIMENTO
DA PLANTA E INFORMAÇÕES ESPECTRAIS EM CULTIVO DE MILHO
IRRIGADO SOB PLANTIO DIRETO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2009

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S586i
2009

Silva, Marcos Antonio Vanderlei, 1966-

Interações entre microclima, parâmetros de crescimento da planta e informações espectrais em cultivo de milho irrigado sob plantio direto / Marcos Antonio Vanderlei Silva. – Viçosa, MG, 2009.

xvi, 105f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: José Maria Nogueira da Costa.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Microclimatologia. 2. Milho - Crescimento - Análise. 3. Milho - Fatores climáticos. 4. Radiação solar. 5. Radiação solar. 5. Milho - Efeito da temperatura. 6. Vegetação. 7. Milho - Sensoriamento remoto. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 551.66

MARCOS ANTONIO VANDERLEI SILVA


**INTERAÇÕES ENTRE MICROCLIMA, PARÂMETROS DE CRESCIMENTO
DA PLANTA E INFORMAÇÕES ESPECTRAIS EM CULTIVO DE MILHO
IRRIGADO SOB PLANTIO DIRETO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.


APROVADA: 31 de julho de 2009.



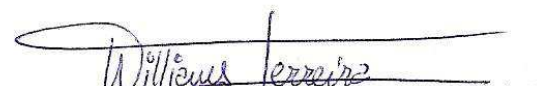
Marcelo Cid de Amorim




Ricardo Augusto Lopes Brito



Antonio José Steidle Neto



Williams Pinto Marques Ferreira
(Coorientador)



José Maria Nogueira da Costa
(Orientador)

A Deus, pela Salvação e pela Esperança do Reino....

"Tenho saudade de TI (DEUS), saudades de uma praia onde eu nunca estive, saudades do céu, saudades dos anjos e dos santos, saudades da consumação dos séculos, saudades da plenitude da salvação. Deixe-me perguntar-te: ainda é longe a Canaã? (Elben César)

À minha esposa, Isabélia Márcia Vanderlei,
por INÚMEROS MOTIVOS (responsabilidade, perdão, compreensão,
paciência, maestria nos bastidores, postura firme etc.),
mas principalmente pelo AMOR dedicado!!!

Aos meus filhos (minha herança),
Valcívrio Francisco III e Júlia Raabe, pela inocência, carinho, força e
efetivamente pelos beijos nas saídas e nas chegadas do nosso lar
(que fizeram as minhas forças renovarem).

Aos meus pais Valcívrio Silva (*in memoriam*) e Fernandina Vanderlei Silva,
por terem sido incentivadores, amorosos, e, como todos os pais:
POR NUNCA DEIXAREM DE ACREDITAR na minha capacidade.

DEDICO! Profundamente!

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. José Maria Nogueira da Costa: mais que orientador, é para mim um exemplo.

Ao Dr. Williams Pinto Marques Ferreira: por ser meu amigo, e por assim ser, fez da coorientação uma motivação para me conduzir de forma mais contundente, sem fugir do caráter técnico, e menos entediante.

Ao Dr. Bernardo Silva que, apesar das limitações do tempo e da geografia, me ORIENTOU, e me deixou mais tranquilo face os desafios do SEBAL.

Ao Dr. Luis Marcelo Aguiar Sans, pela contribuição relevante das informações do milho e suas relações com a meteorologia.

À UNEB, por entender que uma Universidade se faz com pessoas qualificadas. Obrigado pela liberação e pelo sustento.

À UFV, através do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de estudar numa das melhores Universidades do país.

À EMBRAPA, pela logística para execução do ensaio experimental

Aos pesquisadores da EMBRAPA Milho e Sorgo, Flávio, Gomide, Ricardo Brito, Jason, Walter, Maurílio, Daniel, por cada um, na sua área, ter contribuído significativamente para a construção deste trabalho. Podem crer... aprendemos MUITO

Aos professores Sérgio Zolnier, Aristides Ribeiro, Flávio Justino, Gilberto Sedyama (grande incentivador), Luiz Cláudio (hoje Reitor, mas ontem meu professor), Jadir (muitos conhecimentos e humildade), por saberem motivar e ter capacidade técnica.

Aos colegas da Meteorologia Agrícola Antonio, Davi, Rafael Coll, Leo Rondon, Léo Gordo, Ricardo Guimarães, Ranieri (por onde você anda velho??), Marcelo Cid (que está contribuindo neste final), Paulo Jorge, Stefeson (Estatística “cum” força!!), Chris, Graciele (Polaca) etc., pelos vários dias que culminaram na data da defesa. ... Esses dias foram munidos de tudo: desde a hegemonia do Fluminense em 2008 até o futuro das mudanças climáticas.

A Thieres (de aluno a professor), Evandro (os eventos ainda terão nossa contribuição), Evaldo (o Win de Viçosa!!!), Vanda Andrade (o CO₂ existe e dá trabalho entendê-lo), Cláudio Meira (irmanado da UNEB), Gustavo D’Angiolella (sempre pronto para ajudar), por traçarem uma jornada na Meteorologia que me fizeram acreditar mais e mais no trabalho científico... e claro nos verdadeiros valores da co-autoria.

Aos meus irmãos Carla, Lea, Júnior e Paulo Antônio (CUCA) e aos meus primos Billy, Moisés, Gamaliel, Marcus (lá em Bonfim), Mirian, Cordélia, Meire, Paurílio, porque, mesmo de longe, do jeito de cada um, sempre estiveram torcendo por mim

À família Figueira, por estarem na hora certa e no local certo, quando precisamos.

Aos amigos Cláudio, Marisa, Gene, Alcilene, Vilma, D. Ducarmo, Sr. Antônio e Cecília, por continuamente compreenderem que a amizade é sinal de Cristo.

Ao “povo” do Campus IX da UNEB: Rita, Zênia, George Nathan, Neide e Vaneide, pela amizade, pelo profissionalismo e pela fidelidade... tudo isso foi feito divinamente.

Ao “povo” de Sr. TIQUIM, por simplesmente se encaixar como minha família.

A Múcio, Paulo, Barão e Ademilson: quanto trabalho... mas valeu a pena (claro... pois “as almas não foram pequenas”!!¹).

À ABU (Wilde, Grazi, Lissander, Keila, Leci, Nívio, Maurício, Kléibe, Lívia e os demais... e os que irão chegar), pela oração, pelos bons momentos e pelo compartilhamento da palavra da vida.

À Tia Leontina e família: puxa, quanto amor me passaram, mesmo sem saber.

À Associação de Empregados da EMBRAPA, na pessoa do Cláudio: foi muito importante na minha manutenção em *SEVEN LAKE CITY*, para realização do trabalho em campo.

Às famílias do Clévio e Sheila, do Edson da segunda divisão, do irmão Lucas, do Toninho, do Antony, do Glicério, do Paulo Cesar e da Francis e Demervier, por estabelecerem vínculos importantes de cunho espiritual e social.

Aos amigos do CNPMS, Tales, Fernanda, Samira, Lidi e Ararinha, pelo convívio e amizade... pelas batalhas técnicas (e não pode faltar), pois nos edificou e afetou o presente trabalho

Aos funcionários do DEA, Graça (grande ajudadora!), Edna (dos velhos anos 90) e Galinari (para toda obra), pois se eles não estivessem no DEA, o que seria de mim?

À Primeira Igreja Batista: sem comentários... muito abençoou a mim e a minha família

A Cristoval, Risélia, Maria Neuma, Lauri, Nogueira, Amanda, pois aceitaram serem meus amigos, incondicionalmente, e estabeleceram esse elo maravilhoso que valeu durante o tempo de batalha.

Aos Gideões Internacionais no BRASIL (Campo 170), por insistirem em oração e camaradagem.

Aos professores da UNEB, Nilza, Edson, Cosme, Ana Jovina, Sérgio e João Luís, pelo apoio, mesmo de longe.

Ao irmão Valdemar que, por providência Divina, foi ferramenta inicial dessa história.

¹ Parafrazeando o Fernando Pessoa.

A palavra de Deus é sempre renovada... aqui está ela de novo em 2009: “É claro, irmãos, que eu não penso que já consegui me tornar perfeito. Porém uma coisa faço: esqueço aquilo que fica para trás e avanço para o que está em minha frente, corro direto para a meta a fim de conseguir o prêmio da vitória. Esse prêmio é a nova para qual Deus me chamou por meio de JESUS!!” (Filipenses 3:12-14).

SÓ ISSO QUE EU QUERO!!!

BIOGRAFIA

MARCOS ANTONIO VANDERLEI SILVA, filho de ValcÍrio Silva e Fernandina Vanderlei Silva, nasceu em Paulo Afonso, BA, em 7 de setembro de 1966.

Iniciou o Curso de Engenharia Agronômica no Centro de Ciências Agrárias da UFPB em 1986, concluindo-o em 1990. No período de 1994 a 2001, foi pesquisador na EBDA (Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola) e, desde junho de 2001, é professor do Curso de Agronomia da UNEB (Universidade do Estado da Bahia), Campus IX, em Barreiras, BA.

Na UFV ingressou no curso de Mestrado em Meteorologia Agrícola no segundo semestre de 1991, defendendo a dissertação em 24 de junho de 1994. Iniciou o Doutorado em Meteorologia Agrícola no segundo semestre de 2005, concluindo-o em julho de 2009.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiv
INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO 1 – INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES MICROCLIMÁTICAS NO CRESCIMENTO DO MILHO BR 106, CULTIVADO SOB PLANTIO DIRETO	5
1. INTRODUÇÃO	7
2. MATERIAL E MÉTODOS	10
2.1. Caracterização do local e da área experimental	10
2.2. Solo	11
2.3. Genótipo empregado	12
2.4. Condução do experimento	13
2.4.1. Preparo do solo, semeadura e adubação	13
2.4.2. Tratos culturais e irrigação	14
2.4.3. Colheita	14

	Página
2.5. Medição e sistema de aquisição de dados	15
2.5.1. Coleta de dados climáticos	15
2.5.2. Sistema de medição de fluxos – EDISOL	16
2.6. Análise de crescimento vegetal	17
2.7. Graus-dia	21
2.8. Potencial do vapor d'água do ar atmosférico (ψ_{vapor})	21
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
3.1. Comportamento das variáveis meteorológicas durante o período experimental	24
3.2. Análise de crescimento e variáveis meteorológicas	30
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
CAPÍTULO 2 – INTER-RELAÇÃO DAS VARIÁVEIS MICROMETEOROLÓGICAS NO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO MILHO BR 106	48
1. INTRODUÇÃO	49
2. MATERIAL E MÉTODOS	51
2.1. Cálculo das variáveis de interação entre o dossel e o microclima	52
2.1.1. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada	52
2.1.2. Condutância estomática (CE)	52
2.1.3. Coeficiente fototérmico (CF)	53
2.1.4. Unidade fototérmica	53
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
3.1. Crescimento e temperatura	54
3.2. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em biomassa	56

	Página
3.3. Associação entre parâmetros da planta e variáveis meteorológicas medidas no microclima do dossel	60
3.4. Associação entre variáveis meteorológicas e variáveis de intercâmbio gasoso	65
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
CAPÍTULO 3 – ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR E DA PRODUÇÃO DA BIOMASSA DA CULTURA DO MILHO OBTIDAS MEDIANTE ÍNDICES ESPECTRAIS	71
1. INTRODUÇÃO	72
2. MATERIAL E MÉTODOS	76
2.1. Área experimental e coleta de dados	76
2.2. Processamento dos produtos MOD09GQ e MOD13Q1	77
2.3. Produção da biomassa (MSa)	81
2.4. Avaliação das estimativas de MSa	82
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
CONCLUSÕES GERAIS	95
REFERÊNCIAS	97

RESUMO

SILVA, Marcos Antonio Vanderlei, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2009. **Interações entre microclima, parâmetros de crescimento da planta e informações espectrais em cultivo de milho irrigado sob plantio direto.** Orientador: José Maria Nogueira da Costa. Coorientadores: Bernardo Barbosa da Silva e Williams Pinto Marques Ferreira.

Em função do valor nutritivo o milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais difundidos no mundo, assumindo grande importância social e econômica. No Brasil, com cerca de 14 milhões de hectares cultivados, é a cultura mais largamente plantada, representando 30% da área agrícola do país. A produtividade média de grãos de milho no Brasil e no Estado de Minas Gerais é da ordem de 3.652 kg.ha⁻¹ e 4.341 kg.ha⁻¹, respectivamente, valores muito abaixo do desejado, considerando o seu potencial produtivo, que, com a utilização de alto nível tecnológico, ultrapassa 16.000 kg.ha⁻¹. Todavia, a cultura do milho vem experimentando importantes avanços nos mais diversos campos da ciência agrônoma, possibilitando melhor compreensão do processo produtivo e de suas interações com o meio, o que tem gerado aumentos significativos na produtividade. Apesar da complexidade do sistema de produção, a agricultura visa compreendê-lo para obter o máximo de produtividade das culturas. No entanto, para se obter sucesso, são necessários

o conhecimento e o entendimento dos fatores que afetam a fisiologia e, conseqüentemente, a produtividade das plantas. A partir dessas proposições, o presente trabalho teve como objetivo principal estudar o comportamento dos indicadores ecofisiológicos em diferentes estádios do milho, cultivado sob plantio direto, em função das variáveis microclimáticas e de índices espectrais, na caracterização do micro clima da cultura, bem como avaliar as estimativas da biomassa baseada nesses índices. O experimento foi conduzido na área experimental da EMBRAPA Milho e Sorgo em Sete Lagoas-MG, com a variedade BR 106, cultivado sob plantio direto. Para balizar o processo analítico da análise quantitativa de crescimento os estádios fenológicos foram divididos em quatro períodos: P1 (emergência-8 folhas); P2 (12 folhas-Florescimento); P3 (Embonecamento-Formação de bolha d'água) e P4 (Grão leitoso-Maturação Fisiológica). O crescimento do BR 106 foi afetado pelas variações do microclima do dossel, que foram caracterizadas por grandes períodos de nebulosidade, diminuição do potencial de vapor na atmosfera e oscilações no conteúdo de energia, principalmente luz e temperatura do ar, contribuindo para que os valores máximos dos principais atributos ecofisiológicos de crescimento fossem observados no P2. Contudo a senescência das folhas do terço médio inferior, mais expressiva na transição do P2 para o P3, aumentou a RAF (razão da área foliar) e a AFE (área foliar específica), além de reduzir a RMF (razão da massa foliar), dependentes do IAF (índice de área foliar), da TCC (taxa de crescimento da cultura) e da TAL (taxa de assimilação líquida), que induziram a uma queda de 13 % na assimilação do CO₂, ao longo do período reprodutivo. Esse comportamento das taxas e índices não afetou o rendimento final de grãos do BR 106 que apresentou um valor próximo do potencial. O acúmulo da RFAI (radiação fotossinteticamente ativa interceptada) teve relação satisfatória com a produção da biomassa seca aérea acumulada e pode ser um parâmetro adequado para quantificar a produção de biomassa do milho BR 106, utilizando o coeficiente "α". As respostas morfofisiológicas e fisiológicas em relação às variáveis ambientais, em termos de crescimento, tiveram fortes correlações e foram comprovadas pelas associações intergrupos estabelecidas pela correlação canônica. O uso da estimativa da condutância foliar em função da RFA (radiação fotossinteticamente ativa), indicador de interação gasosa, pode ser importante no monitoramento do crescimento do

BR 106, pois informou seu comportamento por meio da análise correlação com fatores ambientais como luz, CO₂ e temperatura e DPV (déficit de pressão de vapor). Por fim, as estimativa da MSa (matéria seca aérea) por meio do modelo de *Monteith*, considerando os índices de vegetação obtidos a partir da relação com o IAF, quando avaliadas por meio dos índices estatísticos apresentaram boa precisão e boa exatidão de acordo com o modelo de concordância de *Willmott*. Considerando o índice “c” de confiança, os resultados para a MSa estimada pelo NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* e SAVI (índice de vegetação ajustado ao solo), utilizando as banda 1 e 2 do produto MOD09GQ, mostraram desempenho, dentro do critério “bom”, sendo, portanto, aplicável para uso de simulação de crescimento de culturas do milho, que tenham como variável de entrada o IAF, para as condições de clima, manejo e umidade estudados.

ABSTRACT

SILVA, Marcos Antonio Vanderlei, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2009. **Interactions between microclimate, plant growth parameters and spectral information in maize crop cultivated under no-tillage.** Adviser: José Maria Nogueira da Costa. Co-advisers: Bernardo Barbosa da Silva and Williams Pinto Marques Ferreira.

By the nutritive value, the maize (*Zea mays* L.) is one of the most widespread grain in the world, with great social and economic importance. In Brazil, about 14 million hectares, is the most widely planted crop, representing 30% of the agricultural area of the country. The yield of grains in Brazil and in Minas Gerais State is around 3652 kg ha⁻¹ and 4341 kg ha⁻¹, respectively, well below the desired values, considering its production potential, which, with the use of high technology, beyond 16,000 kg ha⁻¹. However, the corn crop is experiencing significant advances in several fields of science agronomic, enabling better understanding of the production process and its interactions with the environment, which has generated significant increases in productivity. Despite of complexity of the production system, agriculture seeks to understand it to maximize the productivity of crops. However, to succeed, they require knowledge and understanding of the factors that affect the physiology and hence the productivity of plants. From these propositions, this paper aimed to study the behavior of ecophysiological indicators at different stages of corn

grown under no-till depending on the microclimatic variables and spectral indices, characterizing the micro climate of the culture, and assess biomass estimates based on these indices. The experiment was conducted at the experimental area of Embrapa Milho e Sorgo in Sete Lagoas-MG, with the variety BR 106, grown under no-tillage. To mark out the analytical process of growth quantitative analysis of the phenological stages were divided into four periods: P1 (emergency-8 sheets), P2 (12-leaf Flowering), P3 (dolly bubble formation water) and P4 (Grand milky-Physiological Maturation). The growth of the BR 106 was affected by changes in the microclimate of the canopy, which were characterized by extended periods of cloudiness, reducing the potential for vapor in the atmosphere and fluctuations in the energy, especially light and air temperature, thereby ensuring that the maximum the main attributes ecofiological growth were observed in P2. However, the senescence of leaves below the middle third, more significant in the transition from P2 to P3, increased RAF (leaf area ratio) and SLA (specific leaf area) and reduce the RLM (ratio leaf matter) dependent LAI (leaf area index), CGR (crop growth rate) and NAR (net assimilation rate), which led to a 13% decrease in the assimilation of CO₂ over the reproductive period. This behavior of the ratings and did not affect the grain yield of the BR 106 that had a value close to potential. The accumulation of PARI (photosynthetic active radiation intercepted) had satisfactory relationship with biomass production and accumulated dry matter air can be a suitable parameter to quantify the biomass production of BR 106, using the coefficient "α". The responses morpho-physiological and physiological in relation to environmental variables, in terms of growth, and strong correlations have been proven by the associations between groups established by canonical correlation. Using the estimate of leaf conductance as a function of PAR (photosynthetic active radiation), an indicator of gas interaction may be important in monitoring the growth of the BR 106, as reported behavior by analyzing correlation with environmental factors such as light, CO₂ and temperature and VPD (vapor pressure deficit). Finally, the estimate of DMA (dry matter aerea) through the Monteith model, considering the vegetation indices derived from the relationship with the IAF, when evaluated through statistical indices showed good precision and good accuracy according to model agreement Willmott. Whereas the index "c" of confidence, the results

for the MSA estimated by NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and SAVI (vegetation index adjusted for soil), using the band 1 and 2 of the product MOD09GQ showed performance within the criteria of "good" and is therefore applicable for use in simulation growth of corn, which have as input for the IAF, to climatic conditions, moisture and management studied.

INTRODUÇÃO GERAL

No Brasil, o milho é cultivado em todas as regiões geográficas com área plantada superior a 13,9 milhões de hectares, representando aproximadamente 30% da área agrícola do país (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2009). A produtividade média de grãos de milho no Brasil e no estado de Minas Gerais é da ordem de 3.652 kg.ha⁻¹ e 4.341 kg.ha⁻¹, respectivamente, valores muito abaixo do desejado, considerando o seu potencial produtivo, que com a utilização de alto nível tecnológico, ultrapassa 16.000 kg.ha⁻¹ (COELHO et al., 2003). Todavia, o milho é uma das culturas que mais tem experimentado importantes avanços nos mais diversos campos da ciência agrônoma, possibilitando melhor compreensão do seu processo produtivo e de suas interações com o meio onde está inserido, o que tem gerado aumentos significativos na sua produtividade. O clima é o fator que oferece os maiores desafios para o correto manejo da cultura, uma vez que os demais fatores já possuem um razoável acervo de resultados de pesquisa. Para que haja crescimento e desenvolvimento das plantas, é necessário que os aspectos do clima, tais como temperatura média do ar (diurna e noturna), precipitação e radiação solar estejam de acordo com as exigências da cultura (FANCELLI; DOURADO-NETO, 2000).

A capacidade da planta em produzir a biomassa seca está diretamente relacionada com a quantidade de energia luminosa disponível e com a capacidade de aproveitamento dessa energia (COSTA, 1997). A radiação solar

interceptada por um cultivo e o balanço de radiação na cultura, desempenham um papel fundamental no microclima em que as plantas crescem, determinando a energia disponível para os processos fisiológicos associados com a produção de biomassa.

A produção de grãos, o número total de folhas na planta e o aparecimento das inflorescências masculinas e femininas são afetados pela radiação solar e temperatura. O milho, por ser uma planta C4, apresenta características fisiológicas favoráveis no que se refere à eficiência de conversão do carbono mineral (representado pelo gás carbônico da atmosfera) em compostos orgânicos como carboidratos.

A eficiência de utilização da radiação pelas culturas é considerada baixa, já que a fotossíntese depende da área foliar, logo, o rendimento da cultura é maior quanto mais rápido a planta atingir o índice de área foliar (IAF) máximo assim como quanto mais tempo a área foliar permanecer ativa (PEREIRA; MACHADO, 1987). O IAF é uma das principais características dos dosséis e está relacionado com vários processos fisiológicos da planta podendo ser considerado o parâmetro agrônomo que melhor se relaciona com a reflectância de uma cobertura vegetal (SOARES et al., 2001).

Segundo Ponzoni (1993), pelo fato de a reflectância espectral ser ainda a propriedade mais explorada nas pesquisas em sensoriamento remoto dos recursos naturais, esse monitoramento pode ser realizado pelo acompanhamento da dinâmica da mesma. Por este motivo, ainda segundo este autor, têm sido desenvolvidos modelos de reflectância da vegetação, que tentam estabelecer uma conexão lógica entre os parâmetros biofísicos dos dosséis (Índice de Área Foliar – IAF, entre outros), com suas reflectâncias espectrais. Neste sentido a integração do sensoriamento remoto permitiria a obtenção de informações precisas, em tempo hábil e com reduzida relação custo/benefício sobre a extensão, as condições de desenvolvimento e o potencial de produção de culturas. Podem, também, servir como importante apoio na análise de consistência dos dados levantados pela metodologia convencional.

Um dos produtos de sensoriamento remoto orbital que tem sido muito utilizado no monitoramento do calendário agrícola e previsão de safras é o índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN, ou mais freqüentemente

NDVI – *Normalized DifferenceVegetation Index*) determinado a partir da razão entre a diferença e a soma das reflectâncias nas bandas do visível e do infravermelho próximo. Este índice, proposto por Rouse et al. (1973), tem, em geral, associação direta com algumas variáveis agronômicas como altura de planta, índice de área foliar, matéria seca, grau de cobertura do solo e interceptação de radiação solar, entre outros (ANTUNES et al., 1993; FONSECA, 2000).

Em estudos de monitoramento do crescimento vegetal, freqüentemente é buscado o estabelecimento de relações entre o padrão de evolução do crescimento das plantas ao longo do tempo com o padrão de evolução temporal do NDVI. Vários trabalhos realizados no Brasil nesta linha apresentaram resultados bastante promissores, tais como o de Fontana et al. (1998) que mostraram a possibilidade de monitoramento da evolução temporal da cobertura vegetal no Estado do Rio Grande do Sul. Schroeder et al. (1999) analisaram os perfis temporais do NDVI de alguns tipos de vegetação na região nordeste do Brasil. Fontana et al. (2000) que analisaram o comportamento do NDVI obtido de imagens NOAA sobre lavouras de soja no Rio Grande do Sul e Paraná, evidenciando as diferenças de manejo e de condições de crescimento entre os dois Estados.

Pelo exposto, apesar do elevado potencial produtivo, o milho apresenta acentuada sensibilidade a estresses bióticos e abióticos, fazendo com que seu cultivo exija rigoroso planejamento e manejo, a fim de buscar a manifestação da sua máxima capacidade produtiva. Assim sendo, a produtividade do milho depende diretamente da relação intrínseca estabelecida entre a planta e o ambiente físico em que se encontra com ênfase na temperatura, luz, e disponibilidade hídrica, o que determina a adaptação de diferentes genótipos nos diferentes ambientes, em função do manejo adotado (PALHARES, 2003). Especificamente, o milho BR 106, que está sendo estudado nesta pesquisa, desde o seu lançamento comercial em 1985, vem sendo geneticamente melhorado a cada ano, por meio de ciclos de seleção, que proporcionam ganhos em uniformização de plantas, empalhamento de espigas e principalmente, produtividade de grãos (NOCE, 2004).

O presente trabalho objetiva estudar o comportamento dos indicadores ecofisiológicos em diferentes estádios do milho, cultivado sob plantio direto, em

função das variáveis microclimáticas e de índices espectrais, na caracterização do microclima da cultura, e avaliar as estimativas da produção de biomassa baseada nesses índices.

Especificamente, pretende-se:

- Analisar a variação dos parâmetros biométricos, produção de biomassa e índices fisiológicos nos diferentes estádios da cultura do milho, os relacionando com as medições micrometeorológicas;
- Avaliar os efeitos das variáveis microclimáticas sobre as características biométricas, índices e taxas de crescimento do BR 106, bem como correlacionar a variação dessas na assimilação do CO₂.
- Avaliar a mútua dependência entre o comportamento de índices espectrais do dossel do milho e o IAF, bem como estimar a produção de biomassa, ao longo do ciclo fenológico da cultura, com base nessa dependência.

CAPÍTULO 1

INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES MICROCLIMÁTICAS NO CRESCIMENTO DO MILHO BR 106, CULTIVADO SOB PLANTIO DIRETO

RESUMO: Foi desenvolvida uma pesquisa no CNPMS (Embrapa), Sete Lagoas-MG, com a variedade de milho BR 106, objetivando quantificar a influência das variáveis micrometeorológicas no crescimento e desenvolvimento, em um dossel cultivado sob plantio direto. A pesquisa foi desenvolvida em um *pivot* de 38 ha no CNPMS (Embrapa), Sete Lagoas-MG, utilizando a variedade de milho BR 106. A semeadura foi realizada no dia 03/10/2008, com um espaçamento de 0,20m entre plantas, e 0,70m entre linhas, com uma densidade final de aproximadamente 55.000 plantas por hectare. A irrigação foi realizada sempre que necessária para manter a umidade do solo. No limiar entre os quadrantes Nordeste e Sudeste do *pivot*, foi instalada uma torre micrometeorológica de 4 m. Os elementos meteorológicos temperatura, umidade do ar, velocidade do vento, saldo de radiação solar, radiação fotossinteticamente ativa, fluxo calor no solo e temperatura do solo, foram coletados por um *datalogger*, a partir de uma estação meteorológica automática, instalada na torre. Os fluxos de CO₂ foram medidos acima do dossel por meio de um sistema que compõe um anemômetro sônico tridimensional. Foram realizadas coletas em intervalos de 8 dias com a finalidade de avaliar a área foliar e acúmulo de biomassa pelas partes da planta, durante todo o seu ciclo. Para balizar o processo analítico da análise quantitativa de crescimento os estádios fenológicos foram divididos em quatro períodos: P1 (emergência-8 folhas); P2 (12 folhas-Florescimento); P3 (Embonecamento-Formação de bolha d'água) e P4 (Grão leitoso-Maturação Fisiológica). A produtividade biológica total para o BR 106 foi de 1.753 g.m⁻², alcançada com uma exigência térmica de 1.674 GD (graus-dias) para atingir um ciclo de 120 dias. As variações da TCC (taxa de crescimento da cultura) seguiu o IAF máximo, com o patamar de 20,85 g.m⁻².dia, no P2. Neste período o total diurno médio do fluxo de CO₂ foi de 6,61 μmol.m⁻².s⁻¹.com uma TAL

(taxa de assimilação líquida) média de $6,39 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. O crescimento do BR 106 foi afetado pelas variações do microclima do dossel, com grandes períodos de nebulosidade, diminuição do potencial de vapor na atmosfera e maior conteúdo de energia, principalmente luz e temperatura do ar, contribuindo para os valores máximos dos atributos de crescimento se apresentassem no P2. Contudo a senescência das folhas do terço médio inferior, mais expressiva na transição do P2 para o P3, aumentou a RAF e a AFE, além de reduzir a RMF, dependentes do IAF, da TCC e da TAL, que induziram a uma queda de 13% na assimilação do CO_2 , ao longo do período reprodutivo. Esse comportamento das taxas e índices não afetou o rendimento final da variedade que apresentou um valor próximo do potencial

Palavras-chave: Taxa de crescimento da cultura; Índice de área foliar; Micrometeorologia.

INFLUENCE OF MICROCLIMATIC CONDITIONS IN GROWTH ANALYSIS OF MAIZE BR 106, CULTIVATED UNDER NO-TILLAGE

ABSTRACT: It was been research in CNPMS (Embrapa), Sete Lagoas-MG, with the maize variety BR 106, to quantify the influence of micrometeorological variables on growth and development in a crop canopy under tillage. The research was conducted on a pivot of 38 ha in CNPMS (Embrapa), Sete Lagoas-MG, using the maize variety BR 106. Sowing was done on 03/10/2008 with a spacing of 0.20 m between plants, and 0.70 m between rows, with a final density of approximately 55,000 plants per hectare. The irrigation was performed whenever necessary to maintain soil moisture. On the threshold between the Northeast and Southeast quadrants of the pivot was installed a micrometeorological tower of 4 m. The meteorological variables temperature, air humidity, wind speed, balance of solar radiation, photosynthetically active radiation, soil heat flux and soil temperature were collected by a datalogger from an automatic meteorological station, installed in the tower. The flow of CO_2 were measured above the canopy using a system that comprises a three-dimensional sonic anemometer. For evaluate the leaf area and biomass accumulation of the parts of the plant were collected, at intervals of 8 days , throughout your cycle to guide the analytical process of growth quantitative analysis of the phenological stages were divided into four periods: P1 (emergency- 8 leaves), P2 (12 leaves-flowering), P3 (begging grain formation) and P4 (milky-grain - physiological maturity). The total biological productivity for the BR 106 was 1753 gm^{-2} , achieved with a heat requirement of 1674 DD (degree days) to reach a cycle of 120 days. Variations of CGR (crop growth rate) the LAI (leaf area index) followed up with the level of $20.85 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ in P2. In this period the total daily average flow of CO_2 was $6.61 \mu \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. com a NAR (net assimilation rate) average of $6.39 \text{ gm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. The growth the BR 106 was affected by changing in the canopy's microclimate, with extended periods of cloudiness, reducing the vapor potential in the atmosphere and higher content of energy, especially light and air temperature, contributing to the maximum values of the attributes of growth is present in P2. However, the senescence of lower leaves of canopy, in the transition from P2 to P3,

increased RLA (relation leaf area) and ERA, and reduce the RLM (relation leaf matter), dependent on the LAI, the CGR and NAR (net assimilation rate), which led to a decrease of 13% the assimilation of CO₂ over the reproductive period. This behavior of charges and rates did not affect the final yield of the variety that showed a value close to potential

Key-words: Crop growth rate; Leaf area index; Micrometeorology.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Fancelli (2003), o milho é considerado como uma das espécies mais eficiente na conversão da energia radiante e, conseqüentemente na produção de biomassa, já que sua semente que contém, em média 0,260 g, após um período de tempo próximo a 135 dias, resulta em cerca de 0,8 a 1,25 kg de biomassa por planta e 180 a 250 g de grãos por planta, multiplicando, assim, mil vezes o peso da semente que a originou. Essa capacidade de desenvolvimento e produção é devida principalmente, ao elevado acúmulo de fotoassimilados que o milho apresenta, em função do seu mecanismo fotossintético tipo C4. Porém, a fotossíntese e os demais processos fisiológicos e bioquímicos responsáveis pelo desempenho da planta estão intimamente ligados aos fatores abióticos água, luz, temperatura e nutrientes, que devem, a priori, se apresentar em quantidades e valores adequados durante todo o ciclo da cultura, para que a planta expresse seu máximo potencial produtivo.

A temperatura média do ar à superfície reflete, de certa forma, a disponibilidade de energia às plantas e isto tem incentivado vários estudiosos a investigar sua relação com a rapidez com que se completa o ciclo vegetativo das culturas (VAREJÃO-SILVA, 2000). A taxa de desenvolvimento de uma planta está diretamente relacionada com a temperatura do ar, de tal forma que o período de tempo entre os diferentes estádios variará de acordo com ela, tanto ao longo de uma safra, quanto entre safras. Vários índices térmicos têm sido usados para estimar os estádios de crescimento da planta. Inúmeros modelos, tendo como base as unidades térmicas (graus-dia), para estimar o crescimento, a floração, a maturidade fisiológica do grão em milho e a produção da cultura, têm sido exaustivamente estudados (COELHO; DALE, 1980; BRUNINI et al., 1995; BARBANO et al., 2000; GADIOLI et al., 2000). Essas informações, associadas à fenologia da cultura, podem ser utilizadas no

planejamento agrícola. Dessa forma, o conhecimento das exigências térmicas, desde a emergência ao ponto de maturidade fisiológica, configura-se como fundamental para a previsão da duração do ciclo da cultura em função do ambiente no qual ela está inserida, pois os aspectos vegetativos e reprodutivos da planta de milho podem ser modificados através da interação da cultura com os fatores ambientais que afetam o controle da ontogenia (MAGALHÃES et al., 2002).

Segundo Kunz et al. (2007), a radiação solar vem se destacando nas pesquisas dos últimos anos, que buscam explorar o rendimento potencial das culturas. Embora a temperatura e o fotoperíodo sejam os principais fatores que atuam sobre o desenvolvimento vegetal, do ponto de vista quantitativo e qualitativo, a radiação solar é fundamental para o desenvolvimento e o crescimento vegetal, realizado pelos processos fotomorfogenéticos e fotossintéticos. Assim, a maneira como a radiação fotossinteticamente ativa é interceptada pelo dossel das plantas é fundamental para a fotossíntese e para a produção da cultura (STEWART et al., 2003).

Na análise de crescimento são utilizadas diferentes equações matemáticas para avaliar índices de crescimento das plantas, muitos deles relacionados com a atividade fotossintética. Nos estudos ecofisiológicos das plantas, não se pode prescindir da análise de crescimento, pois os fatores ambientais e a disponibilidade de água e nutrientes, próprios de cada local, afetam sensivelmente a taxa assimilatória líquida e de crescimento relativo, a razão de área foliar além de outras variáveis das plantas. Por meio do estudo das interações dessas variáveis com os fatores ambientais, e em particular, com o estágio de desenvolvimento da planta, é possível a identificação da eficiência de crescimento e a habilidade de adaptação às condições ambientais em que as plantas se desenvolvem.

A análise quantitativa do crescimento vegetal permite a dedução de vários índices fisiológicos que são utilizados na tentativa de explicar e compreender as diferenças de comportamento das comunidades vegetais (PEREIRA; MACHADO, 1987). As informações obtidas pela análise de crescimento poderão ser utilizadas para investigar a adaptação ecológica das culturas a novos ambientes, a competição entre espécies, os efeitos de manejo

e tratos culturais, além da identificação da capacidade produtiva de diferentes genótipos (KVET et al., 1971).

Como as plantas apresentam resposta estomática diretamente influenciada pelas condições ambientais modificadas pelo sistema de irrigação, sendo essa resposta também condicionada pela variação dos elementos micrometeorológicos como: radiação fotossinteticamente ativa, vento, concentração de CO₂ no ambiente e na câmara estomática, o cultivo irrigado tende a apresentar valores diferenciados em termos de interação gasosa, variáveis micrometeorológicas e indicadores de crescimento. Assim, a caracterização micrometeorológica de uma comunidade vegetal envolve todos os processos de troca de energia e de massa, sendo fundamental o conhecimento do fluxo de CO₂, visto ser este o principal substrato para síntese dos fotoassimilados utilizados no crescimento vegetal (BRUNINI et al., 1999). Alguns trabalhos reportando a análise de crescimento vegetal para a cultura do milho já foram desenvolvidos (MACHADO et al., 1985; SILVA, 1995; BARROS, 1998; MOURA et al., 2006; MAGGIO, 2006; GARCIA et al., 2007), porém, a maioria desses estudos evoca aspectos puramente morfológicos e fisiológicos, do ponto de vista agrônomo, sem, contudo, investigar uma relação mais contundente dos elementos meteorológicos restritivos a produção potencial da cultura, verificando as respostas das taxas, oriundas da análise de crescimento, aos fatores abióticos envolvidos no microclima do dossel.

O milho BR 106, objeto do presente estudo, através de pesquisas, vem sendo melhorado geneticamente a cada ano, proporcionando ganhos em uniformização de plantas, empalhamento de espigas e, principalmente produtividade de grãos (NOCE, 2004). Assim, o presente trabalho teve por objetivo quantificar a influência das variáveis micrometeorológicas no crescimento e desenvolvimento, em dossel de milho cultivado sob plantio direto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização do local e da área experimental

O ensaio foi conduzido em condições de campo, sob pivô central, na área de experimentação da EMBRAPA Milho e Sorgo (Figura 1), situada no Município de Sete Lagoas, MG, geograficamente localizado na latitude $-19^{\circ} 45'$ e longitude $44^{\circ}25'$, a uma altitude de, aproximadamente, 762 m em relação ao nível do mar. O clima da região de Sete Lagoas-MG é Aw (Köppen), ou seja, típico de savana, com inverno seco e temperatura média do ar do mês mais frio superior a 18°C . O solo do local é um Latossolo Vermelho álico argiloso de relevo suavemente ondulado fase cerrado.

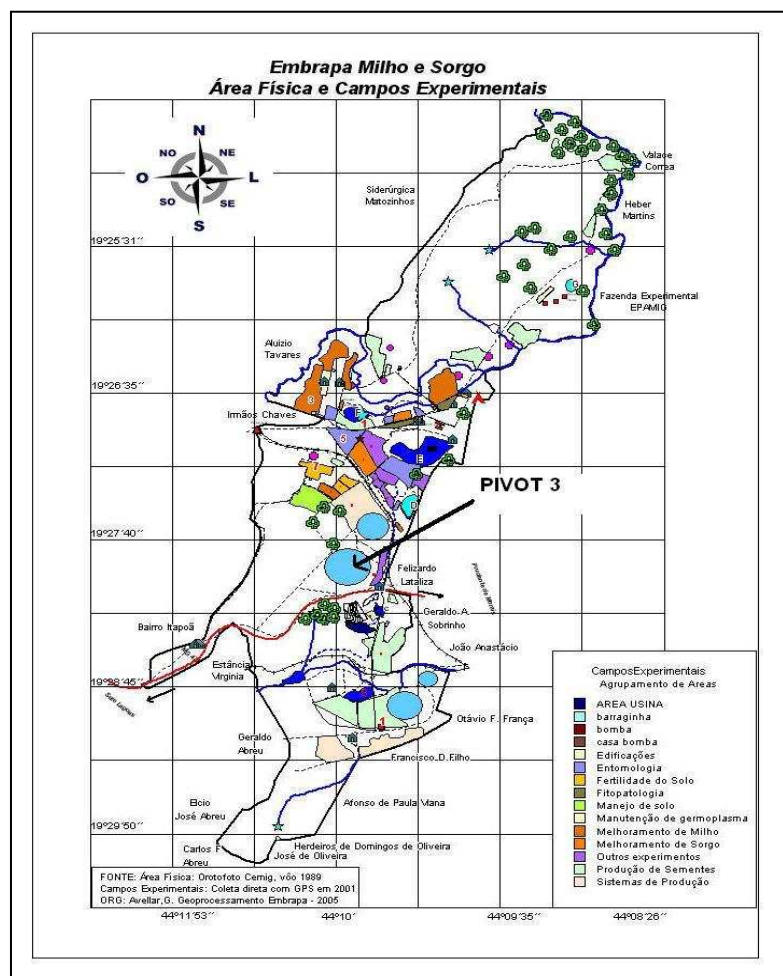


Figura 1 – Localização geográfica da Embrapa Milho e Sorgo, com destaque para o PIVOT 3.

2.2. Solo

O solo da área experimental foi caracterizado pedologicamente latossolo vermelho-escuro álico, a moderado, textura argilosa, fase relevo suave ondulado cerrado. A análise de solo da área experimental foi realizada no Laboratório de Análises de Solo da EMBRAPA Milho e Sorgo, cujos resultados são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Resultados das análises químicas de solo da área experimental

Prof	pH (H ₂ O)	H + Al (cmolc.dm ⁻³)	Al (cmolc.dm ⁻³)	Ca (cmolc.dm ⁻³)	Mg (cmolc.dm ⁻³)	K (mg.dm ⁻³)	P (mg.dm ⁻³)	M.O. (dag.kg ⁻¹)
5 cm	6,5	2,46	0,00	5,68	1,22	310	25	4,74
15 cm	6,3	2,68	0,00	4,74	0,98	250	15	4,74
30 cm	5,9	3,20	0,00	3,33	0,67	135	4	3,51
45 cm	5,3	5,21	0,12	1,49	0,39	71	1	2,84
60 cm	5,2	3,42	0,00	1,45	0,29	27	1	2,25
90 cm	5,1	4,13	0,00	1,56	0,35	39	1	2,34

Prof	SB (cmolc.dm ⁻³)	CTC (cmolc.dm ⁻³)	V (%)	Sat AL (%)	Zn (mg.dm ⁻³)	Cu (mg.dm ⁻³)	Mn (mg.dm ⁻³)	Fe (mg.dm ⁻³)
5 cm	7,70	10,16	76	0	11,20	1,20	60,80	96,20
15 cm	6,36	9,04	70	0	10,30	1,10	50,70	79,80
30 cm	4,35	7,55	58	0	4,30	1,60	45,60	88,20
45 cm	2,06	7,27	28	5	1,30	1,40	32,00	64,10
60 cm	1,81	5,23	35	0	4,40	2,00	24,80	45,80
90 cm	2,01	6,14	33	0	2,10	1,20	30,00	53,70

Fonte: Laboratório de Análise de Solos da Embrapa Milho e Sorgo.

SB= soma de bases; CTC= capacidade de troca catiônica; Prof= profundidade; pH= potencial hidrogeniônico; H= hidrogênio; Al= alumínio; Ca= cálcio; MG= magnésio; K= potássio; P= fósforo; M.O.= matéria orgânica.

Tabela 2 – Resultados das análises físicas de solo da área experimental

Profundidade	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Classificação textural
	-----%-----				
5 cm	6	5	9	80	Muito argiloso
15 cm	7	4	10	79	Muito argiloso
30 cm	6	4	6	84	Muito argiloso
45 cm	6	4	1	89	Muito argiloso
60 cm	5	3	5	87	Muito argiloso
90 cm	5	4	2	89	Muito argiloso

Fonte: Laboratório de Análise de Solos: Embrapa Milho e Sorgo.

2.3. Genótipo empregado

O genótipo de milho utilizado foi a variedade BR 106 de ciclo semi precoce cujas características estão apresentadas no Quadro 1. O Milho BR 106, é mais rústico, possui menor custo de sementes, apresenta boa estabilidade de produção e adaptabilidade a todas as regiões brasileiras, resistência ao acamamento e ao ataque das principais pragas comuns a cultura. É um milho ao alcance de todos os produtores brasileiros, independente de seu nível tecnológico, destacando-se como um dos mais plantados no Brasil na atualidade

Quadro 1 – Principais características do BR 106

Característica do BR 106	
Tipo	variedade
Ciclo	semi precoce
Florescimento	65 dias
Época de plantio	normal e safrinha
Uso	grão e silagem da planta inteira
Cor do grão	amarela
Densidade (plantas/ha)	40.000 – 50.000
Textura do grão	semidentado
Resistência ao acamamento	média
Altura da espiga (m)	1,4
Altura da planta (m)	2,4
Rendimento médio	5.500 kg.ha ⁻¹
Nível tecnológico	baixo/médio
Região de adaptação	BRASIL (exceto RS)
Empresa	Embrapa

Fonte: Noce (2004).

2.4. Condução do experimento

2.4.1. Preparo do solo, semeadura e adubação

Foi utilizado o sistema de Plantio Direto (PD), com dessecamento em toda a área do pivot com *Roundup WG* na dosagem de 2,5 kg/ha + 2.4D a 1,0 L/ha pulverizados em pós plantio 03 e 04/10/2008.

A adubação de semeadura foi realizada em quantidade equivalente a 256 kg de 08-28-16+0,3 Zn. A adubação nitrogenada de cobertura foi efetuada quando o milho apresentou quatro folhas totalmente expandidas, de forma incorporada, na entrelinha da cultura e na quantidade equivalente a 200 kg.ha⁻¹ nos dias 04, 05, 06 e 07/11/2008, na forma de uréia.

A semeadura do milho foi realizada nos dias 03 e 04/10/2008, empregando-se o espaçamento entre linhas de 0,7 m, sendo as sementes distribuídas à profundidade de 3 cm da superfície do solo e distantes 10 cm do

fertilizante utilizado. Foram distribuídas aproximadamente cinco sementes por metro, visando o estande final de 55.000 plantas.ha⁻¹.

2.4.2. Tratos culturais e irrigação

O controle de plantas daninhas pós-plantio foi realizado por meio da aplicação o herbicida Nicosulfuron a 0,7 L. ha⁻¹ + Atrazine a 3,0 L.ha⁻¹ no dia 22 e 23/10/08. Na área do entorno da base da torre, aproximadamente num raio de 5 m, o controle foi feito por meio da capina manual, quando o milho apresentou 2 e 4 folhas totalmente expandidas.

Para o controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) foram efetuadas duas aplicações com o inseticida *Tracer*, sendo a primeira 0,075 L. ha⁻¹ nos dias 22 e 23/10/2008 e a segunda com 0,1 L/ha nos dias 10, 11 e 12/11/2008, quando os números de macho adulto nas armadilhas se encontraram no nível crítico, e quando 20% das plantas apresentaram folhas danificadas pela lagarta do cartucho.

No experimento foi utilizado o sistema de irrigação por aspersão, onde o manejo da irrigação foi realizado segundo Albuquerque (2003).

2.4.3. Colheita

A colheita foi realizada no dia 30/03/2009, após os grãos atingirem o ponto de maturidade fisiológica. A referida operação, para fins de resultados experimentais, foi realizada manualmente coletando-se todas as espigas presentes na área de controle (destinada à coleta para análise de crescimento) acompanhada da determinação do teor de água (umidade) dos grãos. O rendimento foi obtido a partir da massa dos grãos, oriundas dos pontos de amostragens na área de controle e expresso em kg/ha, corrigindo-se o rendimento ($REND_{13\%}$) para 13% de umidade, a qual foi obtida com o Determinador de Umidade Universal (*Universal Moisture Tester*)². Utilizou-se a seguinte equação para correção da umidade de grãos:

² Esse aparelho comprime uma determinada quantidade de amostra e, baseia-se na prova da resistência elétrica, ou seja, em um circuito elétrico influenciado pelo teor de umidade.

$$REND_{13\%} = \frac{REND \times (100 - U)}{(100 - 13)} \quad (1)$$

em que $REND$ é o rendimento não corrigido; e U , umidade obtida das amostras de grãos na área útil.

2.5. Medição e sistema de aquisição de dados

2.5.1. Coleta de dados climáticos

No limiar entre os quadrantes Nordeste e Sudeste do *PIVOT* foi instalada uma torre micrometeorológica equipada por Estação Meteorológica Automática (EMA), com a finalidade de obter os dados climáticos, os quais permitiram a caracterização do microclima no dossel do milho, ao longo do período experimental. Os elementos climáticos foram registrados continuamente em um sistema *Datalogger*, que armazenou as informações geradas a cada segundo, com valores de médios calculados a cada 30 minutos. A referida estação era composta dos sensores de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, radiação fotossinteticamente ativa, saldo de radiação, fluxo de calor no solo, temperatura e umidade do solo, e chuva, cujas características se encontram no Quadro 2. Dados complementares de insolação e radiação solar incidente, para o mesmo período, foram disponibilizados pela EMBRAPA Milho e Sorgo por meio da Estação Climatológica Principal (ECC), bem como pela Estação Meteorológica Automática da EMBRAPA ($EMA_{EMBRAPA}$) que ficavam distantes do *PIVOT* 3 km e 300 m, respectivamente.

Quadro 2 – Relação das variáveis meteorológicas coletadas na Estação Meteorológica Automática (EMA) com unidade de medida, identificação dos sensores e altura/profundidade de instalação

Variáveis medidas	Instrumento utilizado	Altura de instalação
Temperatura do ar (°C)	<i>Temperature HMP45C</i>	0,5, 2 e 4 m
Velocidade do vento (m.s ⁻¹)	<i>Wind Sentry mod. 03001</i>	4 m
Saldo de radiação (W.m ⁻²)	<i>Net Radiometer Q-7.1</i>	4 m
Umidade relativa do ar (%)	<i>Relative humidity HMP 45C</i>	0,5, 2 e 4 m
RFA (μmolm ⁻² .s ⁻¹)	<i>LI-190SBquantum sensor</i>	4 m
Direção do vento (m.s ⁻¹)	<i>Wind Sentry mod. 03001</i>	4 m
Umidade do solo (m ⁻³ _{H2O} /m ⁻³ _{solo})	<i>Water Content Reflectometers CS616</i>	0,30 m
Precipitação pluvial (mm)	<i>CSI Model CS700- L</i>	4 m
Fluxo de calor no solo(W.m ⁻²)	<i>HFT3 Soil Heat Flux</i>	0,02, 0,05, 0,10, 0,15 e 0,30 m (profundidades)
Temperatura do solo (°C)	<i>Temperature Probe model 108</i>	0,02, 0,05, 0,10, 0,15 e 0,30 m (profundidades)

2.5.2. Sistema de medição de fluxos – EDISOL

Foi instalado na torre micrometeorológica o sistema *Edisol*, desenvolvido na University of Edinburgh por John Moncrieff, para medir os fluxos de CO₂, vapor d'água e energia acima do dossel vegetativo. O sistema *Edisol* é composto por um Anemômetro Sônico Tridimensional, que mede instantaneamente as três componentes do vento, um Analisador de Gás a Infravermelho, um gabinete com microcomputador e *software* para aquisição de dados de alta frequência, o qual foi especificamente desenvolvido para o sistema EDISOL com a finalidade de calcular de CO₂ em tempo real. Os sensores utilizados para estimativa desses fluxos foram instalados a três metros acima da torre, com orientação Norte, e objetivo de minimizar distorções no escoamento na direção do vento dominante (CARSWELL et al., 2002).

O sistema utiliza a técnica de correlação de vórtices turbulentos (*eddy covariance*) e calcula a covariância entre as flutuações na componente vertical da velocidade do vento, simultaneamente com a quantidade conservativa de interesse na amostra de ar coletado. A técnica baseia-se no seguinte

procedimento: o vento carrega as massas de concentrações mais altas, e, ou, mais baixas, para cima e para baixo com os vórtices turbulentos, e por meio da medição dessas flutuações rápidas através de sensores de resposta rápida (alta frequência), pode-se somar os componentes e obter os fluxos. Destaca-se que essa técnica é reconhecida atualmente como a forma mais direta e confiável para obtenção desses fluxos em longo prazo para diferentes ecossistemas (MALHI et al., 1998; VERMA, 1999).

2.6. Análise de crescimento vegetal

Para a análise de crescimento, foi necessária amostragem de valores primários através de coletas destrutivas, representativas do conjunto de plantas cultivadas no *PIVOT*. Assim, durante o ciclo da cultura foram realizadas avaliações para caracterização dos estádios vegetativos, reprodutivo e de formação de grãos baseado na escala fenológica para cultura do milho (Quadro 3), adaptado de Magalhães et al. (2002) e Magalhães e Durães (2006). Numa área de controle dentro do *PIVOT* com dimensões de 90m x 90m, em intervalos de oito dias, a partir da emergência, foram coletadas 20 plantas por tratamento para determinar a altura de planta (AP), matéria seca aérea (MSa) e área foliar (AF). Em cada coleta a amostra de uma planta foi separada por partes (folha, colmo, pendão, espiga e grãos) a fim de se determinar a massa seca e a área foliar. Nessas coletas, os valores de MSa e AF foram obtidos pela média dos valores encontrados nas quatro linhas. Para obtenção da biomassa seca, o material foi colocado em estufa com circulação de ar forçada, à temperatura de aproximadamente 65°C até atingir massa constante.

Quadro 3 – Identificação dos estádios de desenvolvimento da cultura de milho (*Zea mays* L.)

Estádio		Características
0	VE	Emergência
1	V4	4 folhas
2	V8	8 folhas
3	V12	12 folhas
4	VT	Florescimento
5	R1	Embonecamento
6	R2	Bolha d'água
7	R3	Grão leitoso
8	R4	Grão pastoso
9	R5	Formação de dentes
10	R6	Maturação fisiológica do grão

As massas secas obtidas das partes das plantas e a massa seca total foram convertidas em biomassa por metro quadrado (m²) (produtividade biológica). Para a estimativa da massa de matéria seca aérea produzida, relativa ao período de crescimento, foi empregada a função sigmoideal, utilizando-se um programa interativo para minimizar a variância residual, representada pela equação:

$$MSa = \frac{a}{\left(1 + \frac{\exp(-(x - x_o))}{b}\right)} \quad (2)$$

em que “a” é a estimativa de crescimento máximo da MSa, g.m⁻² (na condição a>0); “x”, os dias de crescimento; b e x_o (na condição b>0), constantes de ajustamento; e exp, a base de logaritmos naturais.

A determinação da área foliar foi feita com o planímetro ótico modelo *LI 3000, Licor, Lincoln*, EUA (Figura 2). Os dados de área foliar, representativos de 0,70 m², foram convertidos para valores correspondentes à área de 1,0 m² de terreno. Então, ao Índice de Área Foliar (IAF) de cada amostra foi determinado como:

$$IAF = \frac{AF}{S} \quad (3)$$

em que AF é a área foliar da amostra (m²) e “S”, a área do terreno ocupada pela amostra (m²).

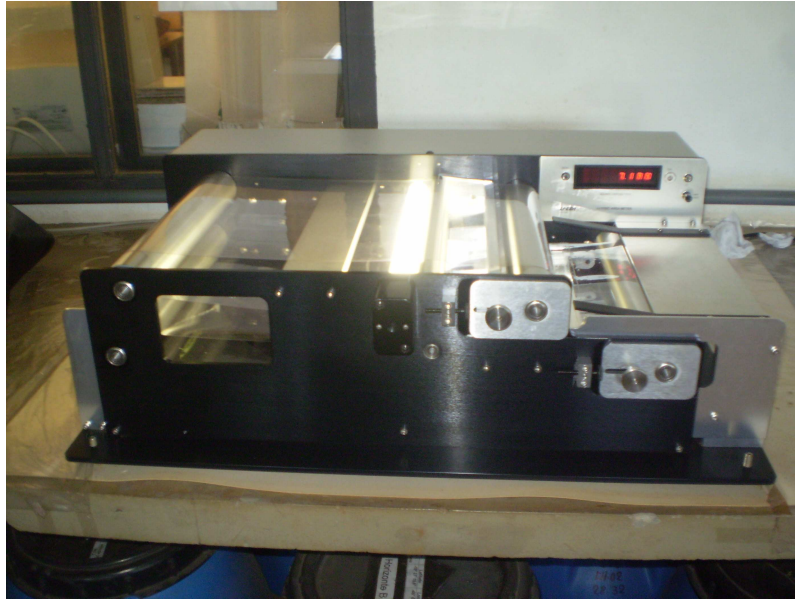


Figura 2 – Integrador de área foliar LI-3000.

Os dados de MSa e IAF foram utilizados nos cálculos das taxas e índices para avaliar o desempenho da cultura no sistema de plantio direto. Foram calculadas as taxas de crescimento da cultura do milho utilizando as seguintes equações, propostas por Kvet et al. (1971):

$$TCC = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} dMSa = \frac{(MSa_2 - MSa_1)}{\Delta t} \quad (4)$$

$$TCR = \frac{\left(\frac{dMSa}{dt} \right)}{MSa} \quad (5)$$

em que TCC é a taxa de crescimento da cultura em $\text{g.m}^{-2}\text{dia}^{-1}$; TCR, taxa de crescimento relativo $\text{g.g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$; MSa_1 , biomassa acumulada pela planta inteira em g.m^{-2} na coleta n ; MSa_2 , biomassa acumulada pela planta inteira em g.m^{-2} na coleta “ $n + 1$ ”; e ΔT , intervalo de coleta, dias.

A eficiência das folhas na produção de novos órgãos foi calculada pela Taxa de Assimilação Líquida (TAL):

$$TAL = \frac{\left(\frac{dMSa}{dT} \right)}{IAF} \quad (6)$$

Além das taxas de crescimento foram determinadas as razões de crescimento com a finalidade de comparar o crescimento das diferentes partes da planta com outras partes bem como com a planta inteira. A distribuição da biomassa para os diversos componentes da planta, foi obtida com base nessas razões, utilizando as seguintes equações:

$$RAF = \frac{AF}{MSa} \quad (7)$$

$$RMF = \frac{MSF}{MSa} \quad (8)$$

$$AFE = \frac{AF}{MSF} \quad (9)$$

em que RAF é a razão de área foliar, em $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$; RMF, razão de massa foliar, em g.m^{-2} ; AFE, área foliar específica, em $\text{m}^2.\text{g}$; e MSF, biomassa acumulada pelas folhas, em g.m^{-2} .

O modelo para estimativa do índice de área foliar foi ajustado a partir dos dados coletados, sendo o melhor ajuste feito com o pico de Gaussian (3 parâmetros):

$$IAF = a \cdot \exp\left(-0,5\left(\frac{(x-x_0)}{b}\right)^2\right) \quad (10)$$

Os dados obtidos foram submetidos à Análise de Variância. Para as comparações das médias do material coletado, foi adotado o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Quanto aos índices fisiológicos, Banzatto e Kronka (1989) relatam que não se pode afirmar que essas variáveis, por serem calculadas, obedeçam às pressuposições básicas para a realização da análise de variância.

2.7. Graus-dia

Os graus-dia acumulados (GDA), da emergência até o final do ciclo, foram determinados a partir da diferença entre a temperatura média diária e a temperatura basal inferior da cultura, que foi considerada como 10°C (CARDOSO et al., 1997), conforme equação (BERLATO et al., 1984):

$$GDA = \sum_{i=VE}^{R6} (Tm_i - 10^0 C) \quad (11)$$

em que GDA é graus-dia acumulados desde a emergência (VE) até a maturação fisiológica do grão (R6), em °C.dia⁻¹; e Tm_i, temperatura média para o dia i, em °C. Salienta-se que a utilização deste modelo se dá em função de a temperatura média (Tm) ocorrida no período estudado não ter superado a temperatura basal superior para o milho que é 30°C, conforme proposto por Villa Nova (1972). Os valores diários de GDA foram utilizados no ajuste de modelos para biomassa e índice de área foliar.

2.8. Potencial do vapor d'água do ar atmosférico (Ψ_{vapor})

O potencial de vapor d'água foi determinado por meio da equação abaixo (REICHARDT, 1987):

$$\Psi_{vapor} = \frac{R.T_{ar}}{V} \cdot \ln\left(\frac{UR_{ar}}{100}\right) \quad (12)$$

em que Ψ_{vapor} é o potencial do vapor d'água no ar (MPa); "R", constante dos gases ($0,0083141 \text{ LMpa.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$); T_{ar} , temperatura absoluta do ar (K); "V", volume parcial molar da água ($0,018048 \text{ L.mol}^{-1}$); e UR_{ar} , umidade relativa do ar (%).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 está apresentado o resumo dos caracteres morfoagronômicos do BR 106 medidos por ocasião da colheita. Verifica-se que esses tiveram valores condizentes com as médias obtidas nos programas de melhoramento (NOCE, 2004). Destaca-se, porém, que a média do rendimento obtida neste estudo foi 24% superior ao rendimento médio nacional (Quadro 1) alcançando um valor similar ao rendimento potencial da variedade, que é de 7.500 kg.ha^{-1} . Esse resultado confirma as condições ótimas, em termos de manejo cultural, que o ensaio foi submetido. Dessa forma, a análise quanto à variação dos fatores ambientais, ao longo do período do experimento, seguirá a linha de discussão onde a grandeza das mudanças desses fatores servirá de base para essa variedade, no que diz respeito ao potencial produtivo dentro das condições de plantio direto irrigado.

O acompanhamento do ciclo da cultura do milho compreendeu 10 estádios que foram identificados desde a emergência até o grão fisiologicamente maduro (Tabela 4). Para nortear a discussão, objetivando correlacionar o desempenho das plantas cultivadas com os fatores ambientais, o ciclo foi dividido em períodos (P) importantes do ponto de vista agrônomo, a saber: P1 (VE-V12: Define o potencial de produção e o número de fileiras nas espigas); P2 (V12- R1: Define o tamanho da espiga e o máximo acúmulo de matéria seca pela planta); P3 (R1-R3: Correlacionado com o período anterior define o número de grãos, bem como inicia o acúmulo de amido no endosperma dos grãos) e P4 (R3-R6: Define a densidade do grão).

Tabela 3 – Média, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) dos caracteres morfoagronômicos do BR 106, cultivado sob plantio direto (PIVOT 3, ano agrícola 2008/2009)

Caracteres agrônômicos	Média	DP	CV (%)
Altura da planta (m)	2,48	0,16	6,59
Altura da espiga (m)	1,43	0,15	10,20
Número de espiga por planta	1,28	0,45	35,08
Comprimento da espiga (cm)	14,86	2,12	14,26
Diâmetro da espiga (cm)	46,87	3,85	8,38
Número de fileira de grãos por espiga	13,44	1,75	13,25
Número de grãos por fileiras	35,20	5,58	16,17
Umidade residual dos grãos (%)	16,58	1,11	6,83
Massa de 100 grãos (g)	31,17	5,55	17,79
Produtividade biológica dos grãos (g.m ⁻²)	912,82	283,91	31,10
Rendimento dos grãos a 13% (kg.ha ⁻¹)	7209,51	2070,02	28,71

Tabela 4 – Estádios fenológicos (EF) do BR 106 expressos em datas de ocorrências em dias julianos (DJ) e calendário gregoriano (data), dias após emergência (DAE) e graus-dia acumulados (Σ GD)

EF	DJ	Data	Σ GD	DAE	Período
VE	281	7/out	98	1	
V4	296	23/out	342	17	P1
V8	315	10/nov	528	35	
V12	329	24/nov	705	49	P2
VT	344	9/dez	908	64	
R1	353	18/dez	1019	73	P3
R2	361	26/dez	1118	81	
R3	4	4/jan	1243	90	
R4	16	16/jan	1420	102	P4
R5	26	26/jan	1551	112	
R6	34	3/fev	1674	120	

3.1. Comportamento das variáveis meteorológicas durante o período experimental

O número de horas do brilho solar (n) e o comprimento astronômico do dia (H) em cada estágio estão apresentados na Figura 3. A razão de insolação, obtida dividindo o brilho solar pelo comprimento do dia foi em média 0,47 para todo o ciclo, indicando grande percentual de nebulosidade. Essa razão foi de 0,56 e 0,20, respectivamente, para P1 e P3. Mesmo com o “H” maior, em torno de 13, o P3 teve dias proporcionalmente menos ensolarados, com brilho solar médio de 2,75. Esse dado aumenta em torno 150% quando comparado com o P1, apesar da variação do brilho solar não apresentar tanta amplitude para ambos os períodos. Tal comportamento pode ser confirmado pelo potencial de vapor na atmosfera, Ψ_{vapor} (Figura 4). Potencial esse que é obtido pela diferença de energia entre um determinado estado e o estado padrão. Como o vapor d’água em ar não saturado apresenta menor energia do que no ar saturado, o potencial do vapor d’água na atmosfera é geralmente negativo (REICHARDT, 1987). Assim, quanto mais negativo for Ψ_{vapor} , menor seria a possibilidade de saturação do ar, e por conseqüência menor a presença de nuvens. Nota-se que a variação extrema dessa amplitude é representada pelos valores médios do Ψ_{vapor} para os P1 (-68,57 atm) e P3 (-21,21 atm).

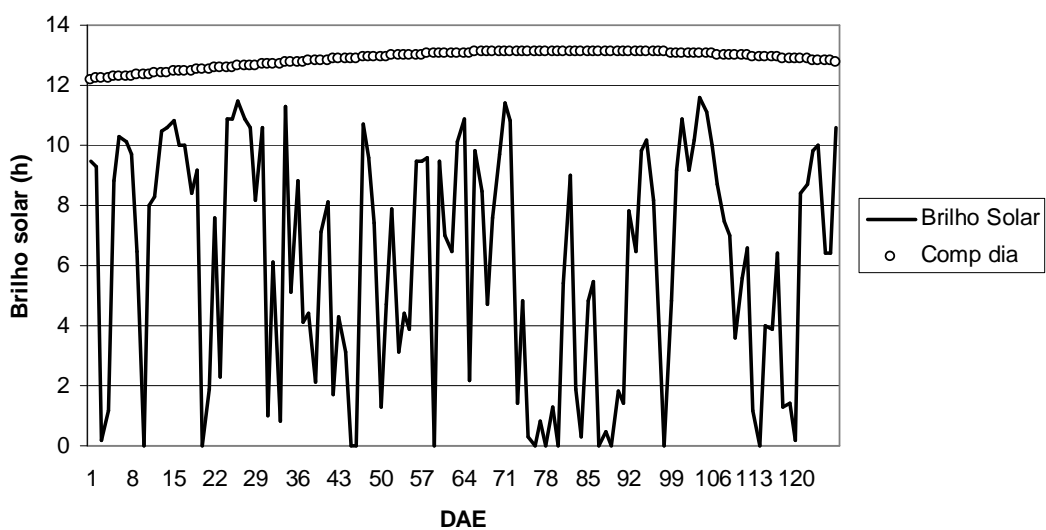


Figura 3 – Duração do brilho solar e evolução do comprimento do dia durante o período experimental do BR 106.

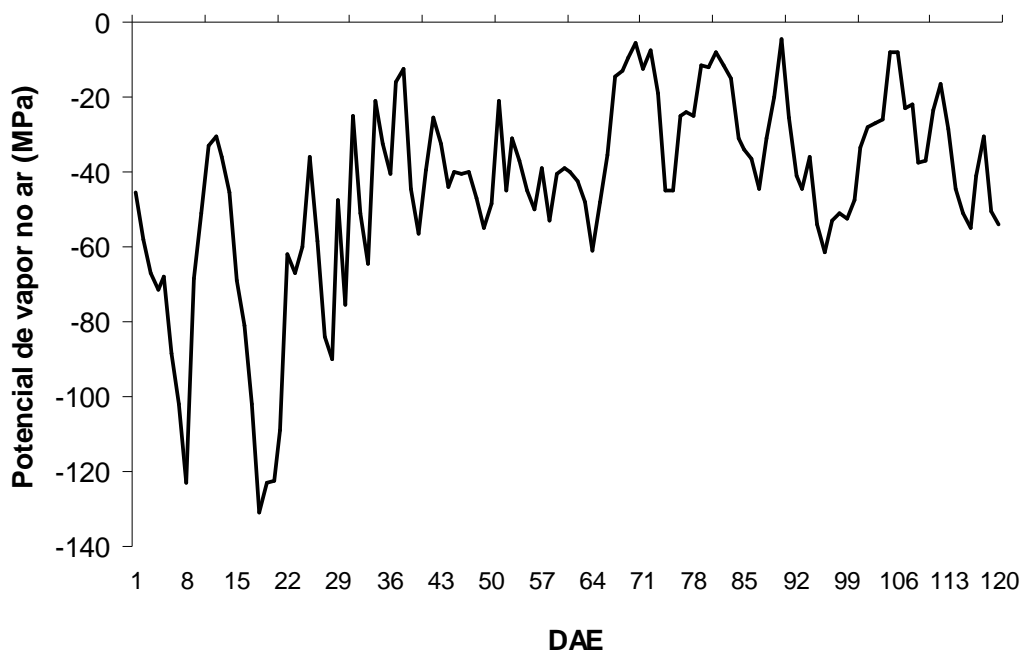


Figura 4 – Potencial de vapor na atmosfera durante o período experimental.

O volume de precipitação pluviométrica acumulada durante o cultivo foi de 925 mm. A fim de garantir a manutenção da umidade do solo, em condições ótimas, foi utilizada a irrigação suplementar, com manejo segundo Albuquerque (2003), aplicando um total de 86 mm, do qual 65% ocorreram antes da emissão da oitava folha (Figura 5). Em se tratando de suprimento hídrico médio (chuva + irrigação) foi observado o valor de $7,82 \text{ mm.dia}^{-1}$ para todo o ciclo. No P1 a média foi de $5,10 \text{ mm.dia}^{-1}$, dos quais 3,7 mm foram oriundos da precipitação pluvial. Assim, da fase inicial do estágio vegetativo até a oitava folha, do total hídrico recebido, cerca de 40% foi oriundo da irrigação. Os períodos P2, P3, e P4, que compreenderam o florescimento e enchimento de grãos, apresentaram valores médios de 5,92 mm, 22,56 mm e 7,26 mm, respectivamente. Esses períodos, quando comparados com o P1, apresentaram melhor armazenamento de água no solo (U_{SOLO}), e, por conseguinte não tiveram problema de restrição hídrica. Assim, os valores permaneceram acima do valor encontrado no P1, conforme ilustrado na Figura 6, sem necessitar de um elevado percentual de intervenção do sistema de irrigação, pois experimentaram melhor distribuição temporal de chuva.

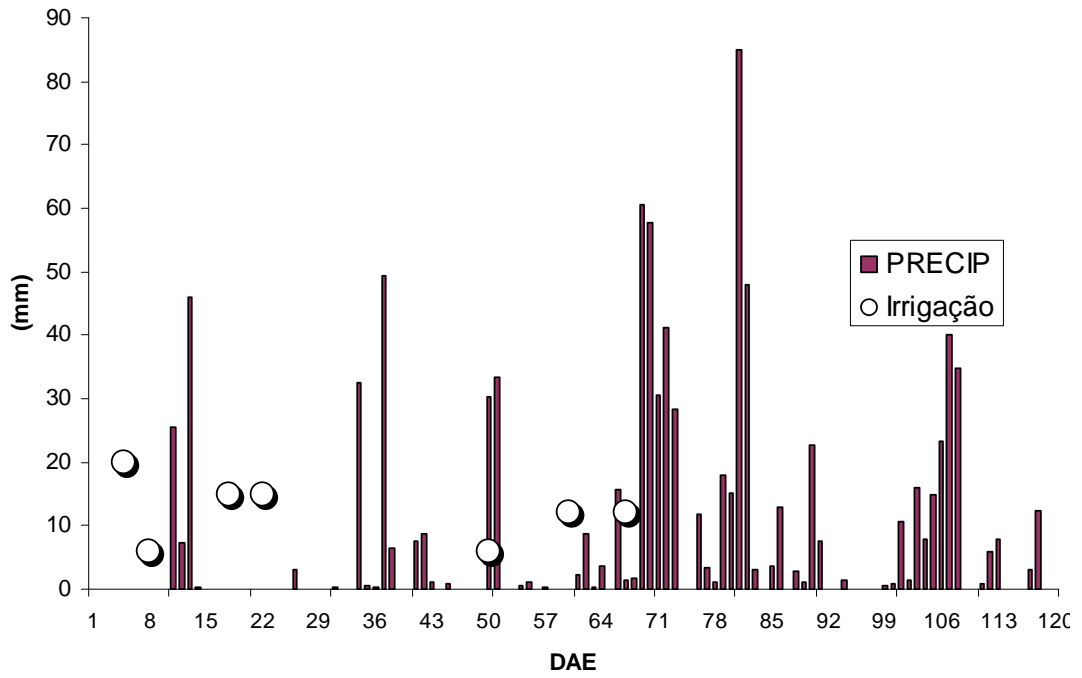


Figura 5 – Precipitação pluvial ocorrida e irrigação durante o período experimental.

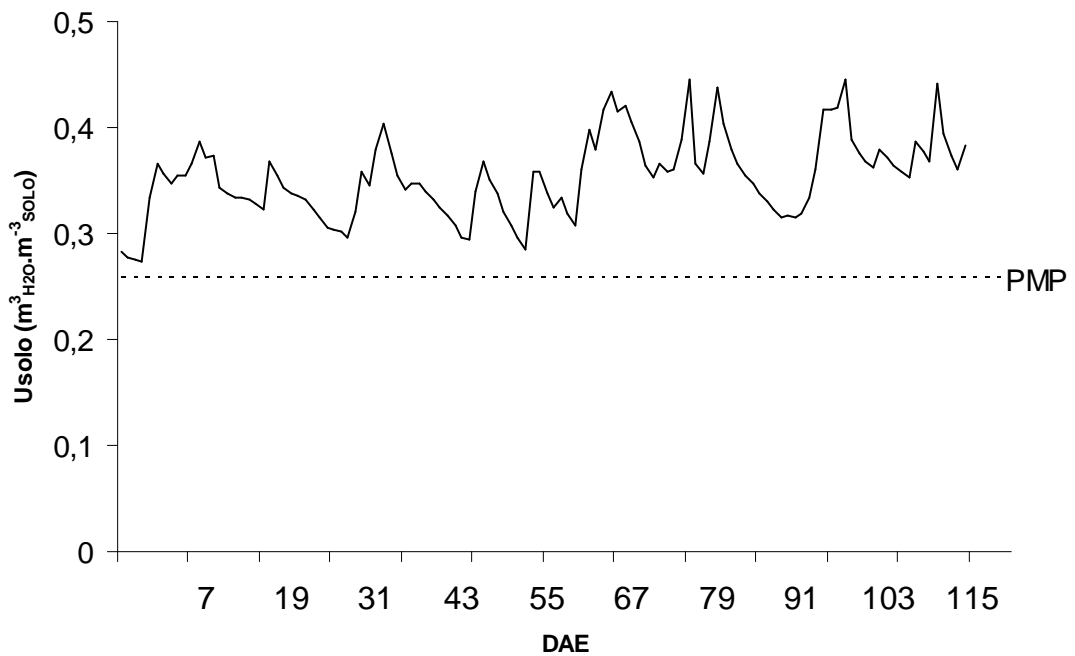


Figura 6 – Evolução da umidade do solo durante o período experimental, com detalhe do ponto de murcha permanente (PMP).

Em termos de referência climatológica, a precipitação mensal ocorrida no período experimental, esteve acima das normais apenas no mês de dezembro (70%), e abaixo nos meses de novembro (19%) e janeiro (29%), enquanto a chuva ocorrida no mês de outubro esteve em torno da média das normais.

O resumo dos valores médios da radiação incidente (global e fotossinteticamente ativa), para os períodos de P1 a P4, está apresentado na Tabela 5. Apesar do registro médio de brilho solar apresentar-se equivalente entre os períodos P1 (7,08), P2 (6,44) e P4 (6,26), a maior disponibilidade da RI e RFA ocorreu no P1, com 21,92 MJ.m⁻², possivelmente por este apresentar maior número de dias com brilho solar igual ou acima de 8. No P3, devido a maior ocorrência de precipitação média do período experimental, houve maior nebulosidade promovendo uma redução em torno de 57% do brilho solar em relação aos demais períodos.

Tabela 5 – Dados médios diários das radiações incidente (RI) e fotossinteticamente ativa (RFA), para os períodos estudados

Radiação (MJ.m ⁻²)	Média	Períodos			
		P1	P2	P3	P4
RI	17,58	21,92	17,56	14,41	16,43
RFA	7,91	9,89	7,90	6,50	7,40

A radiação solar global teve média de 17,58 MJ.m⁻² para todo o ciclo da cultura, com diferenças dos valores médios, entre os períodos, oscilando entre 20% e 34%. Porém, em se tratando de amplitude, foram registradas valores absolutos de 4,47 MJ.m⁻² (P2) e 32,26 MJ.m⁻² (P3) ocorridos devido a alternância de dias com alta e baixa nebulosidade (Figura 4). Para a RFA, os dados apontam que os valores representaram 45% da Radiação Solar Global (RI), e, devido a alta nebulosidade os extremos variaram de 0 a 14,52 MJ.m⁻², com médias que declinaram de 9,89 MJ.m⁻², em P1 até 6,50 MJ.m⁻² em P3.

Ressalta-se, porém, que ao longo do P3 ocorre o início da formação de grãos concomitantemente com o começo da senescência foliar, e nessas condições o milho está principiando a drenagem das reservas acumuladas para o enchimento de grãos, podendo diminuir a atividade fotossintética.

Na Tabela 6 estão apresentados os valores médios das temperaturas médias, máximas e mínimas durante o ciclo da cultura. A amplitude térmica foi maior na fase inicial de crescimento vegetativo e na final, próximo a maturação fisiológica. A partir dessa condição e aliado ao baixo Ψ_{vapor} , pode-se inferir que, em termos práticos, a cultura esteve sob uma atmosfera mais seca durante o P1, mas para o P4, apesar das temperaturas extremas promoverem uma amplitude semelhante ao P1, a maior presença de chuva permitiu a ocorrência de certo ambiente com baixo déficit de pressão de vapor (DPV) na atmosfera, a qual tendeu a uma diminuição média ao longo de toda fase reprodutiva (Figura 7). Nesses períodos não foram verificadas temperaturas acima de 22°C, nos horários entre 18h30min e 5h30min, que por serem consideradas elevadas, promoveriam alto consumo energético, devido ao incremento da respiração celular, contribuindo para menor saldo de fotoassimilados, com conseqüente queda no rendimento da cultura (DOURADO-NETO, 1999).

Tabela 6 – Dados médios diários das temperaturas média, máxima e mínima, para os períodos estudados

Temperatura (°C)	Média	Períodos			
		P1	P2	P3	P4
Média	23,63	24,80	23,12	22,35	24,25
Máxima	29,67	31,67	28,91	27,33	30,77
Mínima	17,05	16,34	16,44	17,23	18,21

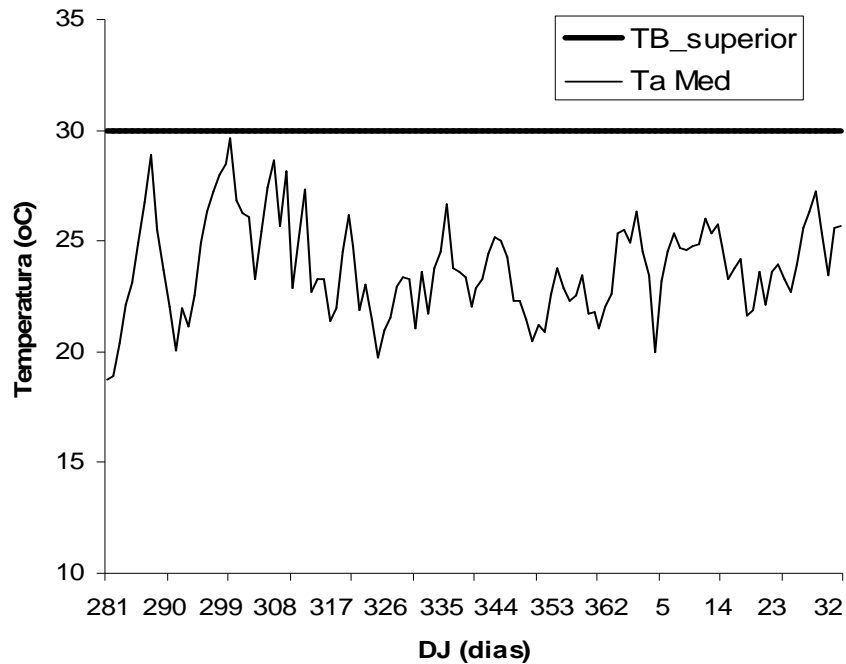


Figura 7 – Variação da temperatura média do ar.

Constata-se também na Tabela 6 e Figura 8 que as temperaturas mínimas foram predominantemente superiores a 10°C (temperatura-base adotada no cálculo de graus-dia) para todos os períodos. Em relação às temperaturas máximas, observa-se que nos períodos P1 e P4 elas se apresentaram levemente superiores a 30°C (temperatura basal superior do milho). Apesar dessa condição microclimática, crê-se que estas não foram limitantes, já que a influência da temperatura do ar sobre o crescimento do milho fica dependente de outros fatores, como a duração dos seus valores extremos durante o dia. Dentro desse aspecto, mesmo com a diminuição da amplitude térmica de 15°C para 10°C entre P1 e P3, nota-se que há um aumento do fotoperíodo (Figura 4 - radiação solar em ascendência), garantindo o aporte de energia para o crescimento da planta.

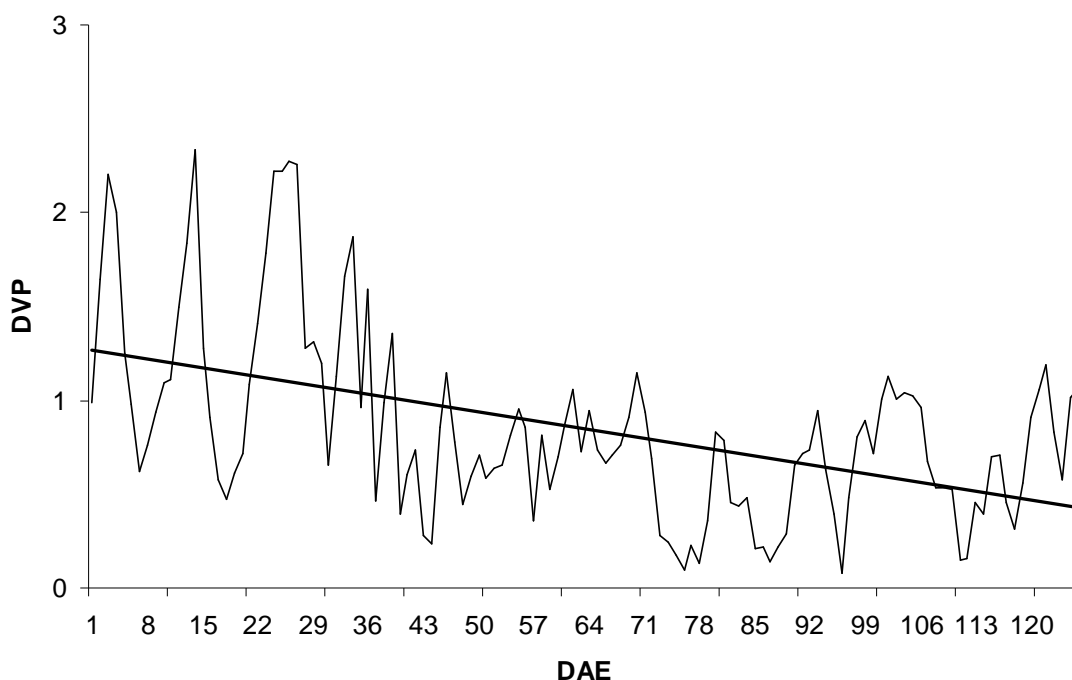


Figura 8 – Déficit de pressão de vapor (DVP) durante o período experimental.

3.2. Análise de crescimento e variáveis meteorológicas

A duração do ciclo fenológico do BR 106 foi de 120 dias, apresentando o florescimento masculino em torno do 64° DAE corroborando com a ocorrência do pendramento semelhantes às médias dos ensaios nacionais (Quadro 1). O total de graus-dia acumulados para atingir o florescimento foi de 788 GD e para atingir a maturação fisiológica de 1.674 (Tabela 4). Destaca-se que o valor da soma térmica apresentado para o estágio VT esteve 13% abaixo dos valores obtidos nos ensaios nacionais. Contudo, esse valor apresenta coerência já que a literatura descreve que a maioria dos cultivares de milho precisa de pelo menos 800 a 900 GD para atingir o início do estágio reprodutivo (BOONS-PRINS et al., 1993). Segundo Barros (1998), a variação dos fatores ambientais, principalmente com relação à temperatura do ar, que influencia a distribuição de carboidratos na planta, é estabelecida de acordo com os estádios de desenvolvimento da cultura, que é condicionado pelo somatório de graus-dia. Assim, foram feitas análises de regressão relacionando estágio fenológico de desenvolvimento (EF) com DAE e GD, para o BR 106,

cujos resultados são apresentados na Tabela 7. Os coeficientes de determinação “ r^2 ” foram elevados para ambas equações, sendo ligeiramente superior na relação entre EF e GD. Em termos de graus-dia, a taxa de desenvolvimento (coeficiente b1) foi de 0,0065. Em condições semelhantes, na Embrapa Milho e Sorgo, Silva (1995) analisou o crescimento de dois híbridos e encontrou taxas maiores entre 0,06965 e 0,07029. Essas taxas que representam a unidade de estágio de desenvolvimento por graus-dia acumulados, foram superiores devido à condição de ontogenia do híbrido, que tem um potencial de produção biológica superior a variedade.

Tabela 7 – Coeficientes b1 e b2 e de determinação para a regressão linear do EF sobre DAE e GD

Variedade	Equação	r^2
BR 106	EF = 0,0065.GD – 1,2856	0,9769
	EF = 0,0040.DAE – 0,7382	0,9670

A partição de fotoassimilados na planta é requisito essencial para que haja crescimento harmônico entre as diversas partes. A distribuição de fotoassimilados é um processo pelo qual os compostos disponíveis para o crescimento são alocados para a formação de folhas, caule e órgão de armazenamento. A distribuição sazonal da matéria seca dos diversos componentes da planta do milho está ilustrada na Figura 9. Até os 32 DAE (Estádio V4), os tecidos foliares contribuíram com mais de 50% da MSa, decrescendo, a partir do V8, em virtude do aumento da matéria seca do colmo, manteve tal comportamento de declínio até o final do ciclo, quando a contribuição das folhas ativas se apresentou com um percentual de apenas 3,20. No período vegetativo a concentração da MSa nos colmos predominou acima de 50% atingindo o patamar de 63% com 56 DAE (01/12), na transição

entre V12 e VT. Nesse intervalo foi observado que as folhas do terço inferior do dossel começaram a senescer, passando esse estrato a não mais contribuir para a atividade fotossintética.

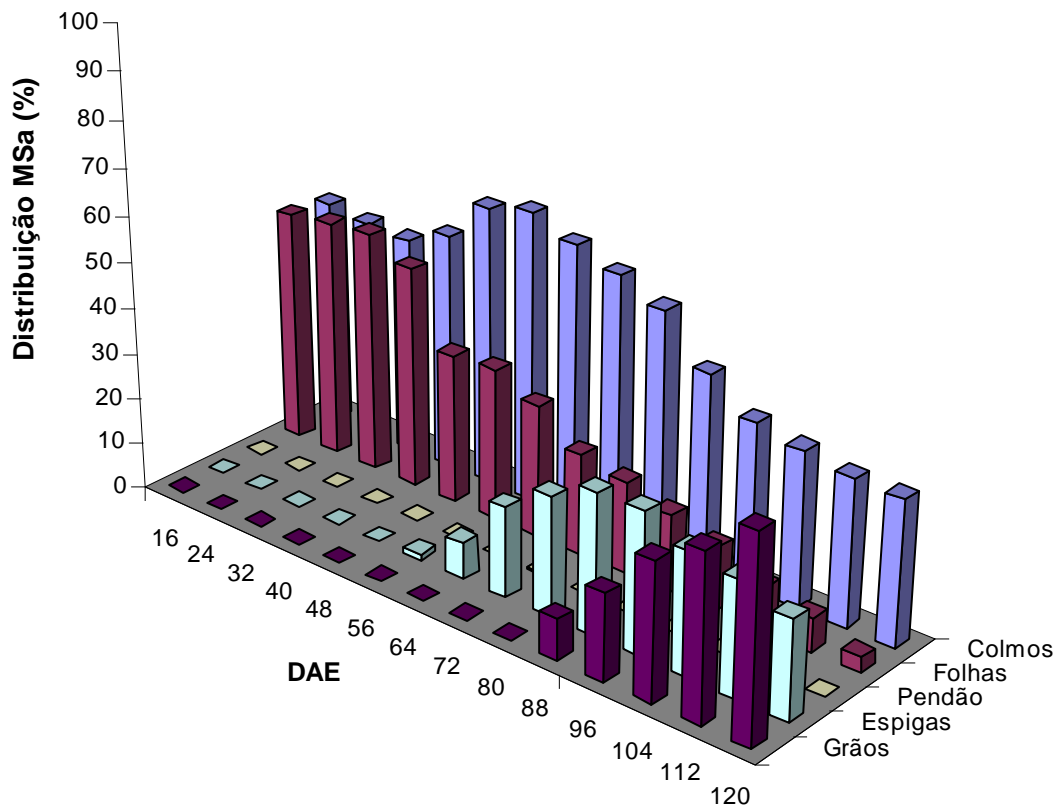


Figura 9 – Distribuição percentual da MSA nos órgãos da planta do milho BR 106 em função do DAE.

O comportamento de destaque do colmo, como dreno metabólico preferencial, foi até 80 DAE, e abrangeu a fase em que os grãos estavam na forma de bolha d'água (R2). Neste mesmo estágio foram iniciadas efetivamente as medidas de matéria seca de grãos (MSG), evidenciando, dessa forma a translocação dos fotossintetizados para os órgãos de reprodução. Em decorrência desse fato, entre o final do florescimento e a maturação fisiológica ocorreu uma queda de concentração percentual dos colmos na MSA de 52,15%

para 31,34%. Por outro lado, houve um acréscimo por parte da MSG passando de 8,9% no estágio de grão leitoso até 43,48% na maturação. Desempenho profícuo quando comparado com os resultados de Aguiar e Moura (2003) que encontraram híbridos que destinavam mais de 70% do material produzido para colmos e palhas. No cômputo da MSG com a palha/espiga e pendão, o valor contributivo total dos órgãos de reprodução subiu para mais de 65%. Os resultados percentuais indicam a capacidade do sistema assimilatório do BR 106 em sintetizar (fonte) e alocar a matéria orgânica nos diversos órgãos (drenos) que dependem da fotossíntese, respiração e translocação de fotoassimilados dos sítios de fixação de carbono aos locais de utilização, ou de armazenamento, onde ocorrem o crescimento e a diferenciação dos órgãos.

A senescência refere-se à perda da capacidade dos processos fisiológicos e de biomassa, principalmente na folhagem. No final de ciclo, as folhas já estavam em avançado estado de senescência, com apenas 3,2% da MSa. Tal fato pode ser comprovado pela área foliar da parte inferior do dossel (AF_{N2}), que a partir dos 80 DAE seguiu em constante declínio, passando de 55% para 26% da área foliar total por ocasião da maturação fisiológica. Já as folhas acima da espiga, AF_{N1} , responsáveis pela maior interceptação da radiação solar para uso das atividades metabólicas, aumentaram a participação percentual na área foliar, atingindo o máximo, no estágio de grão leitoso, com 3.597 cm² dos 4.596 cm² médios existentes por planta (Figura 10). No estágio R5, com os grãos em composição farinácea, a atividade fotossintética era apenas para a manutenção da planta, já que a área foliar total ativa encontrava-se um pouco acima de 738 cm².

As variações da produção biológica da MSa do BR 106 em função do DAE são apresentadas na Figura 11. A evolução da MSa apresentou três fases comportamentais distintas: a inicial, entre a emergência e 33 DAE, caracterizada por um acúmulo menor de biomassa; a intermediária, na qual ocorreu o acúmulo mais rápido entre 40 e 89 DAE, e a final, entre 97 e 120 DAE, na qual o acúmulo se manteve mais constante, com um pequeno decréscimo da MSa no final. Tal comportamento foi similar aos observados por Lima (1995), Silva (1995) e Barros (1998).

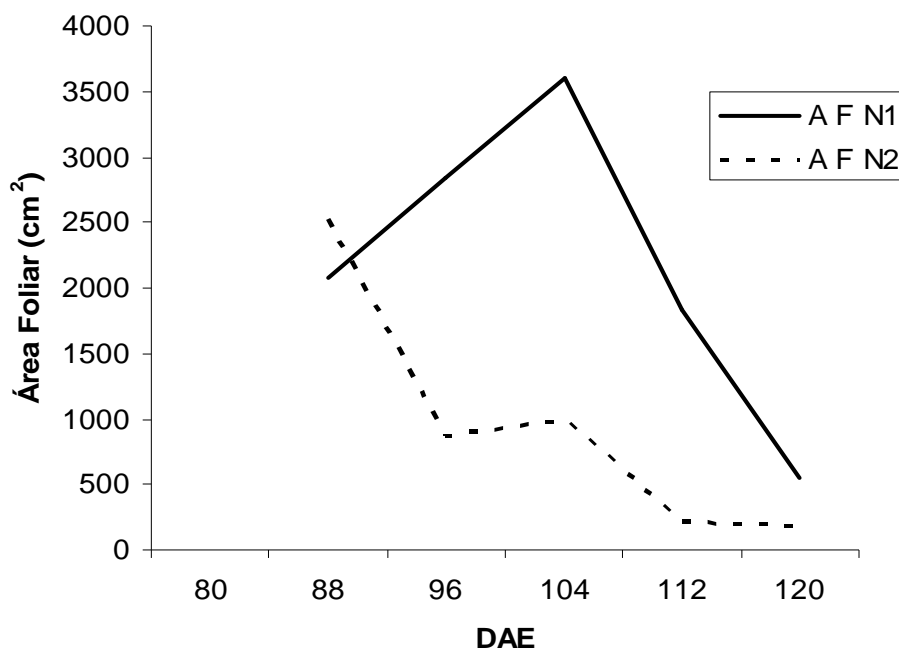


Figura 10 – Área foliar do BR 106 acima da espiga (AF N1) e abaixo da espiga (AF N2), em função do DAE.

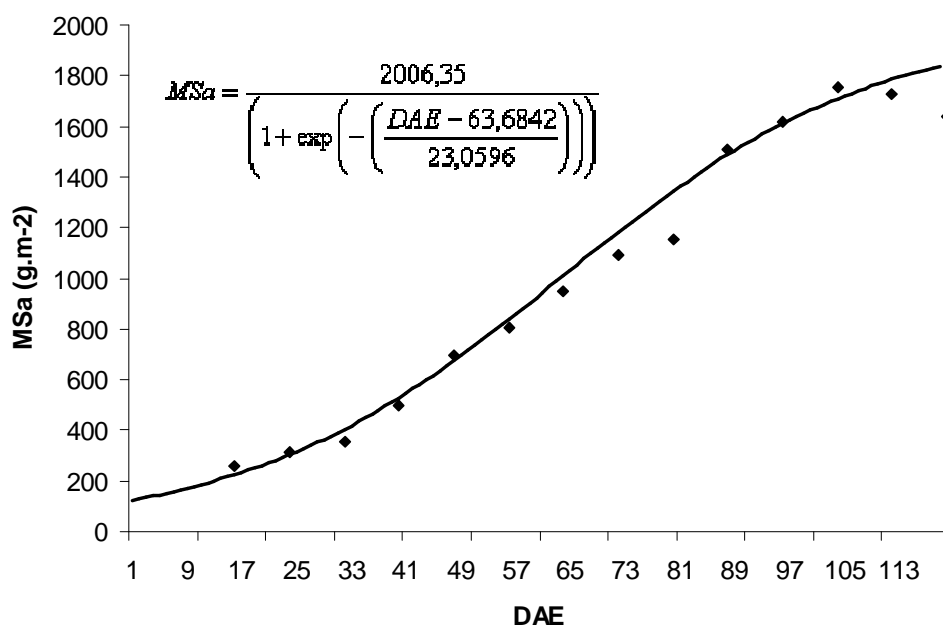


Figura 11 – Matéria seca acumulada em função do DAE.

O contínuo acúmulo de massa seca total na parte aérea da planta atingiu o máximo observado de 1.753 g.m^{-2} , aos 104 DAE, no estágio de grão pastoso. A partir desse estágio, a redução da produção de biomassa do dossel resultou do processo de redefinição de drenos preferenciais. Na realidade, essa redefinição já havia se pronunciado no R1, quando os grãos estavam no início do enchimento, tornado-se mais evidente no R4, pois a perda das folhas senescente se mostrou mais marcante no decréscimo da área foliar ativa em relação à MSa. A luz dessa afirmação será percebida no tópico que trata da interação da RFA com a biomassa, onde a produção da biomassa acumulada cresceu de forma similar à radiação interceptada, refletindo o efeito do IAF no cômputo da MSa. No estágio R6 as plantas reduziram, de forma mais contundente, suas taxas de acúmulo de matéria seca aérea devido às modificações morfofisiológicas necessárias ao suprimento da demanda em fotoassimilados pelas espigas e grãos, além do estado avançado de senescência, em função da perda das folhas do terço médio inferior. Com os dados da MSa foi feito um ajuste descrito por meio de uma equação gaussiana com três parâmetros, cujo coeficiente “a” foi de $2006,35 \text{ g.m}^{-2}$, o qual representa o crescimento máximo hipotético. Para os valores ajustados, a estimativa obtida pela equação resultou num valor máximo de MSa de 1.839 g.m^{-2} aos 119 DAE.

A evolução do IAF do BR 106 em relação ao DAE seguiu o padrão característico de plantas anuais (Figura 12). A curva do IAF foi ajustada ao modelo “pico gaussiano”, com três parâmetros que apresentou limitações na estimativa do início do ciclo da cultura até 46 DAE, mas tornou-se eficiente para o resto do ciclo, inclusive para a rápida senescência foliar. O grau de dispersão dos valores em torno da média foi de 11,58%, indicando que cerca de 88,42% da estimativa do IAF ocorreram próximos aos dados observados em campo. O comportamento do IAF mostrou-se crescente até atingir o ponto de máximo valor decrescendo em função da senescência das folhas basais, sendo esse comportamento atribuído, possivelmente, ao auto-sombreamento.

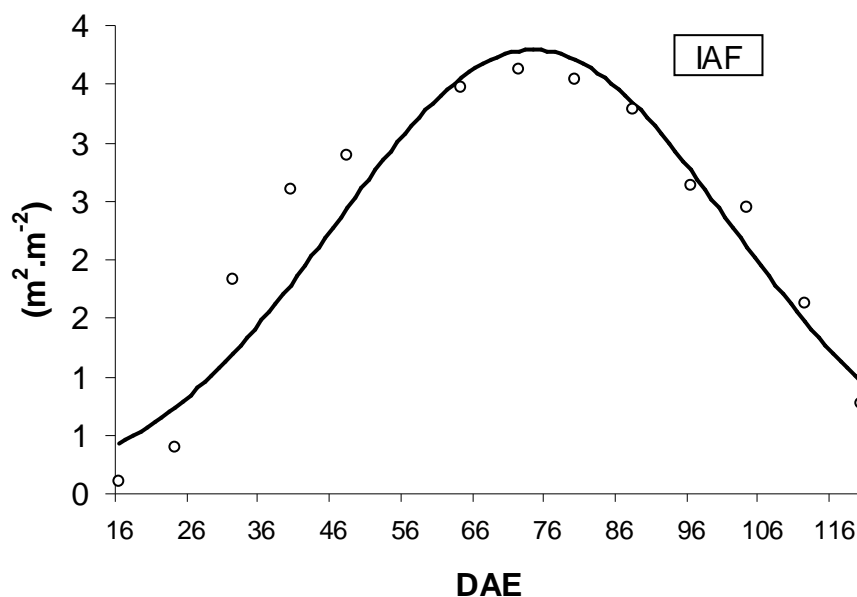


Figura 12 – Evolução do IAF do BR 106 ao longo do ciclo em função do DAE.

Borrás et al. (2003) e Kunz et al. (2007) observaram tendências semelhantes em experimento com a cultura do milho. Os primeiros pesquisadores estudaram diferentes populações, enquanto os segundos analisaram o IAF para dois tipos de manejo de solo, incluindo o plantio direto, semelhante a modalidade de preparo de solo estudado na presente pesquisa com o BR 106. Ainda, no presente estudo, apesar de o *stand* final - de 55.000 plantas por hectares – encontrar-se acima do uso comum para o BR 106, observou-se que os valores de IAF alcançaram o patamar das médias encontradas pelos ensaios nacionais com o BR 106.

O IAF é uma informação importante para o processo fotossintético, já que 80% da radiação solar global, na faixa do espectro do visível, é interceptada quando esse índice alcança de 3 a 5, que é convencionalmente denominada de “dossel fechado”.

Assim, baseado na relevância da informação e visando a possibilidade da estimativa, considerando as condições da área de estudo (em termos de temperatura do ar), a evolução do IAF desde a emergência até o máximo (dossel fechado), sobre os GD acumulados, foi ajustada a um modelo sigmoide com 3 parâmetros, o qual apresentou parâmetros significativos a 1%

pelo teste F, e um coeficiente de determinação de 0,98. O coeficiente “a” referente à estimativa máxima do IAF foi de 3,94 ficando próximo do medido em campo, que alcançou 3,97.

As taxas representadas na análise de crescimento expressam as condições morfofisiológicas da planta e quantificam a produção líquida, derivada do processo fotossintético, sendo assim o resultado do desempenho do sistema assimilatório durante certo período de tempo. Esse desempenho é influenciado pelos fatores bióticos e abióticos à planta (LARCHER, 1995). A TCC é definida como a variação de massa seca (MS) com o tempo (t), e representa a capacidade da planta em produzir biomassa, isto é, sua produtividade primária (PEREIRA; MACHADO, 1987). A TCC apresentou aumentos contínuos com o desenvolvimento da cultura até a fase de florescimento e início de enchimento de grãos, com um rendimento máximo diário de $21,75 \text{ g.m}^{-2}$, decrescendo até o final do ciclo (Figura 13). A taxa máxima de produção de matéria seca está associada com a taxa máxima de transpiração, admitindo-se que os outros fatores são constantes. Desse modo a TCC é maximizada aos valores de IAF significativamente maiores que 3 (SEDIYAMA, 2001). Assim, o BR 106 apresentou sua TCC máxima aos 64 DAE cujo valor de IAF medido foi de 3,47, corroborando dessa forma com o maior desempenho de produção da MSa. Esses resultados são consistentes com os valores de Leal (1993) e Silva (1995), para a cultura do milho, sob condições ambientais semelhantes.

A taxa de crescimento relativo (TCR), apresentada na Figura 14, também é chamada de taxa de crescimento específico, por representar a quantidade de material produzido por unidade de material já existente (PEREIRA; MACHADO, 1987). A TCR apresentou comportamento consistente e decrescente com o tempo, inversamente proporcional ao aumento gradual de tecidos não assimilatórios que contribuíram para a produção biológica da MSa. Além da produção de órgãos não fotossintetizantes, a redução ao longo do ciclo da TCR pode ser explicada pelo autossombreamento crescente em função do aumento do IAF.

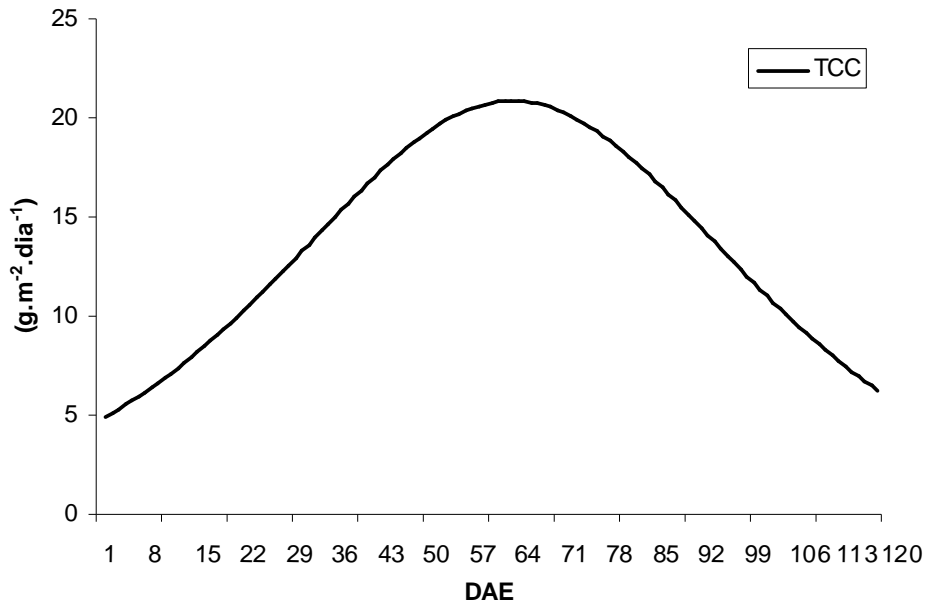


Figura 13 – Taxa de crescimento da cultura do BR 106 em função do DAE.

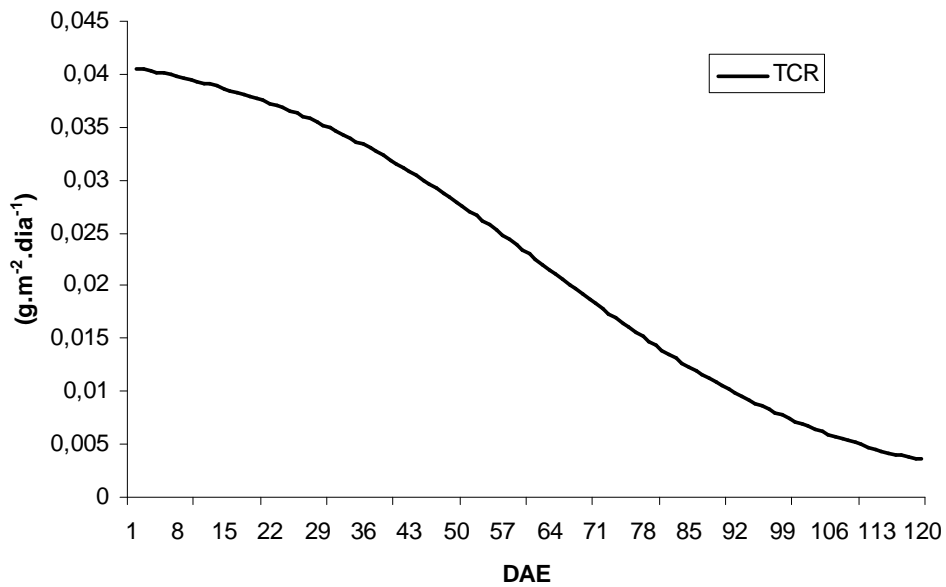


Figura 14 – Taxa de crescimento relativo do BR 106 em função do DAE.

A variação da TAL em função do DAE é apresentada na Figura 15. A TAL depende da radiação fotossinteticamente ativa, das condições internas da planta, do IAF, das condições de umidade do solo, e representa o saldo entre o material produzido pela fotossíntese e aquele perdido pela respiração. O comportamento da curva da TAL mostrou-se elevado no início do crescimento vegetativo, aos 22 DAE, decrescendo posteriormente com a idade da planta. Devido ao aumento recíproco do sombreamento foliar em face do IAF, a taxa de assimilação líquida se correlaciona negativamente com o mesmo, e conseqüentemente, com os demais fatores que influenciam o seu aumento. Em virtude disso, a TAL normalmente decresce durante o crescimento e desenvolvimento de um conjunto de plantas (KVET et al., 1971). Assim, desde o valor máximo, no início do crescimento vegetativo, até o valor mínimo, na maturação fisiológica, a queda na TAL se deve à competição por luz, ao avanço na idade média da área foliar da planta e ao incremento das demandas respiratórias.

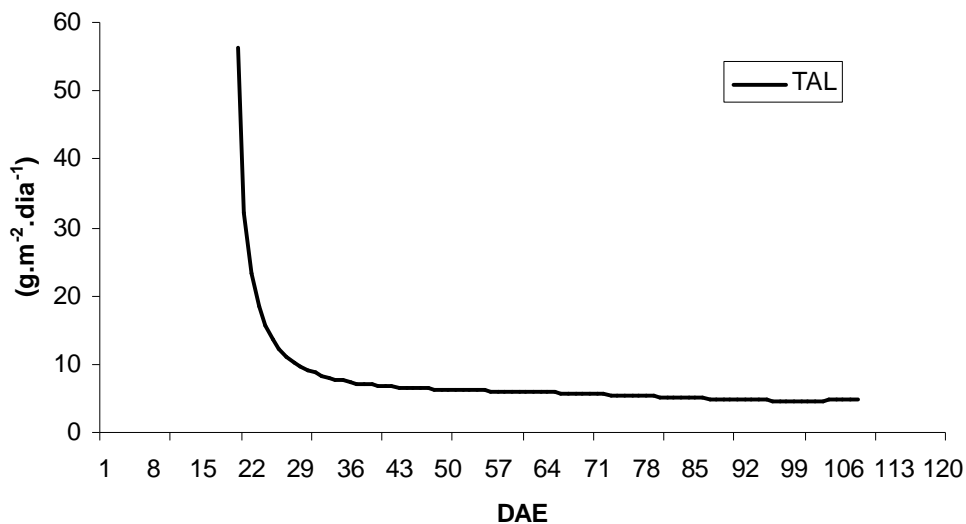


Figura 15 – Taxa de assimilação líquida do BR 106 em função do DAE.

Os dados médios das razões RAF, RMF e AFE estão apresentados na Tabela 8. Os valores médios da AFE aumentaram a sua magnitude à medida que avança do P1 ao P3. Tal comportamento leva a crer que o BR 106, por meio da evolução da matéria seca das folhas ao longo de seu ciclo, registra um favorecimento da eficiência fotossintética de suas plantas, por ter folhas menos espessas, notadamente no P3 com $19,42 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$, permitindo uma diminuição das barreiras internas à entrada tanto da luz como do CO_2 . No P4, houve uma redução no valor da AFE, indicando que houve aumento na espessura das folhas quando a idade do dossel começou a entrar na maturação.

Tabela 8 – Valores médios das RAF, RMF e AFE para o BR 106 nos períodos P1, P2, P3 e P4

Períodos	RAF ($\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$)	RMF ($\text{g}.\text{g}^{-1}$)	AFE ($\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$)
P1	6,13	0,52	7,79
P2	6,44	0,37	16,47
P3	5,05	0,23	19,42
P4	3,60	0,11	18,73

Quanto a RAF, os maiores valores foram encontrados nos P1 e P2, o que naturalmente era esperado, pois essa informação fornece o grau de produção de folhas novas, principalmente no P2, com $6,4 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$, quando ocorre o rápido crescimento vegetativo. Com o crescimento e desenvolvimento das plantas do BR 106, observa-se uma redução absoluta média de $2,84 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ entre os períodos P2 e P4. Esse declínio de 44% justifica-se pelo aumento do autosombreamento das folhas inferiores, além da tendência de diminuição da área foliar a partir do P3 por indução à senescência dessas folhas (BENICASA, 1988). A pequena diferença da RAF de 4,8% entre P1 e P2 indica uma boa eficiência do BR 106 na captação de luz no período vegetativo dessa variedade. Os resultados da RMF mostram que no P1 o BR 106 obteve 0,50 g de matéria seca das folhas por grama de matéria seca total da parte aérea, ou

seja, mais de 50% de sua biomassa seca aérea está na forma de folha, significando que a maioria de seus fotoassimilados foram drenados para a formação de folhas.

Já que a fotossíntese fundamenta-se numa série de reações que resultam na produção de açúcares a partir do gás carbônico e da água, tendo como fonte de energia a radiação solar na faixa espectral do visível (MONTEITH, 1981), e considerando ainda que é um processo físico-químico dependente da densidade de plantio e do arranjo das folhas, representado pelo IAF, foi feita uma análise confrontando o fluxo médio diário de assimilação do CO₂ (F_{co}) com a evolução do IAF para os períodos e P1 a P4 (Figura 16). Os dados do F_{co} foram selecionados no intervalo entre 8 e 18 horas dentro dos períodos considerados. No P1 a assimilação de CO₂ e o IAF se encontravam em seus valores mínimos, pois neste estágio entre V4 e V8 a área foliar média era pequena, representando aproximadamente 14% da área foliar média máxima entre os períodos. Dentro dessa condição, o aparelho fotossintético do dossel do BR 106 proporcionava uma pequena assimilação do CO₂ atmosférico, a saber, 0,79 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Esses resultados enfatizam que o IAF expressa a disponibilidade de superfície assimiladora de CO₂ e da radiação fotossinteticamente ativa do dossel de plantas (MÜLLER et al., 2005).

Na transição do P1 para o período correspondente entre o pendoamento e o início do enchimento de grãos, o IAF aumentou cinco vezes mais, para um patamar de 3,17 $\text{m}^{-2}\cdot\text{m}^{-2}$, e o dossel incrementou quase oito vezes o poder assimilatório do CO₂, alcançando a média diária em torno de 7,65 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, representando o seu valor máximo médio para o todo o ciclo.

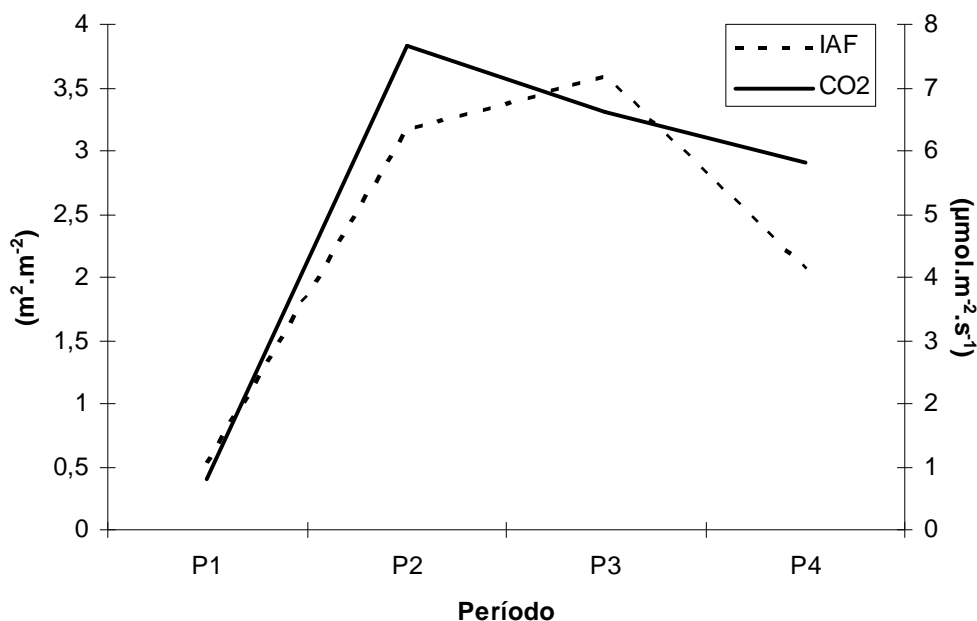


Figura 16 – Variação do IAF e da assimilação de CO₂, para os períodos de P1 a P4.

Nos períodos P3 e P4, que representam a complementação da fase reprodutiva, observa-se um pequeno incremento do IAF, em torno de 12%, em P3, para posteriormente em P4 ocorrer o declínio de aproximadamente 50%. Para o comportamento do CO₂ observa-se uma diminuição de seu fluxo de forma mais gradual até a maturação fisiológica: com 13% (6,61 μmol.m⁻².s⁻¹), entre P2 e P3, e 12% (5,81 μmol.m⁻².s⁻¹) entre P3 e P4. Como foi afirmado anteriormente, existe a relação entre a área foliar e a utilização do CO₂ pelas plantas, e, desse modo, mesmo que a tendência do processo assimilatório não tenha acompanhado o aumento do IAF entre P2 e P3, nota-se que ambos os parâmetros interagem entre si, e tendem a cair com a idade das plantas. A redução do IAF é explicada pela senescência das folhas, em consequência da degradação da clorofila, tornando-as amarelas, o que aumenta a resistência estomática e, em consequência, a resistência à penetração do CO₂ através do mesófilo. Essa observação torna-se mais clara na Figura 17, onde se encontra confrontada a TAL, que mede o aumento líquido da MSa da planta em função da área foliar unitária (g.m⁻²), com a taxa fotossintética, representada pela assimilação de carbono durante o período diurno. Apesar de a maior eficiência

fotossintética ser apresentada no P1, tem-se concomitantemente o menor fluxo assimilado de CO₂, já que a TAL reflete a dimensão do sistema assimilador que está envolvido na produção de matéria seca, ou seja, a baixa demanda respiratória, em razão da pouca biomassa e o rápido surgimento de folhas novas com alta capacidade fotossintética explicam os maiores valores médios da TAL, em torno de 32 g.m⁻². No entanto, sendo um parâmetro fisiológico, a TAL diminui em função do próprio ritmo de crescimento da planta, com taxas de aparecimento e alongamento foliares, proporcionando senescência das folhas primeiramente formadas, já que aumenta a competição por luz e assimilados, que está diretamente ligada à fixação do CO₂ para a produção fotossintética.

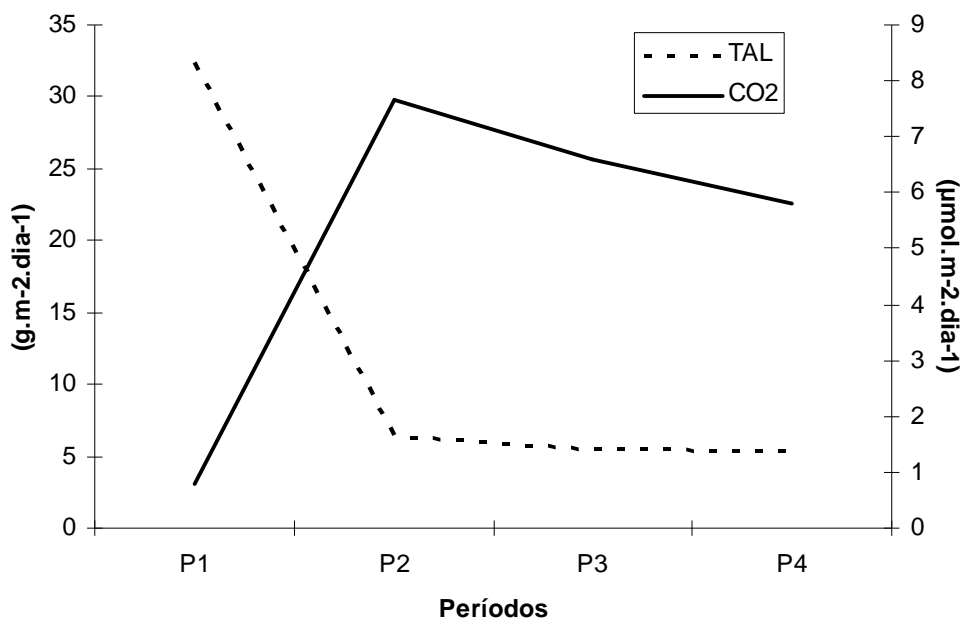


Figura 17 – Variação da TAL e da assimilação de CO₂, para os períodos de P1 a P4.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. D. C. F.; MOURA, E. G. de. Crescimento e produtividade de duas cultivares de milho de alta qualidade protéica em solo de baixa fertilidade. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 429-435, 2003.

ALBUQUERQUE, P. E. P. **Planilha eletrônica para a programação de irrigação em pivôs centrais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 9 p. (Circular Técnica, 25).

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: Funep, 1989.

BARBANO, M. T.; DUARTE, A. P.; BRUNINI, O. et al. Acúmulo térmico e duração do subperíodo semeadura-florescimento masculino em cultivares de milho no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23, 2000, Uberlândia. **Resumos...** Uberlândia: ABMS, 2000. p. 32.

BARROS, A. H. C. **Análise do crescimento, do desenvolvimento e da produtividade da cultura do milho (*Zea mays L.*): experimentos e modelos**. 1998. 85 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BENICASA, M. M. P. **Análise de crescimento das plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42 p.

BERLATO, M.; MATZENAUER, R.; SUTILI, V. R. Relação entre temperatura e o aparecimento de fases fenológicas do milho. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 20, p. 111-132, 1984.

BORRÁS, L.; MADDONNI, G. A.; OTEGUI, M. E. Leaf senescence in maize hybrids: plant population, row spacing and kernel set effects. **Field Crops Research**, v. 82, p. 13-26, 2003.

BRUNINI, O.; BORTOLETO, N.; MARTINS, A.L.M. et al. Determinação das exigências térmicas e hídricas de cultivares de milho. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO "SAFRINHA", 1995, Assis. **Anais...** Assis: IAC/CDV, 1995. p. 141-145.

BRUNINI, O.; MACHADO, E. C.; SAWAZAKI, E.; MIRANDA, L. T. de. Fluxo de gás carbônico sobre as culturas de dois híbridos de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 3, n. 11, p. 161-168, 1999.

CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; RODRIGUES, B. H. N. Uso da exigência térmica para determinação do ciclo dos cultivares de milho sob irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba, SP. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p. 23-25.

CARSWELL, F. E.; COSTA, A. C. L.; PALHETA, M.; MALHI, Y.; COSTA, J. P. R.; LEAL, L. S. M.; COSTA, J. M. N.; CLEMENTE, R. J.; GRACE, J. Seasonality in CO₂ and H₂O flux at an eastern Amazonian rain forest. **Journal Geophysical Research**, v. 107, n. D20, art. 8076, 2002.

COELHO, D. T.; DALE, R. F. An energy-crop growth variable and temperature function for predicting corn growth and development: planting to silking. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 503-510, 1980.

DOURADO-NETO, D. **Modelos fitotécnicos referentes à cultura do milho**. 1999. 227 p. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

FANCELLI, A. L. Milho: ambiente e produtividade. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. (ed.). **Milho: estratégias de manejo para alta produtividade**. Piracicaba: LPV/ESALQ, Departamento de Produção Vegetal, 2003. p. 174-179.

GADIOLI, J. L.; DOURADO-NETO, D.; GARCÍA, A. G.; BASANTA, M. D. V. **Temperatura do ar, rendimento de grãos de milho e caracterização fenológica associada à soma calórica**. 2000.

KUNZ, J. H.; BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. H.; HECKLER, B. M. M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 11, p. 1511-1520, nov. 2007.

KVET, J.; ONDOCK, J. P.; NECAS, J.; JARVIS, P. G. Methods of growth analysis. In: ŠESTÁK, Z.; CATSKÝ, J.; JAVIS, P. G. (Eds.). **Plant photosynthetic production: manual of methods**. The Hague: W. Junk, 1971. p. 341-391.

LARCHER, W. **Physiological plant ecology**. New York: Springer-Verlag, 1995. 506 p.

LEAL, B. G. **Caracterização da radiação solar e análise do crescimento do desenvolvimento de milho (*Zea mays* L.) em três densidades de plantio**. 1993. 55 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2006. 10 p. (Circular Técnica, 76).

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. **Fisiologia do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2002. 23 p. (Circular Técnica, 22).

MAGGIO, M. A. **Acúmulo de massa seca e extração de nutrientes por plantas de milho doce híbrido “tropical”**. 2006. 55 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas, SP.

MALHI, Y.; NOBRE, A. D.; GRACE, J.; KRUIJT, B.; PEREIRA, M. G. P. P.; CULF, A.; SCOTTS, S. Carbon dioxide transfer over a central Amazonian rain forest. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, p. 31593-31612, 1998.

MONTEITH, J. L. Does light limit crop production? In: JOHNSON, C. B. (Ed.). **Physiological process limiting crop productivity**. London: Butterworths, 1981. p. 23-38.

MOURA, E. G. de; TEIXEIRA, A. P. R.; RIBEIRO, V. do S.; AGUIAR, A. das C. F.; FARIAS, M. F. de. Crescimento e produtividade da cultura do milho (*Zea mays* L.) submetido a vários intervalos de irrigação, na região da pré-Amazônia. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 2, p. 169-177, 2006.

MÜLLER, A. G.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I.; RADIN, B.; FRANÇA, S.; SILVA, M.I.G. Estimativa do índice de área foliar do milho a partir da soma de graus-dia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 65-71, 2005.

NOCE, M. A. **Milho variedade BR 106: técnicas de plantio**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2004. 5 p. (Comunicado Técnico, 109).

PEREIRA, A. R.; MACHADO, E. R. **Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 1987. 33 p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ/USP, 1987. 188 p.

SEDIYAMA, G. C. **Princípios que governam o uso de água em relação a produção**: notas de aula. Viçosa: UFV, 2001. 5 p.

SILVA, M. A. V. **Análise de crescimento, desenvolvimento e eficiência do uso da radiação solar para dois cultivares de milho**. 1995. 63 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

STEWART, D. W.; COSTA, C.; DWYER, L. M.; SMITH, D. L.; HAMILTON, R. I.; MA, B. L. Canopy structure, light interception and photosynthesis in maize. **Agronomy Journal**, v. 95, p. 1465-1474, 2003.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Brasília: INMET, 2000. 532 p.

VERMA, S. B. Micrometeorological methods for measuring surface fluxes of mass and energy. **Remote Sensing Reviews**, v. 5, n. 1, p. 99-110, 1999.

VILLA NOVA, N. A. A. et al. **Estimativa de graus dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas máxima e mínima**. São Paulo: Instituto de Geografia/USP, 1972. 8 p. (Caderno de Ciência da Terra, 30).

CAPÍTULO 2

INTER-RELAÇÃO DAS VARIÁVEIS MICROMETEOROLÓGICAS NO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO MILHO BR 106

RESUMO: Objetivando avaliar os efeitos das variáveis microclimáticas sobre as características biométricas, índices e taxas de crescimento em dossel de milho sem restrição hídrica, bem como correlacionar a variação dessas características na assimilação do CO₂, foi realizado um ensaio experimental na área experimental da EMBRAPA Milho e Sorgo em Sete Lagoas-MG, com a variedade BR 106, cultivado sob plantio direto. A eficiência de conversão “ α ” do BR 106, em relação à quantidade de radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada foi de 2,91 g.MJ⁻¹. O acúmulo da RFAI teve relação satisfatória com a produção da biomassa seca aérea acumulada e pode ser um parâmetro adequado para quantificar a produção de biomassa do milho BR 106, utilizando o coeficiente “ α ”. As respostas morfofisiológica e fisiológica em relação às variáveis ambientais, em termos de crescimento, tiveram fortes correlações e foram comprovadas pelas associações intergrupos estabelecidas pela correlação canônica. O uso da estimativa da condutância foliar em função da RFA, indicador de interação gasosa, pode ser importante no monitoramento do crescimento do BR 106, pois informou seu comportamento por meio da análise correlação com fatores ambientais como luz, CO₂ e temperatura e DPV (déficit de pressão de vapor).

PALAVRAS-CHAVE: Correlação; Radiação solar; Análise de crescimento; Micrometeorologia.

INTERRELATION OF VARIABLES MICROMETEOROLOGICAL ON GROWTH AND DEVELOPMENT OF MAIZE BR 106

ABSTRACT: To evaluate the effect of microclimatic variables on the biometric characteristics, indices and growth rates in maize canopy without water restriction and to correlate the variation of these characteristics in the assimilation of CO₂ was carried out experimental testing in the experimental area of Embrapa Milho e Sorgo in Sete Lagoas-MG, with the variety BR 106, grown under no-tillage. The conversion efficiency " α " from BR 106, in relation to the amount of photosynthetic active radiation intercepted accumulated was 2.91 g.MJ⁻¹. The accumulation of PARI (photosynthetic active radiation intercepted) had satisfactory relationship with biomass production and accumulated dry matter air can be a suitable parameter to quantify the biomass production of BR 106, using the coefficient " α ". The responses morpho-physiological and physiological in relation to environmental variables, in terms of growth, and strong correlations have been proven by the associations between groups established by canonical correlation. Using the estimate of leaf conductance as a function of PAR, an indicator of gas interaction may be important in monitoring the growth of the BR 106, as reported behavior by analyzing correlation with environmental factors such as light, CO₂, temperature and VPD (vapor pressure deficit).

KEY-WORDS: Correlation; Solar radiation; Growth analysis; Micrometeorology.

1. INTRODUÇÃO

A caracterização micrometeorológica de uma comunidade vegetal envolve todos os processos de troca de energia e de massa, sendo fundamental o conhecimento do fluxo de CO₂, visto ser este o principal substrato para síntese dos fotoassimilados utilizados no crescimento vegetal (BRUNINI et al., 1999).

O ambiente torna-se causa de correlação quando dois caracteres são influenciados pelas mesmas diferenças de condições ambientais. Valores positivos indicam que os caracteres correlacionados são beneficiados ou prejudicados pelas mesmas causas de variações ambientais, e valores negativos indicam que o ambiente favorece um caráter em detrimento do outro (RAMALHO et al., 1993). Ritchie (2003) verificou que, no conceito geral de produção de milho, a matéria-prima e a luz solar (energia) combina-se com o maquinário interno do híbrido cultivado para produzir matéria seca. Isto significa que o crescimento e a produtividade de uma planta de milho são

funções do potencial genético da planta para reagir às condições ambientais sob as quais ela cresce, pois é o maquinário interno que transforma essas matérias primas em produtos úteis.

Para Fancelli e Dourado-Neto (2000), a fotossíntese, a respiração e a transpiração são processos fisiológicos das plantas que são afetados diretamente pela energia disponível no ambiente. Os fluxos de CO₂ e H₂O entre o dossel e a atmosfera são fenômenos subjacentes à produção vegetal, e desse modo, uma análise dos fatores que controlam a abertura estomática é relevante para a compreensão dos atributos ou das imitações fisiológicas das plantas visando o estabelecimento dos cultivos. Como o impacto das flutuações naturais do microclima na fisiologia do milho não tem sido muito explorado em ambientes tropicais, um estudo que avalie os efeitos da temperatura do ar e do solo, radiação solar, vapor d'água e a interação destas variáveis na taxa de crescimento e assimilação do CO₂ aprofundarão o conhecimento de como as plantas de milho respondem às variações naturais do ambiente e como são por ele afetadas, podendo melhorar o manejo das culturas e mostrar diretrizes para programas de melhoramento de milho.

A radiação solar interceptada por um cultivo desempenha um papel fundamental no microclima em que as plantas crescem, determinando qual a energia disponível para os processos fisiológicos associados com a produção de biomassa. A maneira como a radiação fotossinteticamente ativa é interceptada pelo dossel das plantas é fundamental para a fotossíntese e para a produção da cultura (STEWART et al., 2003). Estudos têm demonstrado relação linear entre fitomassa produzida e a energia radiante absorvida ao longo do ciclo em grande número de espécies (TOLLENAR; BRULSEMA, 1988). No entanto, somente uma fração do espectro solar é utilizada pelas plantas para o processo de acúmulo de matéria seca: a radiação fotossinteticamente ativa (RFA).

A produção da biomassa seca da cultura é função da radiação fotossinteticamente ativa e da eficiência de conversão desta, sendo que tal eficiência é um parâmetro utilizado em modelos de simulação para gerar a fotossíntese líquida de uma cultura (CARON et al., 2002). Segundo Müller et al. (2001), é apropriado que as análises de crescimento de plantas sejam baseadas na avaliação da eficiência pela qual a radiação incidente é utilizada

no acúmulo da biomassa, pois notadamente os vegetais autotróficos são sistemas termodinamicamente abertos e, por isso, necessitam de energia solar para sua sobrevivência. A estimativa da produtividade das culturas é uma prática utilizada para potencializar os ambientes e épocas de cultivo

O presente estudo avaliou o crescimento do BR 106, que é uma variedade de milho ao alcance de todos os produtores brasileiros, independente do seu nível tecnológico, econômico ou social. Apesar da significância dessa variedade, infelizmente inexistem trabalhos relacionados ao estudo específico considerando a eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa em biomassa seca, bem como a avaliar as trocas gasosas (fluxo de CO₂ e condutância estomática) variando com as condições ambientais no dossel, pois a tendência da agricultura moderna é gerar modelos de simulação de crescimento com objetivo de detectar os fatores que possam limitar o cultivo ou mesmo interferir no potencial produtivo de um determinado cultivar (CARON et al., 2002). O presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos das variáveis microclimáticas sobre as características morfofisiológicas, índices e taxas de crescimento do BR 106, bem como correlacionar a variação dessas na assimilação do CO₂.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo da EMBRAPA, Sete Lagoas-MG, numa área de pivot com 38 ha, em condição de ausência de limitação hídrica e em sistema de plantio direto. A semeadura foi realizada em 03/10/2008 utilizando a variedade BR 106, com espaçamento de 0,7 m entre fileiras.

As amostragens para determinação da área foliar da biomassa total da parte aérea foram realizadas em intervalos de oito dias, aproximadamente, com a coleta de plantas contidas em 0,70 m² de terreno. Para a medição de área foliar nessas plantas foi utilizado um planímetro ótico modelo LI 3000A. A biomassa área total foi colocada em estufa de circulação de ar forçada, à temperatura de 65°C, até atingir massa constante para, então, ser determinada a biomassa seca. Os dados de área foliar e de biomassa total (folha, espiga e colmo), representativos de 0,70 m², foram convertidos para valores

correspondentes à área de 1,0 m² de terreno, equivalendo, então, ao índice de área foliar (IAF = área foliar/área explorada de solo) e a biomassa da parte aérea (MSa), respectivamente.

Dados meteorológicos como temperatura do ar, radiação solar global incidente, umidade do ar e precipitação pluviométrica foram obtidos por meio de uma estação automática modelo CR23X da marca *Campbel Científic*, localizada a 300 m do experimento, a qual foi programada para coletar e armazenar dados a cada 30 minutos.

2.1. Cálculo das variáveis de interação entre o dossel e o microclima

2.1.1. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada

A radiação fotossinteticamente ativa interceptada foi calculada a partir da metodologia proposta por Varlet-Grancher et al. (1989):

$$RFAI = 0,95.(RFA_{inc})\varepsilon_{inc} \quad (13)$$

em que $RFAI$ é a radiação fotossinteticamente ativa interceptada (MJ.m⁻²); e ε_{inc} , eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa. Para a estimativa da ε_{inc} foi utilizada a seguinte equação:

$$\varepsilon_{inc} = 1 - e^{-KIAF} \quad (14)$$

em que “K” é o coeficiente de extinção, adimensional. O valor do parâmetro K de acordo com Barros (1998) é de 0,65 para o milho.

2.1.2. Condutância estomática (CE)

A condutância foliar pode ser considerada como uma medida da permeabilidade da folha à difusão de água e CO₂, sendo o fluxo difusivo proporcional à força impulsora e inversamente proporcional à resistência. O controle estomático da condutância foliar ao vapor de água é um importante mecanismo através do qual o vegetal limita a sua perda (SALISBURY; ROSS,

1994; BIANCHI et al., 2007). A CE (mm.s^{-1}), integrada no dossel, foi determinada por meio da seguinte equação:

$$CE = CE_f IAF \quad (15)$$

em que CE_f é a condutância estomática estimada em função da RFA incidente ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), a partir do ajuste feito no modelo de Gates (1980), preconizado por Radin et al. (2000):

$$CE_f = \frac{1,39.RFA}{1 + (0,0024.RFA)} \quad (16)$$

2.1.3. Coeficiente fototérmico (CF)

O CF foi calculado com base nas RFA incidente, em MJ.m^{-2} e temperaturas do ar, conforme a seguir:

$$CF = \frac{RFA}{T_a - T_b} \quad (17)$$

em que T_a é a temperatura média; e T_b , a temperatura basal mínima para o BR 106 (10°C)

2.1.4. Unidade fototérmica

Para explicar a o desenvolvimento da cultura do milho e produtividade de massa seca, calculou-se a unidade fototérmica (UF), por ser uma variável climática que combina a ação da temperatura e do fotoperíodo. A unidade fototérmica foi definida por Villa Nova et al. (1983) pela equação:

$$UF = \frac{\left(\frac{N}{2} GDA\right)^{\frac{N_f}{N_i} + 1}}{\frac{N_f}{N_i} + 1} \quad (18)$$

em que N é o número de dias do período; N_f , o valor do fotoperíodo (horas e décimos) no final do período; e N_i , o valor do fotoperíodo (horas e décimos) no início do período de crescimento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Crescimento e temperatura

A fim de incorporar os efeitos da temperatura do ar ao longo do ciclo da cultura, foi avaliada a taxa de crescimento do BR 106 considerando a relação entre MSa e os graus-dia (Figura 18). Durante o P1, entre o VE e o V8, com 528 GD_{ACUM} , houve uma redução de 80% na eficiência da produção de matéria seca por GD_{ACUM} , passando de 4 para $0,81 \text{ g.m}^{-2} \cdot GD_{ACUM}^{-1}$. No final do P2, por volta de 908 GD_{ACUM} , foi verificado pequeno aumento para $1,06 \text{ g.m}^{-2} \cdot GD_{ACUM}^{-1}$, indicando maior crescimento por ocasião do florescimento, e atingiu o patamar de $1,16 \text{ g.m}^{-2} \cdot GD_{ACUM}^{-1}$ no P3, para um posterior decréscimo até a maturação fisiológica com uma taxa de $1,05 \text{ g.m}^{-2} \cdot GD_{ACUM}^{-1}$.

O comportamento da taxa de crescimento em função do GD_{ACUM} , ao longo do P1, é justificado pelas amplitudes do GD diário que foram elevadas, devido às grandes diferenças da temperatura média diária (Figura 19), gerando maiores valores de graus-dia, com pouca MSa . A pouca variação da taxa de crescimento nos períodos P2, P3 e P4, mostra que os estoques hídricos não restritivos ao crescimento constituíram como fator preponderante para o BR 106 expressar sua eficiência de crescimento em termos de GD_{ACUM} , pois apesar de reduzir sua TCC de $15,11 \text{ g.m}^{-2}$ aos 908, para $6,40 \text{ g.m}^{-2}$, aos 1674 GD_{ACUM} a queda da taxa de produção de matéria seca por graus-dia acumulados foi de apenas 9%.

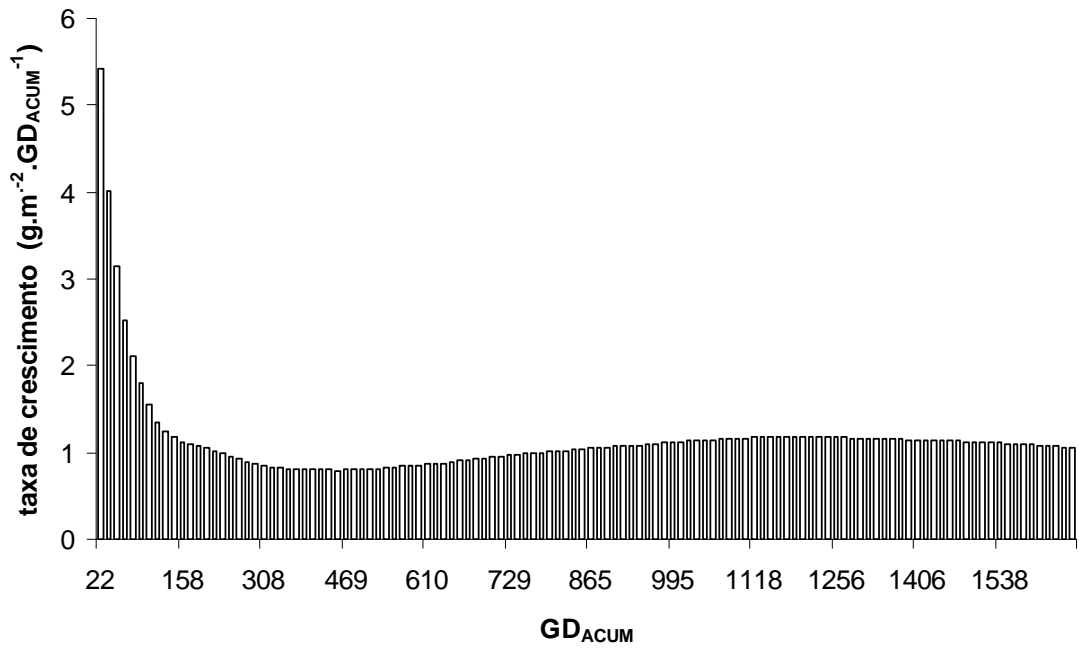


Figura 18 – Taxa de crescimento do BR 106 por graus-dia acumulados (GD_{ACUM}).

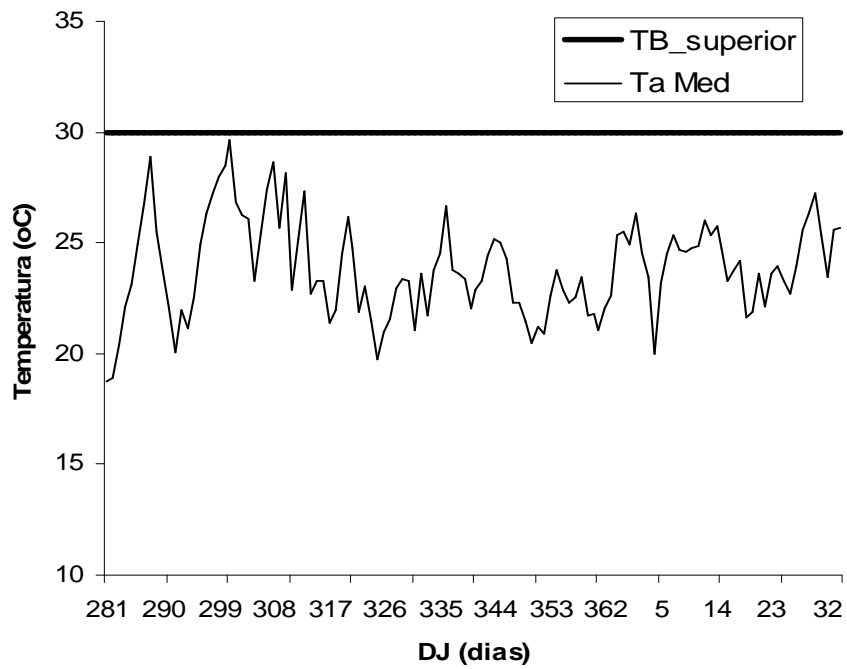


Figura 19 – Variação da temperatura média do ar.

3.2. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em biomassa

Num determinado ambiente, quanto maior for a fotossíntese líquida, resultante dos efeitos combinados entre fotossíntese total e respiração durante a fase de crescimento, tanto maior será a produtividade biológica da matéria seca total das plantas de uma cultura do milho. Quanto maior for a eficiência de interceptação da radiação pelas plantas, diretamente influenciada pelas condições ambientais a que estiverem sujeitas, pela população e arranjo espacial utilizado, bem como pela extensão da área foliar e permanência das mesmas em plena atividade, tanto maior será a fotossíntese líquida. A radiação fotossinteticamente ativa acumulada (RFA_{L_ACUM}) ao longo do ciclo do BR 106, e os dados ajustado pela função sigmoideal (3 parâmetros) são apresentados na Figura 20. Observa-se que foram demandados em torno de 550 MJ.m^{-2} de radiação RFA em todo o ciclo da cultura, sendo esses valores inferiores aos encontrados por Lindquist et al. (2005), Kunz et al. (2007) e Silva et al. (2008), os quais estiveram acima de 650 MJ.m^{-2} . A disponibilidade da RFA no período experimental foi reduzida pelo alto índice de nebulosidade que chegou a valores em torno de 100% para alguns dias. Na fase pós-florescimento, a RFA foi reduzida em 18% quando comparada com a média para todo o período. Em face disso, a cultura do milho não exibiu saturação de luz, mesmo com um regime completo de brilho solar, e, por conseguinte, os maiores fluxos de radiação não garantiram o aumento da eficiência de uso por parte da planta. Na Figura 21 é apresentada a curva de crescimento da RFA interceptada obtida pela derivada da função sigmoideal que estimou a RFA_{L_ACUM} . Pelo fato de a estimativa da RFA interceptada considerar a RFA incidente e o IAF, e, sendo este último componente do acúmulo de biomassa, observa-se que a RFA_{L_ACUM} cresce diariamente acompanhando o desenvolvimento das plantas de milho. A tendência de aumento vai até que o dossel alcance a cobertura máxima do solo, ou seja, quando o IAF é máximo, logo após o estágio VT, no qual a interceptação chegou a $7,79 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. A partir do estágio R1 a radiação interceptada decresceu diariamente até o estágio R6, período em que as plantas apresentaram a área foliar bastante reduzida, bem como a atividade fotossintética.

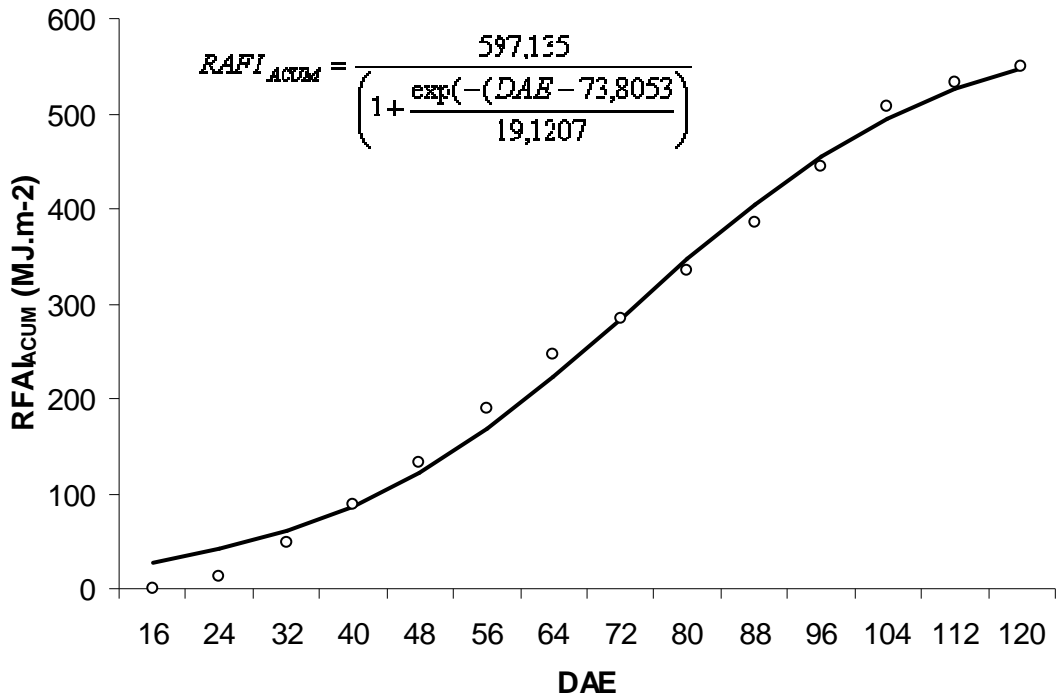


Figura 20 – Radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada (RFA_{ACUM}) em função do DAE.

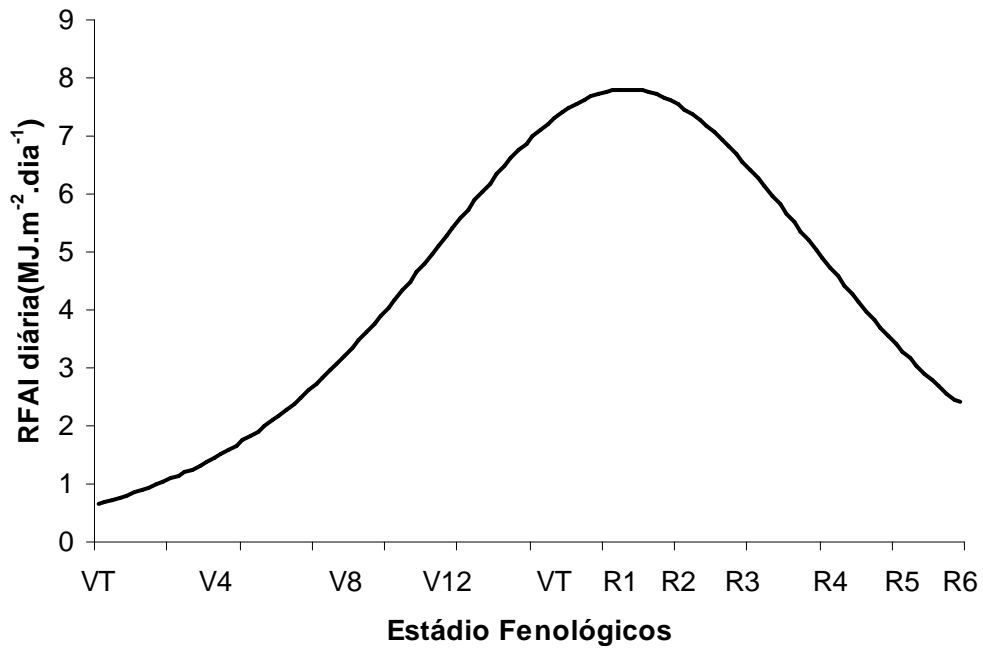


Figura 21 – Interceptação diária da RFA em função do DAE.

Segundo Caron et al. (2002) e França et al. (1999), a eficiência de uso da radiação “ α ”, pode ser calculada por meio da regressão linear entre a MSa e a RFAI_{ACUM} (radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada) envolvida na produção da biomassa. O valor de “ α ”, dado pelo coeficiente angular, representa a quantidade de biomassa formada para cada unidade de energia interceptada. Por meio da Figura 22 observa-se que os dados experimentais se ajustaram estatisticamente a uma regressão linear positiva entre MSa e a RFAI_{ACUM} apresentando um padrão de resposta crescente de biomassa seca em função do acréscimo da radiação fotossinteticamente ativa. A partir dos resultados apresentados pode-se afirmar que o BR 106 possui um alto potencial para converter a RFA em biomassa, apresentando eficiência de conversão “ α ” de 2,91 g.MJ⁻¹, com um coeficiente de determinação de 0,98. Essa afirmação fundamenta-se devido esse valor se encontrar acima do potencial para a cultura do milho, proposto por Gosse et al. (1986), que é de 2,49 g.MJ⁻¹. Não obstante, a eficiência de conversão do BR 106 apresentou-se abaixo das registradas em trabalhos desenvolvidos por Kiniry et al. (1989), Cirilo e Andrade (1994), de 3,3 g.MJ⁻¹ e Ferreira Júnior et al. (2007), de 3,5 g.MJ⁻¹, 3,3 g.MJ⁻¹ e 3,5 g.MJ⁻¹, respectivamente. Segundo Andrade et al. (1993), as temperaturas médias abaixo de 20°C tendem a reduzir a eficiência de uso da radiação, porém, as médias para os períodos de P1 a P4 estiveram acima de 27°C.

Detomini (2008) preconizou que o aumento considerável nos valores das temperaturas médias poderia reduzir o tempo de ciclo da cultura do milho e elevar o valor da eficiência de uso da radiação nas fases de florescimento e enchimento de grãos. Ao longo do período experimental, apesar de ser observado um pequeno decréscimo de temperatura do P2 (23,12°C) para o P3 (22,35°C), seguido de um aumento para o P4 (24,25°C), a eficiência “ α ” para a produção de grãos com 3,77 g.MJ⁻¹ foi superior 22% em relação a MSa (Tabela 9 e Figura 23).

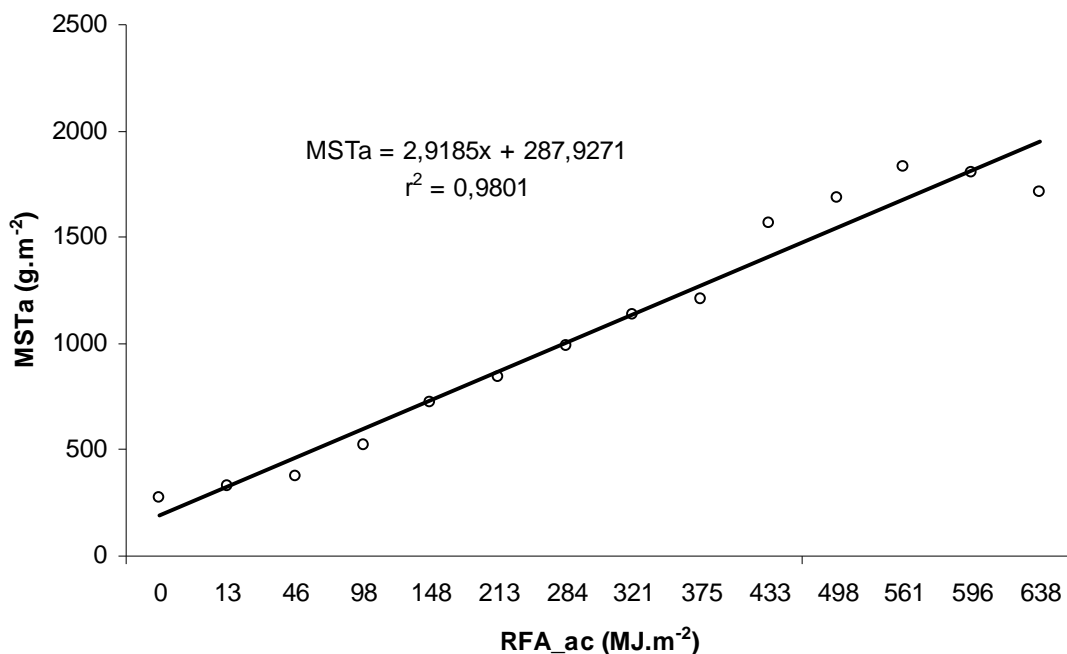


Figura 22 – Relação entre a radiação fotossinteticamente ativa interceptada, $RFA_{ACUM}(MJ.m^{-2})$, e a produção da matéria seca da parte aérea acumulada, $Msa(g.m^{-2})$.

Tabela 9 – Dados médios diários das temperaturas média, máxima e mínima, para os períodos estudados

Temperatura (°C)	Média	Períodos			
		P1	P2	P3	P4
Média	23,63	24,80	23,12	22,35	24,25
Máxima	29,67	31,67	28,91	27,33	30,77
Mínima	17,05	16,34	16,44	17,23	18,21

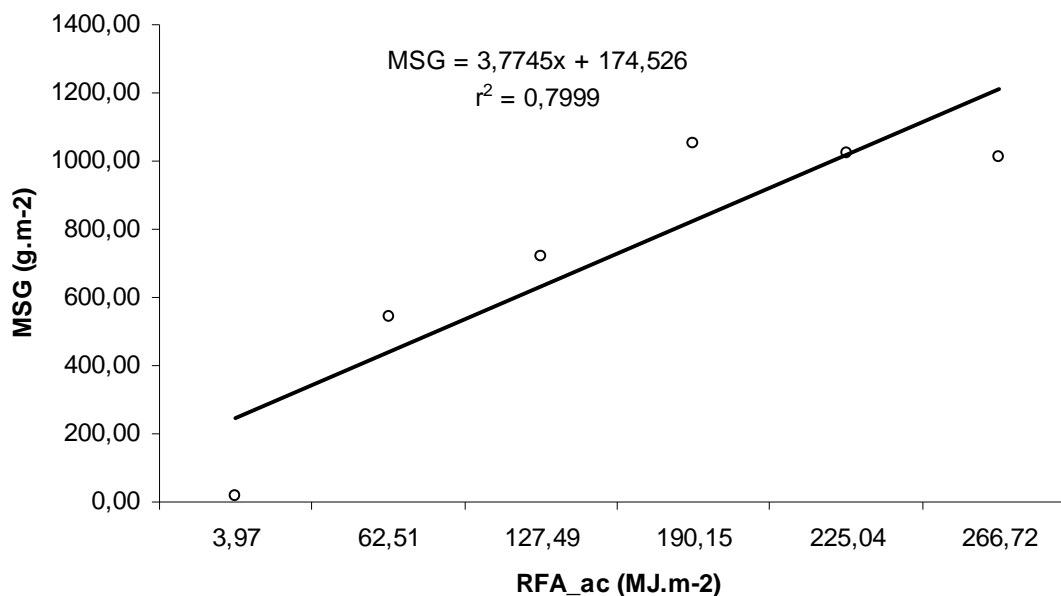


Figura 23 – Relação entre a radiação fotossinteticamente ativa interceptada, RFA_ac (MJ.m⁻²), e a produção da matéria seca da parte aérea acumulada, MSG (g.m⁻²).

Tomando por base o valor de 2,91 g.MJ⁻¹, encontrado para o BR 106, com espaçamento de 0,7m, Kunz et al. (2007) demonstraram que a redução do espaçamento de 0,8 m para 0,4 m promove um aumento de mais de 110% eficiência α , no sistema de plantio direto irrigado do milho. Ressalta-se, porém, que a eficiência de conversão pode variar entre os subperíodos do desenvolvimento da cultura. Müller et al. (2001) verificaram para o milho, a eficiência de conversão foi de 1,71 g.MJ⁻¹, da emergência até a nona folha expandida, e de 3,58g MJ⁻¹, para o final do subperíodo vegetativo até o enchimento de grãos.

3.3. Associação entre parâmetros da planta e variáveis meteorológicas medidas no microclima do dossel

Além da concentração de CO₂, a intensidade luminosa, a temperatura e a umidade do solo são fatores que afetam a atividade fotossintética dos vegetais (MARENGO; LOPES, 2005). O conhecimento das respostas morfofisiológicas das plantas em decorrência de alterações nos níveis desses

fatores, em um dossel, é necessário para determinação de práticas de manejo a serem adotadas.

Na Tabela 10 são apresentadas as correlações que indicam o grau de associação entre variáveis morfofisiologia do BR 106 e as variáveis ambientais. Nessa tabela, observa-se a ausência de relação linear significativa da U_{SOLO} com os ALT, MS Col, Msa, UF, GD_{ACUM} , e $RFAI_{ACUM}$, bem como uma fraca relação com MS Fol e CF. Semelhantemente, repetem-se pequenas correlações não significativas da U_{SOLO} com os índices fisiológicos na Tabela 11. Esse fato ocorreu devido a uma pequena de amplitude na umidade no solo, pela não ocorrência de déficit hídrico, contribuindo para que a relação causa-efeito não se mostrasse bem definida entre essas variáveis, pois o sistema de plantio direto favorece a uma maior retenção de água.

Tabela 10 – Correlação entre os parâmetros morfofisiológicos da planta e os ambientais observados ao longo do ciclo do BR 106

	ALT	MS Col	MS Fol	Msa	CF	UF	GD_{ACUM}	$RFAI_{ACUM}$	U_{SOLO}
ALT	1,000	0,986**	0,169	0,877**	-0,451	0,885**	0,872**	0,848**	-0,047
MS Col		1,000	0,270	0,843**	-0,375	0,936**	0,818**	0,797**	-0,056
MS Fol			1,000	-0,191	0,332	0,527	-0,256	-0,309	-0,136
Msa				1,000	-0,471	0,659*	0,979**	0,986**	-0,036
CF					1,000	-0,205	-0,600*	-0,554*	0,179
UF						1,000	0,611*	0,586*	-0,040
GD_{ACUM}							1,000	0,992**	-0,042
$RFAI_{ACUM}$								1,000	-0,011
U_{SOLO}									1,000
Média	1,84	467,70	206,61	1070,28	0,57	6264,50	956,24	251,19	0,18
DP	0,91	188,81	63,89	556,17	0,11	3386,56	438,85	186,39	0,12

ALT = altura da planta (m); MS Col = matéria seca colmos ($g.m^{-2}$); Msa = matéria seca total da parte aérea ($g.m^{-2}$); CF = coeficiente fototérmico; UF = unidade fototérmica média acumulada no período; GD_{ACUM} = graus-dia acumulados no período ($^{\circ}C.dia^{-1}$); $RFAI_{ACUM}$ = Radiação Fotossinteticamente Ativa Interceptada no período; ($MJ.m^{-2}$); U_{SOLO} = variação da umidade do solo no período (m^3 de $H_2O.m^{-3}$ de solo).

**= significativo a 1% (teste t); * = significativo a 5% (teste t).

Tabela 11 – Correlação entre indicadores fisiológicos da planta e os ambientais observados ao longo do ciclo do BR 106

	TCC	IAF	TAL	RAF	AFE	RI	CF	GD	RFAI	n	U _{SOLO}
TCC	1,000	0,809	-0,362	0,776**	0,487	0,478	0,309	-0,690**	0,694**	-0,309	-0,041
IAF		1,000	-0,75**	0,320	0,825**	0,529	0,104	-0,635*	0,701**	-0,325	0,350
TAL			1,000	0,006	-0,96**	-0,170	0,294	0,583*	-0,498	0,267	-0,536
RAF				1,000	0,144	0,069	0,333	-0,632*	0,541	-0,269	-0,370
AFE					1,000	0,225	-0,130	-0,680*	0,652*	-0,326	0,449
RI						1,000	0,508	-0,019	0,451	0,337	-0,161
CF							1,000	0,151	0,599*	0,487	-0,499
GD								1,000	-0,463	0,688*	-0,104
RFAI									1,000	0,039	-0,077
n										1,000	-0,376
U _{SOLO}											1,000
Média	15,61	2,358	7,896	3,899	15,91	256,06	0,561	13,942	5,284	5,887	0,356
DP	4,772	1,102	3,871	1,882	5,613	122,57	0,112	1,468	2,008	2,230	0,028

TCC = taxa média de crescimento da cultura ($\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$); IAF = índice de área foliar ($\text{m}^2.\text{m}^{-2}$); TAL = taxa de assimilação líquida ($\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$); RAF = razão de área foliar ($\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$); AFE = área foliar específica ($\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$); RI = radiação solar incidente (W.m^{-2}); GD = graus-dia médios no período ($^{\circ}\text{C}.\text{dia}^{-1}$); n = brilho solar (horas e décimos); U_{SOLO} = umidade média do solo no período (m^3 de $\text{H}_2\text{O}.\text{m}^{-3}$ de solo).

** = significativo a 1% (teste t); * = significativo a 5% (teste t);

O coeficiente fototérmico não influenciou fortemente a variação diária de crescimento dos colmos e das folhas, mas mostrou uma relação negativa mediana com a ALT (-0,451) e com a produção biológica da MSa (-0,471). Essas relações ocorreram, pois, metodologicamente, o CF é normalizado pelo saldo entre temperatura média do ar e a temperatura basal inferior, sendo este saldo inversamente proporcional ao CF. Assim, dentro das condições experimentais, no qual apresentou atenuação da radiação pela nebulosidade, aliada a uma amplitude média de 12°C ao longo do ciclo, gerou-se pequenos valores de CF, aumentando a predisposição do metabolismo da planta para o crescimento. Comprova-se pela alta correlação entre MSa, e ALT, com o GD_{ACUM} (altamente significativa), e uma correlação negativa do GD_{ACUM} com o CF.

No período experimental foi observado que o aumento da radiação interceptada promoveu o incremento da MSa (0,968), MS Col (0,797) e ALT (0,848). O comportamento dessas correlações é natural, pois a planta, em termos de produção de matéria seca total, tem aumento cumulativo semelhante ao da RFAI (Figura 20). No caso da MS Col, houve um pequeno decréscimo da relação, pois esta aumenta até a fase de pendoamento e depois decrescer

passando a ser dreno metabólico até a maturação fisiológica, independente da quantidade de radiação interceptada. Para a ALT, tendo em vista seus valores alcançarem a um patamar e não decrescerem até o final do ciclo, a correlação foi mais forte com a $RFAI_{ACUM}$. Apesar de se apresentar não significativa, destaca-se a correlação negativa da $RFAI_{ACUM}$ com a MS Fol, devido o processo de senescência pós-florescimento.

Pela Tabela 11 nota-se claramente que o GD médio diário, para o período considerado, teve correlações significativas para todos os indicadores fisiológicos do BR 106. Explica-se tal fato por a temperatura ser um fator ambiental que intervém em praticamente todas as funções da planta, embora se trate de uma condição para a função e não de uma matéria prima. Os efeitos negativos em relação à TCC, IAF RAF e AFE diz respeito a queda da área foliar que se acentuou no início dos estádios reprodutivos. Mesmo assim, em relação à TCC, sabe-se que esta tende a diminuir a medida que a temperatura se afasta da ótima.

A utilização dos coeficientes simples de correlação (Tabelas 10 e 11) possui relevância para a quantificação da associabilidade entre duas características. Entretanto, muitas vezes, o interesse é estudar as inter-relações de grupos de características. A técnica recomendada nessa situação são as correlações canônicas. A técnica de correlações canônicas estima a máxima correlação entre dois grupos de variáveis, compostos por combinações lineares dos vários caracteres que os constituem (TRUGILHO et al., 2003). Assim, foram realizadas análises de correlação canônica para verificar as associações existentes entre o grupo de parâmetros morfofisiológicos da planta (Grupo I) e os ambientais (Grupo II) e entre os indicadores fisiológicos da planta (Grupo III) e os ambientais (Grupo IV) observados ao longo do ciclo do BR 106.

Por meio da Tabela 12, analisando o primeiro par canônico, com coeficiente de correlação de 0,99, é possível identificar que o BR 106 tende a diminuir sua produção total de biomassa a partir da diminuição da $RFAI_{ACUM}$. No segundo par, também com alto coeficiente (0,97), verificou-se que o aumento da MS Col está condicionado ao aumento dos GD_{ACUM} e das unidades fototérmicas, porém, relacionado com a redução da $RFAI_{ACUM}$. Portanto para esses Grupos, informado pelo primeiro par canônico, a análise fundamentada

nas correlações canônicas ratificou o resultado já encontrado no estudo das correlações simples. Cumpre ressaltar que o fato de ser um tecido não assimilatório e apresentar uma tendência inversa com a $RFAI_{ACUM}$, ao longo de todo o período reprodutivo, poderia ser a causa da correlação inversa entre a $RFAI_{ACUM}$ e a MS Col, no segundo par canônico.

Tabela 12 – Coeficientes de correlação canônicas e pares canônicos estimados entre parâmetros morfofisiológicos da planta (Grupo I) e os ambientais (Grupo II) observados ao longo do ciclo do BR 106

Grupo	Parâmetro	Pares canônicos	
		1	2
I	ALT	-0,215943	-0,416116
	MS Col	0,031075	1,290020
	MS Fol	0,161176	0,543828
	Msa	-0,799260	-0,538729
II	CF	-0,04721	0,09659
	UF	-0,02456	1,14080
	GD_{ACUM}	0,05300	1,31918
	RFAI_{ACUM}	-1,06302	-1,94886
	U _{SOLO}	0,01351	-0,04668
α (%)		7,9E-08	0,001978
r		0,997123	0,978148

α (%)= nível de significância; r = correlação.

Pela Tabela 13, verifica-se que associações intergrupos (III e IV) são estabelecidas, pelas influências do primeiro par canônico, com “r” igual a 0,99, que associou o aumento da TCC e da AFE com o aumento da RFA interceptada no período, e com a queda do GD, também para o período. Com coeficiente de correlação de 0,96, no segundo par canônico foi verificado que o aumento da TAL e do IAF está associado ao aumento do brilho solar e do coeficiente fototérmico.

Tabela 13 – Coeficientes de correlação canônicas e pares canônicos estimados entre indicadores fisiológicos da planta (Grupo III) e os ambientais (Grupo IV) observados ao longo do ciclo do BR 106

Grupo	Parâmetro	Pares canônicos	
		1	2
III	TCC	0,96149	-2,95487
	IAF	-1,05295	3,34217
	TAL	-0,63940	3,34916
	RAF	-0,04001	1,46219
	AFE	0,70753	1,70717
IV	RI	0,002741	0,06976
	CF	-0,557541	0,93152
	GD	-0,704372	0,49145
	RFAI	0,688400	0,21438
	n	0,432156	-1,12609
	U_{SOLO}	0,131805	-0,16866
r		0,998083	0,968563
α (%)		0,000422	0,080234

α (%) = nível de significância; r = correlação.

As correlações canônicas, das Tabelas 12 e 13, para o primeiro e o segundo par canônico, foram significativas em nível de 1% de probabilidade, pelo teste χ^2 , indicando que os grupos considerados (I e II, e, III e IV) não são independentes.

3.4. Associação entre variáveis meteorológicas e variáveis de intercâmbio gasoso

Segundo Larcher (2000), a capacidade fotossintética é uma característica intrínseca de cada espécie vegetal, sendo que as trocas gasosas mudam durante o ciclo do desenvolvimento do indivíduo e dependem do curso sazonal e até mesmo do curso diário das flutuações ambientais (luz, temperatura, etc.) em torno do vegetal. Sendo assim, a análise da associação

entre variáveis meteorológicas e variáveis de intercâmbio gasoso foi feita a partir dos dados oriundos da média diária das 8 às 16 horas (Tabela 14).

Tabela 14 – Correlação entre indicadores fisiológicos da planta e os ambientais observados ao longo do ciclo do BR 106

	CE	Fco	RFA	Ta	UR	Ψ	DPV
CE	1	-0,669*	0,551	0,642*	-0,689*	-0,714*	0,739*
Fco		1	-0,096	-0,534	0,625	0,646*	-0,648*
RFA			1	0,485	-0,305	-0,343	0,454
Ta				1	-0,785**	-0,788**	0,913**
UR					1	0,998**	-0,962**
Ψ						1	-0,968**
DPV							1
Media	1021,96	-13,2624	1502,568	27,70952	61,04333	-74,0403	1,593287
DP	521,135	6,9485	458,045	3,76708	16,6618	37,768	0,85345

CE= condutância estomática ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$); Fco= fluxo de CO_2 ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$); RFA = radiação fotossinteticamente ativa incidente ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$); Ta= temperatura média horária ($^{\circ}\text{C}$); UR = umidade relativa (%); Ψ=potencial de água na atmosfera (MPa); DPV= deficit de pressão de vapor (Kpa)
 **= significativo a 1% (teste t); * = significativo a 5% (teste t);

Considerando a importância da caracterização do efeito interativo dos fatores ambientais e da planta sobre a sensibilidade dos estômatos, foi observada uma significância na correlação da CE com o F_{co} , mostrando-se ser negativa, ou seja, o aumento da CE seguiu de uma maior assimilação de CO_2 . Em desdobramento afirma-se que o movimento estomático é o meio mais rápido que a planta dispõe para ajustar-se às variações ambientais a que os órgãos fotossintéticos são submetidos. Dentro dessa assertiva a CE se correlacionou negativamente com a variação da UR (-0,689) e Ψ (-0,714) como mecanismo de resposta antecipada para evitar a perda de água, pois condições propícias à fixação de carbono favorecem a abertura dos estômatos.

Apesar de não ser significativa, a correlação entre CE e RFA foi positiva, indicando que o aumento da radiação concorreu para o aumento da condutância. Em contrapartida Taiz e Zieger (2004) afirmaram que o excesso de radiação absorvida pela planta pode promover um aumento de sua

temperatura, proporcionando um incremento no fluxo transpiratório. Quando esse fluxo for maior que o fluxo hídrico da folha, ocorre o fechamento dos estômatos, a fim de evitar que a planta entre em déficit hídrico. Como apresentado na Tabela 11, a taxa de crescimento se correlaciona positivamente com a radiação interceptada, podendo assim ter uma situação na qual a CE seria reduzida. No presente caso, justifica-se a correlação positiva, tendo em vista o ambiente de desenvolvimento do BR 106 se encontrar sem restrição hídrica. Segundo Bianchi et al. (2007), mesmo com pequenos períodos de estiagens a CE pode se manter elevada em cultivos de plantio direto, pois o solo consegue armazenar maior quantidade de água, contribuindo para que a taxa de crescimento da planta não seja afetada.

Apesar do F_{co} não se correlacionar de forma significativa com a T_a , nota-se que existe uma correlação negativa entre eles, pois à medida que se aumenta a T_a , há um correspondente incremento na atividade carboxilativa da Rubisco, e, por conseguinte maior assimilação de CO_2 . Salienta-se que esse estado é condicionado a condições atmosféricas normais de concentração de CO_2 , que não foi possível ser contemplada neste estudo.

A análise de correlação canônica entre os grupos das variáveis meteorológicas e variáveis de intercâmbio gasoso apresentou um coeficiente de 0,805105, porém, não significativo estatisticamente, indicando que os dois grupos se associam respondendo simultaneamente a um conjunto de fatores que interagem de forma coordenada (segundo a correlação simples), mas altamente complexa, que não foi identificada pela análise.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, F.; UHART, S. A.; CIRILO, A. Temperature affects radiation use efficiency in maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 32, p. 17-25, 1993.

BARROS, A. H. C. **Análise do crescimento, do desenvolvimento e da produtividade da cultura do milho (*Zea mays L.*):** experimentos e modelos. 1998. 85 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BIANCHI, C. A. M.; BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; HECKLER, B. M. M.; COMIRAN, F. Condutância da folha em milho cultivado em plantio direto e convencional em diferentes disponibilidades hídricas. **Revista Ciência Rural**, v. 37, n. 2, 2007.

BRUNINI, O.; MACHADO, E. C.; SAWAZAKI, E.; MIRANDA, L. T. de. Fluxo de gás carbônico sobre as culturas de dois híbridos de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, n. 11, v. 3, p. 161-168, 1999.

CARON, B. O.; SCHMIDT, D. S.; MEDEIROS, S. L. P.; HELDWEIN, A. B. Eficiência de conversão da radiação solar fotossinteticamente ativa e distribuição de fitomassa produzida no meloeiro cultivado em estufa plástica na primavera. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 215-219, 2002.

CIRILO, A.G.; ANDRADE, F.H. Sowing date maize productivity: I. Crop growth and dry matter partitioning. **Crop Science**, Madison, v. 34, p. 1039-1043, 1994.

DE TOMINI, E. R. **Atributos ecofisiológicos do híbrido DKB-390 e modelo estocástico para a previsão da produtividade de grãos**. 2008. 149 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Produção e milho**. Guaíba: Agrpecuária, 2000. 360 p.

FERREIRA JÚNIOR, R. A.; SOUZA, J. L. de; LYRA, G. B.; TEODORO, I.; ABREU, M. L.; ALMEIDA, A. C. S.; BRITO, J. E. D. Radiação interceptada e eficiência do uso da radiação fotossinteticamente ativa pelo milho na região de Arapiraca-AL. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, 2007. Aracaju, SE. **CD-ROM...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2007.

FRANÇA, S.; BERGAMASCHI, H.; ROSA, L. M. G. Modelagem do crescimento de milho em função da radiação fotossinteticamente ativa e do acúmulo de graus-dia, com e sem irrigação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 59-66, 1999.

GOSSE, G.; VARLET-GRANCHER, C.; BONHOMME, R.; CHARTIER, M.; ALLIRAND, A.; LEMAIRE, G. Maximum dry matter production and solar radiation intercepted by a canopy. **Agronomie**, Paris, v. 6, p. 47-56, 1986.

KINIRY, J. R.; JONES, C. A.; O'TOOLE, J. C. et al. Radiation-use efficiency in biomass accumulation prior to grain-filling for five grain-crop species. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 20, p. 51-64, 1989.

KUNZ, J. H.; BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. H.; HECKLER, B. M. M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 11, p. 1511-1520, nov. 2007.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: São Paulo: Rima, 2000. 531 p.

LINDQUIST, J. L.; ARKEBAUER, T. J.; WALTERS, D. T.; CASSMAN, K. G.; DOBERMANN, A. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. **Agronomy Journal**, v. 97, p. 72-78, 2005.

MARENGO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal**: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Viçosa: UFV, 2005. 451 p.

MÜLLER, A. G.; BERGAMASCHI, H.; SILVA, M. I. G. Eficiências de interceptação, absorção e de uso da radiação fotossinteticamente ativa pelo milho (*Zea mays* L.), em diferentes disponibilidades hídricas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12 e REUNIÃO LATINOAMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 3, 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001. p. 565-566.

RADIN, B. et al. Estimativa da evapotranspiração da cultura do milho pelo método Penman-Monteith modificado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 185-191, 2000.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; ZIMMERMANN, M. J. **Genética quantitativa em plantas autógamas**. Goiânia: UFG, 1993. 272 p.

RITCHIE, S. W. **Como a planta do milho se desenvolve**. Potafos, 2003. (Informações Agronômicas, 103).

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiologia vegetal**. México: Iberoamerica, 1994. 758 p.

SILVA, M. A. V.; COSTA, J. M. N.; ANDRADE, V. M. S. de; FERREIRA, W. P. M.; SANS, L. M. A.; OLIVEIRA, E. C. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa para a produção de fitomassa no milho BR 106. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2008.

STEWART, D. W.; COSTA, C.; DWYER, L. M.; SMITH, D. L.; HAMILTON, R. I.; MA, B. L. Canopy structure, light interception and photosynthesis in maize. **Agronomy Journal**, v. 95, p. 1465-1474, 2003.

TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TOLLENAR, M.; BRULSEMA, T. W. Efficiency of maize dry matter production during periods of complete leaf area expansion. **Agronomy Journal**, v. 80, p. 580-585, 1988.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A. Correlação canônica das características químicas e físicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 66-80, 2003.

VARLET-GRANCHER, C. ; GOSSE, G.; CHARTIER, M. et al. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. **Agronomie**, Paris, v. 9, p. 419-439, 1989.

VILLA NOVA, N.A. et al. Um modelo de avaliação do crescimento de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) em termos da ação combinada do fotoperíodo e da temperatura média do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2, 1983, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1983. p. 31-48.

CAPÍTULO 3

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR E DA BIOMASSA DA CULTURA DO MILHO OBTIDOS MEDIANTE ÍNDICES ESPECTRAIS

RESUMO: A presente pesquisa objetivou analisar as relações entre a resposta espectral do dossel do BR 106, a partir de índices de vegetação, oriundos de plataforma orbital, com o índice de área foliar (IAF), bem como avaliar um modelo que considera a RFA interceptada na produção de biomassa do milho em condições de campo, sem restrições hídricas. O local de estudo foi uma área experimental da EMBRAPA Milho e Sorgo, com cultivo irrigado de milho sob plantio direto. Nesta área foram coletadas ao longo do ciclo da cultura a matéria seca total aérea (MSa) e a área foliar para obtenção do IAF. Foram processados os produtos MOD09GQ e MOD13Q1 para obtenção dos índices de vegetação EVI (índice de vegetação realçado), NDVI_MODIS, NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e SAVI (índice de vegetação ajustado ao solo). A partir do IAF calculado por meio dos índices de vegetação, foi estimada a MSa de acordo com o modelo de Monteith. As estimativa da MSa por meio do modelo de Monteith, considerando os índices de vegetação obtidos a partir da relação com o IAF, quando avaliadas por meio dos índices estatísticos apresentaram boa precisão e boa exatidão de acordo com o índice de concordância de *Willmott*. Considerando o índice “c” de confiança, os resultados para a MSa estimada pelo NDVI e SAVI, utilizando as bandas 1 e 2 do produto MOD09GQ, mostraram desempenho dentro do critério “bom”, sendo, portanto, aplicável para uso de simulação de crescimento de culturas do milho, que tenha como variável de entrada o IAF, para as condições de clima, manejo e umidade estudados.

PALAVRAS-CHAVE: Índices de vegetação; Sensoriamento remoto; MODIS.

DETERMINATION OF LEAF AREA INDEX AND BIOMASS OF MAIZE OBTAINED BY SPECTRAL INDICES

ABSTRACT: This paper analyzes the relationship between canopy spectral response of the BR 106, from vegetation indices derived from orbital platform, with the leaf area index, and evaluate a model that considers the PAR intercepted in biomass production maize under field conditions, without water. The study site was an experimental area of Embrapa Milho e Sorgo, with irrigated corn under no-tillage. In this area were collected along the crop cycle, the total dry matter air (DMA) and leaf area to obtain the IAF (leaf area index). Were processed products MOD09GQ and MOD13Q1 to obtain the vegetation indices EVI (enhanced vegetation index), NDVI_MODIS, NDVI (Normalized DifferenceVegetation Index) and SAVI (vegetation index adjusted for soil). From the IAF calculated by means of vegetation indices, DMA was estimated according to the model of Monteith. The estimate of DMA through the Monteith model, considering the vegetation indices derived from the relationship with LAI, when evaluated through statistical indices showed good precision and good accuracy according to the index agreement Willmott. Whereas the index "c" of confidence, the results for the MSa estimated by NDVI and SAVI, using bands 1 and 2 of the product MOD09GQ showed performance within the criteria of "good" and is therefore applicable for use in simulating growth crops of corn, which has as input for the IAF, to climatic conditions, moisture and management studied.

KEY-WORDS: Vegetation indices; Remote sensing; MODIS.

1. INTRODUÇÃO

A aplicação do sensoriamento remoto na agricultura tem se baseado na procura de relações funcionais entre as informações espectrais fornecidas pelos dados dos satélites e os parâmetros biológicos representativos do estado real dos dosséis da vegetação. A identificação de culturas, assim como a medição das áreas por elas ocupadas e de suas produtividades estão relacionadas principalmente à classificação e interpretação de imagens adquiridas de sensores ópticos a bordo de satélites, associadas às informações de campo (WALTER et al., 2009). Entre os diversos produtos provenientes das imagens de satélite, os índices de vegetação são utilizados para expressar correlação com parâmetros relacionados ao estado da planta, como por exemplo, a evolução da cobertura vegetal, estimativas de biomassa e rendimentos da cultura.

Segundo Povh et al. (2008), a maioria dos índices de vegetação pode ser generalizada com uma derivação da reflectância de uma determinada superfície, a partir de certos comprimentos de onda. Essa derivação é função das propriedades óticas das folhas e das partículas do solo. No caso de vegetação óticamente densa, a derivação espectral, junto com os índices, é indicativo de abundância e de atividade dos absorvedores de radiação nas folhas. Portanto, os índices utilizados, baseados nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo, como o NDVI, realizam a mensuração da quantidade de clorofila e da absorção de energia (MYNENI et al., 1997).

Moreira (2000) e Pellegrino (2001) apresentaram uma revisão sobre os principais índices de vegetação. O presente estudo fará uso do NDVI e do SAVI. Criado por Rouse et al. (1973) o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) é descrito como a relação envolvendo as reflectâncias das bandas do infravermelho próximo (IVP) e do vermelho (V), como segue:

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V} \quad (20)$$

Entre as variações do NDVI, surgiu o índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI), proposto por Huete (1988) dado pela equação (21), onde se objetivou diminuir o efeito do solo sobre diferentes densidades de cobertura vegetal, através do deslocamento do par ordenado V (vermelho) versus IVP (infravermelho próximo) para o ponto de encontro da linha do solo com a linha da vegetação, pela adição de uma constante L .

$$SAVI = \frac{(IVP - V)}{(IVP + V + L)}(1 + L) \quad (21)$$

Analisando diferentes valores para a constante L em diferentes densidades de vegetação e para dois tipos de solos (baixo e alto brilho), Huete (1988) observou, de maneira geral, que aumentando o IAF (índice de área foliar) o valor de L deve ser diminuído gradativamente, até que, atingindo um IAF próximo a 3,6, a menor influência do solo ocorrerá com o $L=0$, quando o SAVI equivale ao NDVI. Atribui-se $L=0,5$ como um valor de redução

considerável do ruído do solo para uma variada gama de densidades de dosséis.

Selecionou-se, ainda, para o presente trabalho, o EVI (índice de vegetação realçado), pois, segundo Huete et al. (1994), esse índice de vegetação fornece melhor distinção entre as áreas de culturas e do solo em relação ao NDVI. De maneira geral, o NDVI é mais sensível à presença de clorofila e outros pigmentos responsáveis pela absorção da radiação solar na banda do vermelho, enquanto que o EVI é mais sensível à variação da estrutura do dossel, incluindo o Índice de Área Foliar (IAF), a fisionomia da planta e a arquitetura do dossel (GAO et al., 2000; HUETE et al., 2002). O EVI foi formulado a partir de uma combinação de outros dois IVs: o SAVI e o ARVI (*Atmosphere Resistant Vegetation Index*), tendo a finalidade de atenuar os efeitos do solo e da atmosfera sobre o monitoramento da vegetação, de acordo com:

$$EVI = G * \frac{(IVP - V)}{(IVP + C_1 * V - C_2 * A + L)} (1 + L) \quad (22)$$

em que A é reflectância no azul; C1 é coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do vermelho = 6; C2 = coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do azul = 7,5; L = fator de correção para a interferência do solo = 1; G = fator de ganho = 2,5.

A maior utilidade prática da identificação e da classificação digital de áreas de milho, a partir de imagens MODIS, está na sua aplicação para isolar ou complementar o mapeamento das áreas agrícolas visando ao seu monitoramento a partir de índices de vegetação, derivados de imagens de baixa resolução espacial, porém com alta resolução temporal, como as provenientes do sensor MODIS.

No âmbito do sensoriamento remoto, o monitoramento do ciclo vegetativo das culturas agrícolas é realizado através de observações das curvas espectrais da vegetação e, principalmente, através da geração e análise dos índices de vegetação. Estes índices têm associação direta com a quantidade de biomassa, índice de área foliar, cobertura do solo, interceptação da radiação. Alguns estudos com a cultura do milho também foram realizados,

como por exemplo, o de Rudorff et al. (2003) que mostraram que o NDVI se correlaciona com o índice de área foliar (IAF), mas não com a produtividade de grãos, o que em parte pode ser atribuído ao alto nível de produtividade obtida, entre 5 e 10 ton ha⁻¹. Nesse estudo a variação significativa entre blocos para o NDVI, IAF e produtividade de grãos prejudicou o aparecimento de efeitos significativos para os fatores espaçamento, população e adubação nitrogenada e suas interações. Tendo em vista esses resultados, os autores recomendam a obtenção de medidas de reflectância em outros estádios de crescimento e desenvolvimento. Outro estudo com a cultura do milho, comparou a recomendação de N com base no índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e na produtividade do milho, com leituras feitas nos estádios V8 e V9, obtendo maior acurácia que aplicações baseadas somente na produtividade (CLAY et al., 2006).

As principais limitações ao uso da detecção remota na monitorização de culturas são a baixa resolução espacial das imagens, a insuficiente passagem dos satélites pelos pontos de estudo e a dificuldade e custos elevados para obter os dados (MARÇAL et al., 2006).

Sensores como *IKONOS* e *Quickbird*, de elevada resolução espacial, permitem a obtenção de índices de vegetação em escala adequada à monitorização de culturas; contudo, a passagem do satélite é pouco frequente e as imagens são muito dispendiosas; por seu lado, sensores como SPOT - HRVIV e Landsat - TM³, com uma resolução intermediária, permitem atenuar parcialmente alguns problemas dos anteriores, embora a resolução temporal não seja significativamente melhor e os custos sejam ainda um pouco elevados.

Consequentemente, o monitoramento do ciclo vegetativo, principalmente para as culturas anuais de verão, fica comprometido por este período de revisita, visto que nos intervalos podem ocorrer grandes mudanças no ciclo vegetativo das culturas. Além disso, em se tratando de culturas de verão, neste período a obtenção de imagens por estes sensores pode ser limitada devido à alta incidência de nuvens, reduzindo ainda mais as chances de obtenção das imagens e, em consequência, interferindo no monitoramento

³ Atualmente o INPE tem disponibilizado as imagens do *Landsat* de forma gratuita.

do ciclo vegetativo destas culturas. Sensores que produzam imagens com uma baixa resolução espacial, mas com uma elevada resolução temporal, como o MODIS, pode ser ferramenta de monitoramento interessante, devido à sua elevada taxa de aquisição de dados e à disponibilização dos mesmos gratuitamente (MARÇAL et al., 2006).

O sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), objeto de estudo desta pesquisa, encontra-se a bordo das Plataformas Espaciais TERRA e AQUA e possui inúmeras vantagens em relação aos satélites e sensores convencionais. A primeira delas é o fato de produtos e imagens serem distribuídos já corrigidos geograficamente e radiometricamente, minimizando a influência de nuvens e aerossóis que muitas vezes interferem na utilização dos produtos orbitais; uma segunda vantagem está no fato desses produtos apresentarem várias opções de resolução espacial (moderada a global); a terceira característica, e talvez a mais importante, seja a distribuição gratuita desses produtos ou imagens pela *internet*.

O objetivo do presente trabalho foi analisar as relações entre a resposta espectral do dossel do BR 106, a partir de índices de vegetação, oriundos de plataforma orbital, com o índice de área foliar, bem como avaliar um modelo que considera a RFA interceptada na produção de biomassa do milho, crescendo em condições de campo, sem restrições hídricas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área experimental e coleta de dados

A área onde foram realizadas as medidas de campo se localiza na EMBRAPA Milho e Sorgo, situada no município de Sete Lagoas, MG. O pivot cultivado abrange, aproximadamente, 38 ha e está centrada nas coordenadas geográficas de 19°26'52,85"S e 44°10'38,48"W. Nessa área foi semeada a variedade BR 106, cujo detalhamento da condução do ensaio experimental com espaçamento de 0,7 m entre fileiras.

As amostragens para determinação da área foliar da biomassa total da parte aérea foram realizadas em intervalos de oito dias, aproximadamente, com a coleta de plantas contidas em 0,70 m² de terreno. Para a medição de área

foliar nessas plantas foi utilizado um planímetro ótico modelo LI 3000A. A biomassa área total foi colocada em estufa de circulação de ar forçada, à temperatura de 65°C, até atingir massa constante para, então, ser determinada a biomassa seca.

Os dados de área foliar e de biomassa total (folha, espiga e colmo), representativos de 0,70 m², foram convertidos para valores correspondentes à área de 1,0 m² de terreno, equivalendo, então, ao índice de área foliar (IAF = área foliar/área explorada de solo) e a biomassa da parte aérea (MSa), respectivamente.

2.2. Processamento dos produtos MOD09GQ e MOD13Q1

Essa etapa foi desenvolvida seguindo os seguintes passos: aquisição dos produtos MODIS, processamento das imagens e geração dos Índices de Vegetação NDVI, SAVI e EVI.

Para visualizar e processar as imagens MODIS, após a aquisição das mesmas, foi necessário a utilização do aplicativo MRT (*MODIS Reprojection Tool* – disponibilizado gratuitamente). Para a instalação desse programa foi necessário acessar o *site* <http://lpdaac.usgs.gov/landdaac/tools/modis/index.asp> e realizar o seu *download*. Depois de instalado, o MRT possui a capacidade de converter os arquivos, inicialmente no formato HDF, para outro formato, como exemplo TIF ou GEOTIFF, compatíveis com o ERDAS. A Figura 24 mostra a interface do *layout* do MRT depois de aberto. Em “*Input Files*” coloca-se a imagem/produto que se deseja, e em “*Output File*” escolhe-se a opção GEOTIFF. No campo “*Resampling Type*” indica-se a opção “*Nearest Neighbor*” (Vizinho mais Próximo). Em “*Output Projection Type*” indica-se a coordenada geográfica, e depois de preenchidos os campos roda-se pelo na opção “Run” e espera-se que o programa converta os arquivos para o formato desejado.

Foram adquiridos os produtos MOD09GQ e MOD13Q1. O MOD13Q1 possui dois índices de vegetação, o NDVI e o EVI. Uma particularidade do NDVI é o fato do mesmo ser mais sensível à clorofila, enquanto o EVI é mais sensível a variações na resposta estrutural do dossel, incluindo o índice de área foliar, a fisionomia da planta e a arquitetura do dossel. Já o MOD09GQ,

com as bandas vermelho (620-670 nm) e infravermelho próxima (841-876 nm), é um produto de reflectância que dá a reflectância espectral da superfície para cada uma de suas bandas. Esse produto vem acompanhado pelas informações de cada *pixel*, garantindo a integridade de seus dados por meio da QA (*Quality Assurance*).

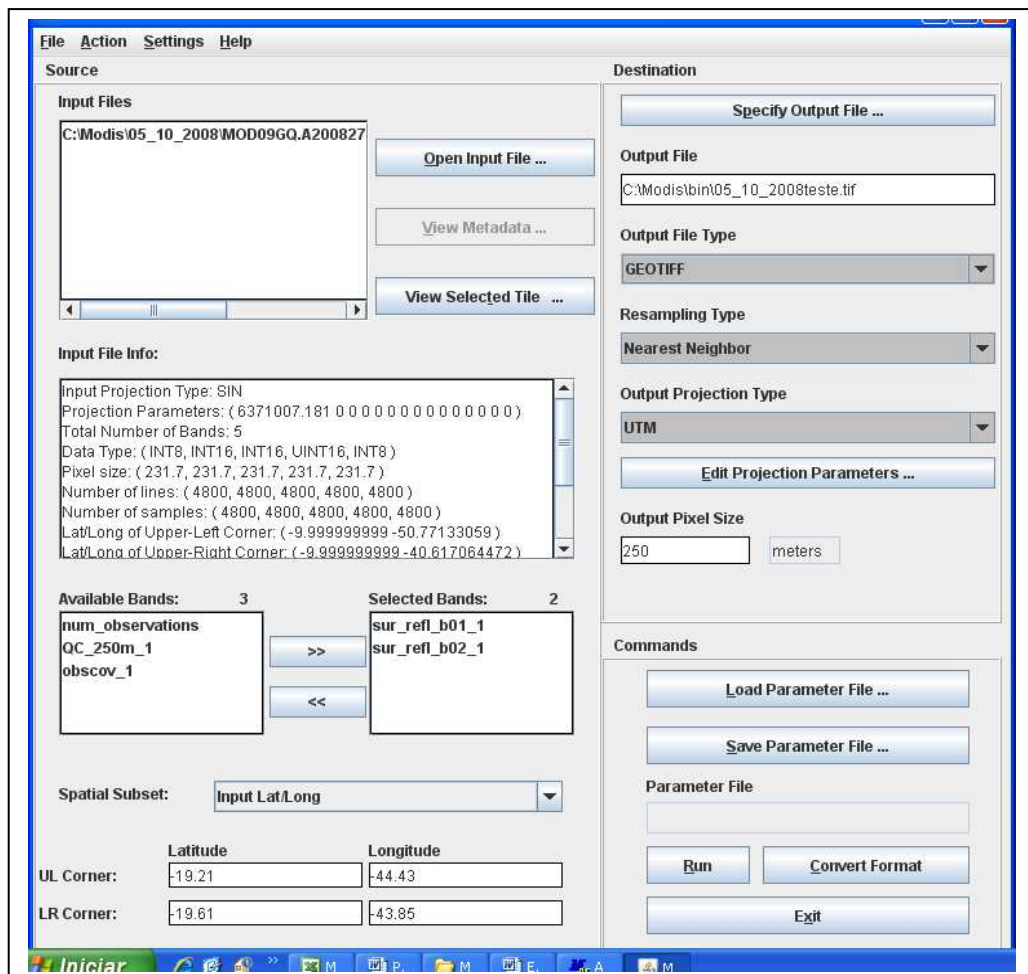


Figura 24 – Interface do MR Tools para transformação do formato hdf para tif.

Como o produto MOD13Q1 é uma média de 16 dias, alternados entre o início e o meio de cada mês, os dias das imagens adquiridas desse produto para o período experimental foram: 15/10 (DJ 289), 16/11 (DJ 321), 02/12 (DJ 337), 18/12 (DJ 353), 01/01 ((DJ 1), 17/01 (DJ 17) e 02/02 (DJ 33).

Uma vez que a evolução sazonal dos IVs (índices de vegetação) medido sobre plantações está diretamente ligada às condições de nebulosidade e da vegetação, para o calculo do NDVI e SAVI, a partir do produto MOD09GQ, foram escolhidas imagens dos dias em que o brilho solar se apresentou com valor maior que 10 horas diárias (Figura 25). Assim, as datas que se enquadraram neste critério foram: 26/10 (DJ 300), 02/11 (DJ 307) 9/12 (DJ 344), 08/01 (DJ 8), 13/01 (DJ 13) e 31/01 (DJ 31) do ano de 2008. Em seguida, foram calculados, para cada imagem, os valores de NDVI e SAVI. Para se realizar este cálculo foi utilizada a ferramenta Model Maker do ERDAS, onde inicialmente foi considerado o fator de escala (Figura 26) e depois com a reflectância transformada foi determinado o valor do NDVI (Figura 27). Também de posse do fator de escala, foi calculado o SAVI (Figura 28).

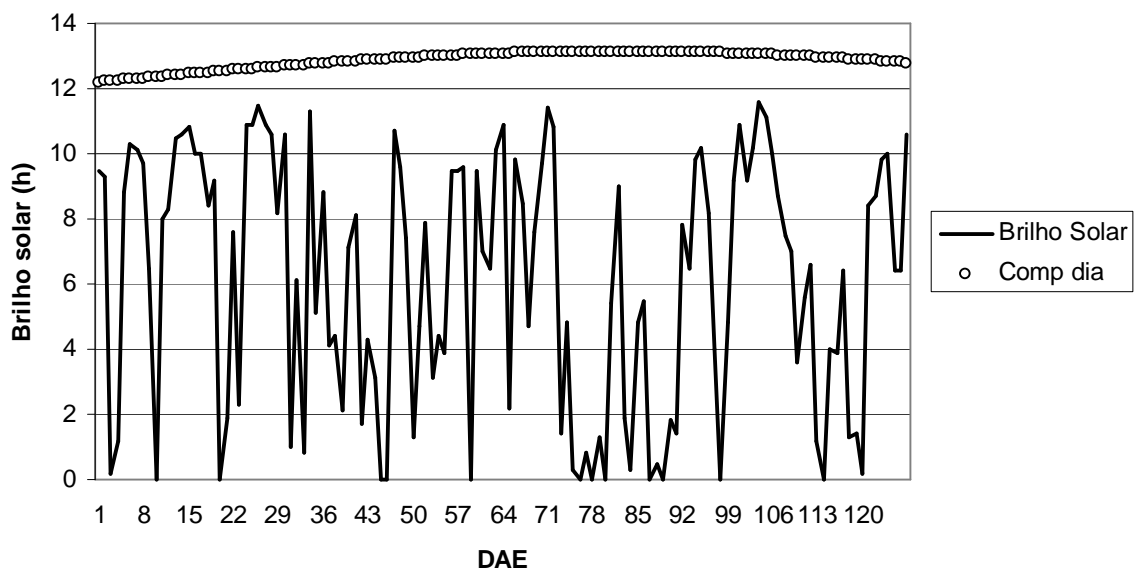


Figura 25 – Duração do brilho solar e evolução do comprimento do dia durante o período experimental do BR 106.

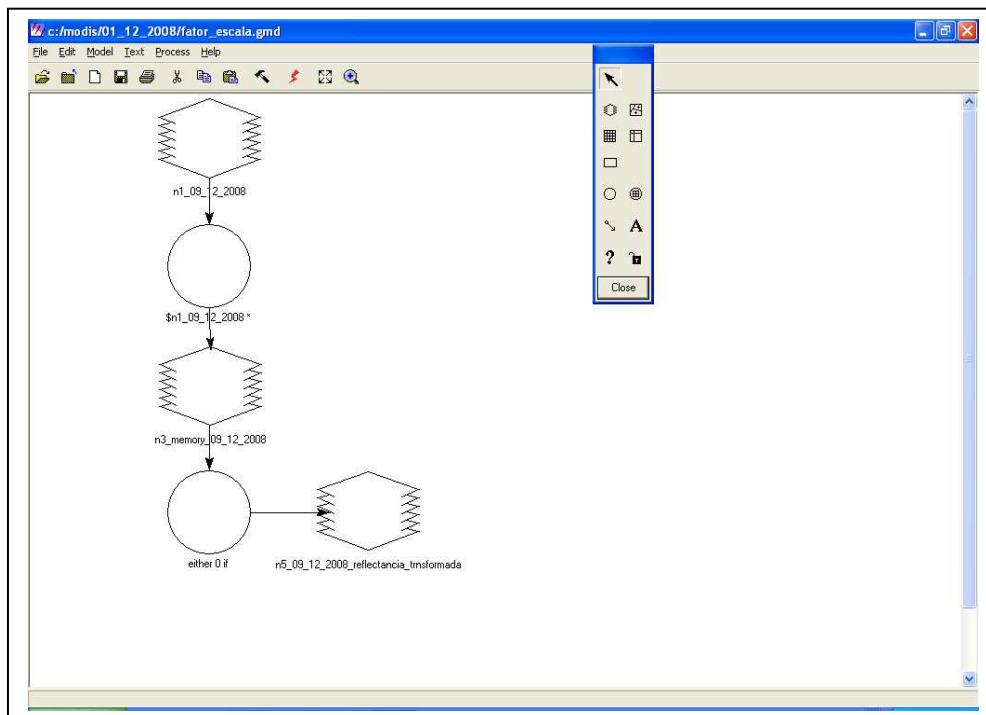


Figura 26 – Interface do ERDAS, utilizando o Model Maker para obter a reflectância transformada.

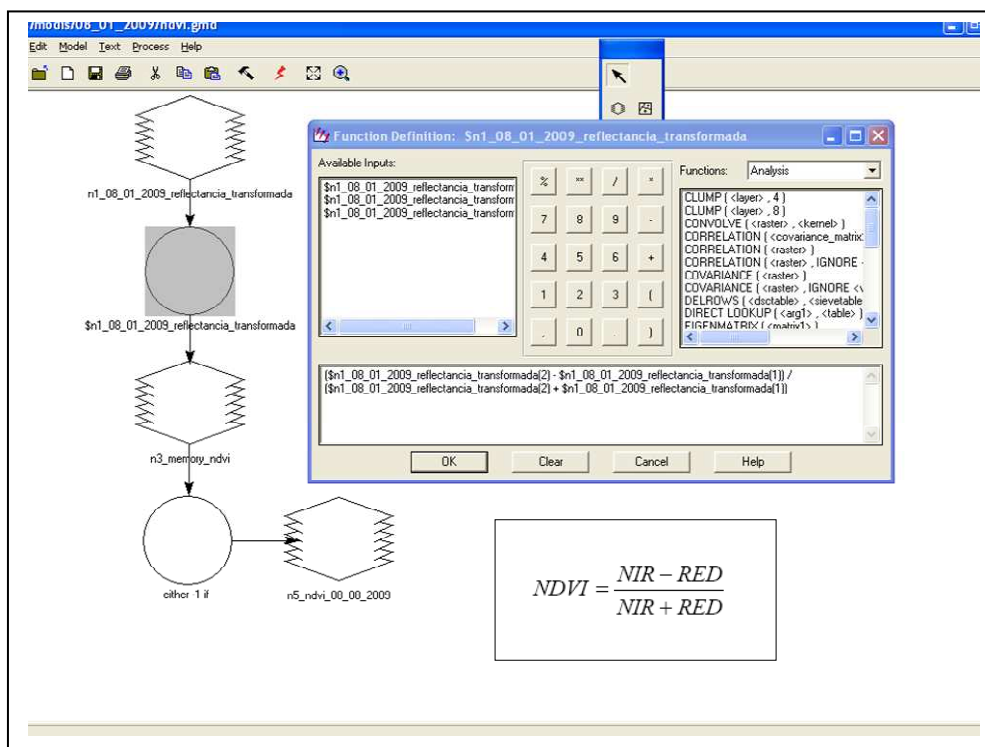


Figura 27 – Interface do ERDAS, utilizando o Model Maker para obter o NDVI.

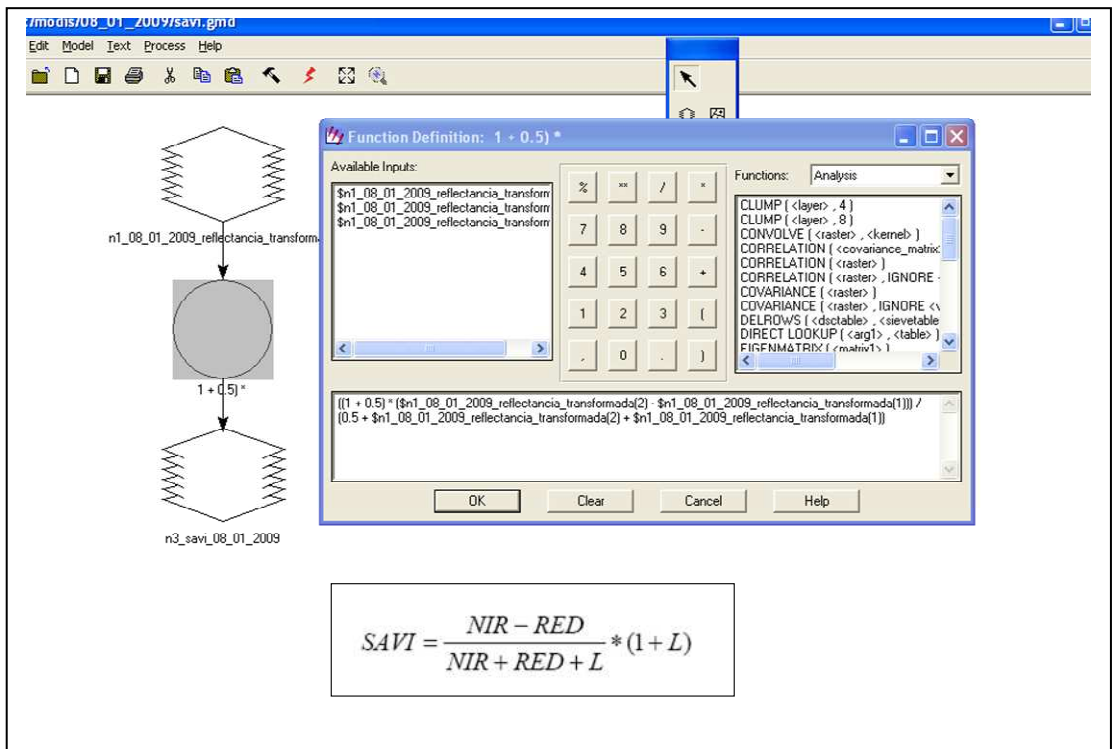


Figura 28 – Interface do ERDAS, utilizando o Model Maker para obter o SAVI.

Na discussão, o NDVI do MOD13Q1 será nominado “NDVI_MODIS”, e o NDVI calculado pelas bandas 1 e 2 do MOD09GQ será nominado apenas “NDVI”.

2.3. Produção da biomassa (MSa)

Para a estimativa da produção da parte aérea MSa foi utilizada a equação proposta por Monteith (1977):

$$MSa = \alpha \Sigma RFAI \quad (23)$$

em que α é a eficiência de conversão da radiação RFAI (radiação fotossinteticamente ativa interceptada) em biomassa seca produzida.

2.4. Avaliação das estimativas de MSA

Dois índices estatísticos de ajuste foram utilizados para avaliar a estimativa da produção de biomassa pelo modelo de Monteith, com os IAF's obtidos pelos índices de vegetação: o de precisão, usando o coeficiente de correlação "r"; e o de exatidão "d" (índice de concordância), proposto por Willmott et al. (1985):

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P'_i| + |O'_i|)^2} \right] \quad (24)$$

em que N é o número de observações; P_i , valor estimado; O_i , valor observado; $P'_i = P_i - M$ e $O'_i = O_i - M$, sendo M a média da variável observada. Quanto mais próximo da unidade, melhor a concordância entre duas variáveis comparadas e vice-versa. Foi também utilizado o índice "c", o qual reúne os índices de precisão "r" e de exatidão "d", para avaliar o desempenho das estimativas do método, conforme Camargo e Sentelhas (1997):

$$c = rxd \quad (25)$$

A interpretação do desempenho das estimativas pelo índice "c" é apresentada na Tabela 15.

Tabela 15 – Critérios de interpretação do desempenho das estimativas da produção de biomassa

Desempenho	“C”
Ótimo	> 0,85
Muito bom	0,76 – 0,85
Bom	0,66 – 0,75
Mediano	0,61 – 0,65
Sufrível	0,51 – 0,60
Mau	0,41 – 0,50
Péssimo	≤ 0,40

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 29a, 30a, 31a e 32a estão registrados o comportamento espectral temporal dos índices de vegetação e o IAF. Verifica-se nas Figuras 29a e 30a que os IVs EVI e NDVI_MODIS apresentam uma queda em torno do 57 DAE – dias após a emergência, quando o milho está em rápido crescimento vegetativo. O NDVI_MODIS apresentou altos índices durante todo o ciclo, e na maturação fisiológica, não acompanhou a senescência do dossel. O EVI, apesar de ter iniciado e terminado com baixas respostas espectrais, o que indicaria um comportamento evolutivo normal, em função dos pequenos valores da área foliar, mostrou uma elevada amplitude no meio do ciclo, o que comprometeu a explicação do IAF do milho nas datas em que estaria com dossel fechado e alta interceptação da RFA. Assim, pelo fato de não acompanhar a evolução do IAF ao longo do ciclo da cultura, esse comportamento irregular gerou uma fraca relação entre os IVs EVI e NDVI_MODIS com o IAF do milho (Figuras 29b e 30b). As relações entre os índices não se ajustaram a uma função linear de primeiro grau, como se esperaria. O ajuste só foi feito por meio de uma equação potencial, do tipo $y=a.x^b$, com coeficientes das equações não significativos, e os coeficientes de determinação resultantes apresentando baixos valores, com 0,55 para o EVI x IAF e 0,20 para o NDVI_MODIS x IAF.

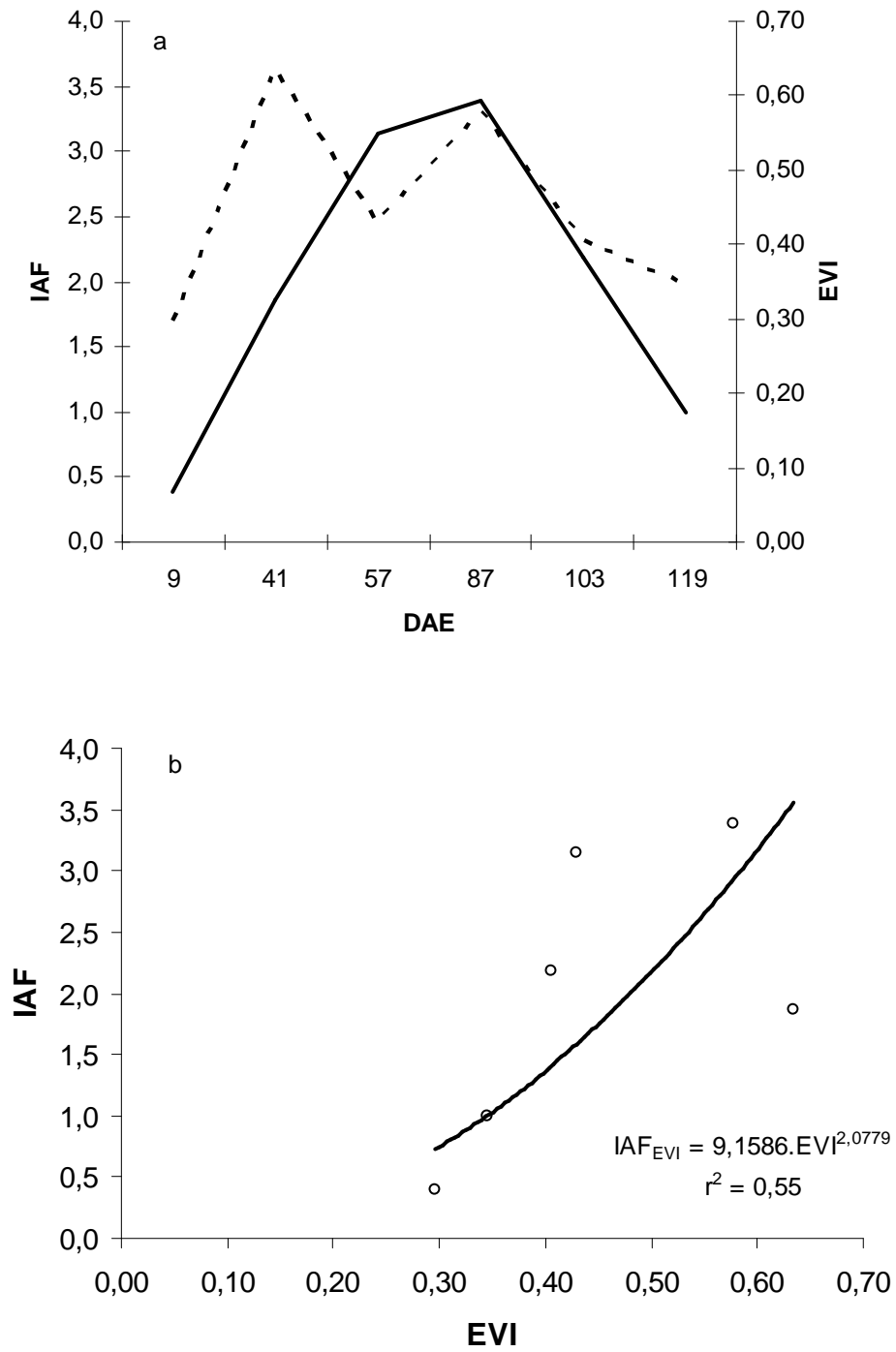


Figura 29 – Evolução do IAF (linha cheia) e do EVI (linha tracejada) para o ciclo do BR 106 (a) e EVI em função do IAF (b).

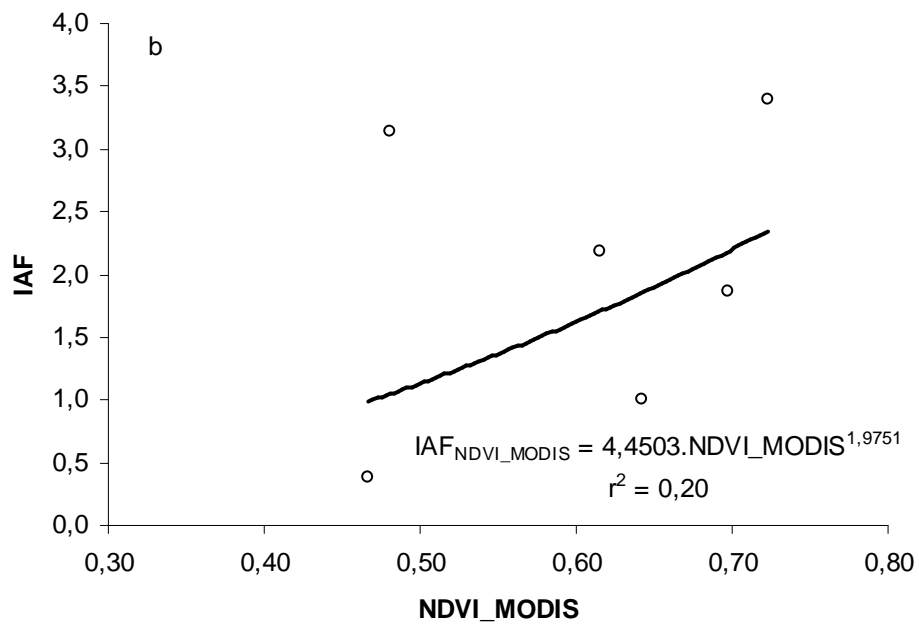
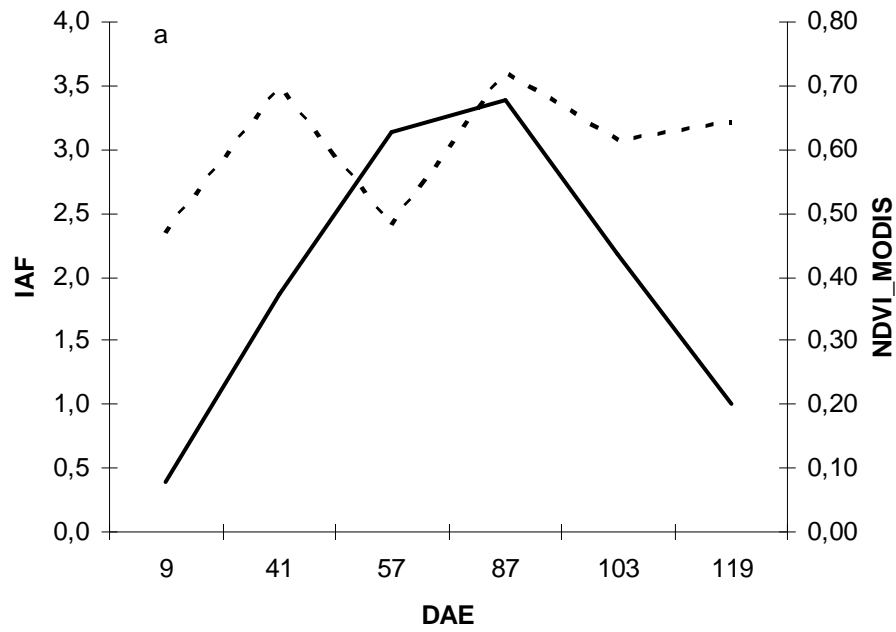


Figura 30 – Evolução do IAF (linha cheia) e do NDVI_MODIS (linha tracejada) para o ciclo do BR 106 (a) e NDVI_MODIS em função do IAF (b).

Os dados desses IVs são médias filtradas de 16 dias, e podem ser coletadas para um dia específico não tão próximo do décimo sexto dia, e ter um valor não condizente com o estado atual do dossel na época em que fecha o cálculo da média. A comodidade desses dados é a triagem feita para eliminar os dias nublados ou com imagens defeituosas. Porém, para um ciclo de 120 dias, nota-se que a resposta espectral se torna defeituosa se o período de observação e coleta das reflectâncias não for homogêneo.

Nas Figuras 31a e 32a observa-se a evolução do NDVI e SAVI. As fases relativas ao estabelecimento e senescência das folhas acompanharam a evolução dos dois índices. Porém, após o 64 DAE nota-se uma queda no IAF e um incremento para os IVs. Uma das críticas ao NDVI é a sua rápida saturação para altos IAF, e, em condições de maior cobertura do solo com plantas, ocorre um pico de absorção na banda do vermelho, sendo que, quando isso ocorre, o NDVI se torna insensível às alterações de biomassa (FREEMAN et al., 2003). O SAVI é uma derivação do NDVI que deveria corrigir esse problema, porém, a resposta espectral do SAVI praticamente foi igual ao NDVI, só que em menor magnitude. Mesmo assim, as variações dos dados dos IVs NDVI e SAVI foram explicadas em torno de 80% quando confrontados com a variação dos dados de IAF (Figura 31b e 32b). Os coeficientes de regressão da relação entre esses dados foram estatisticamente significativa a 1% pelo teste F, cujos resultados atestam correlações acima de 0,88.

Com base nos resultados das regressões obtidas nas Figuras 29b, 30b, 31b e 32b, os IVs EVI e NDVI_MODIS foram descartados, para fins de análise de produção de biomassa, por terem apresentados baixos valores de r^2 , 0,555 e 0,20, respectivamente, e seus coeficientes não serem significativos.

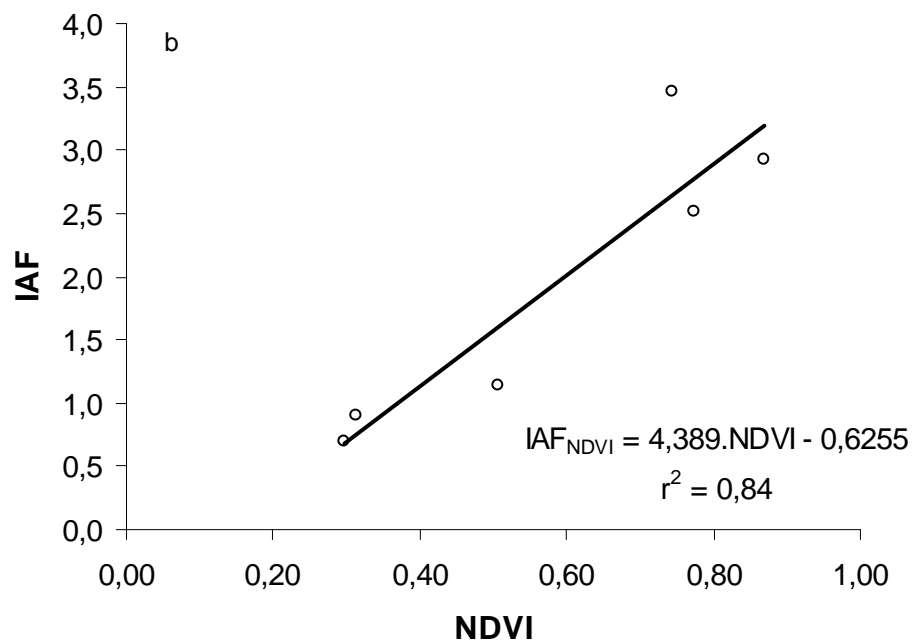
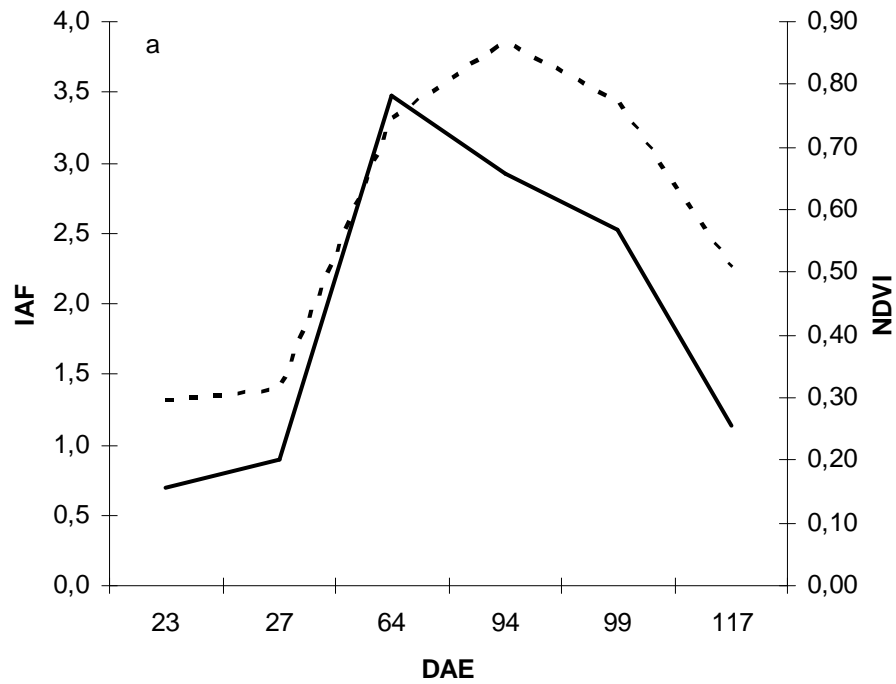


Figura 31 – Evolução do IAF (linha cheia) e do NDVI (linha tracejada) para o ciclo do BR 106 (a) e NDVI em função do IAF (b).

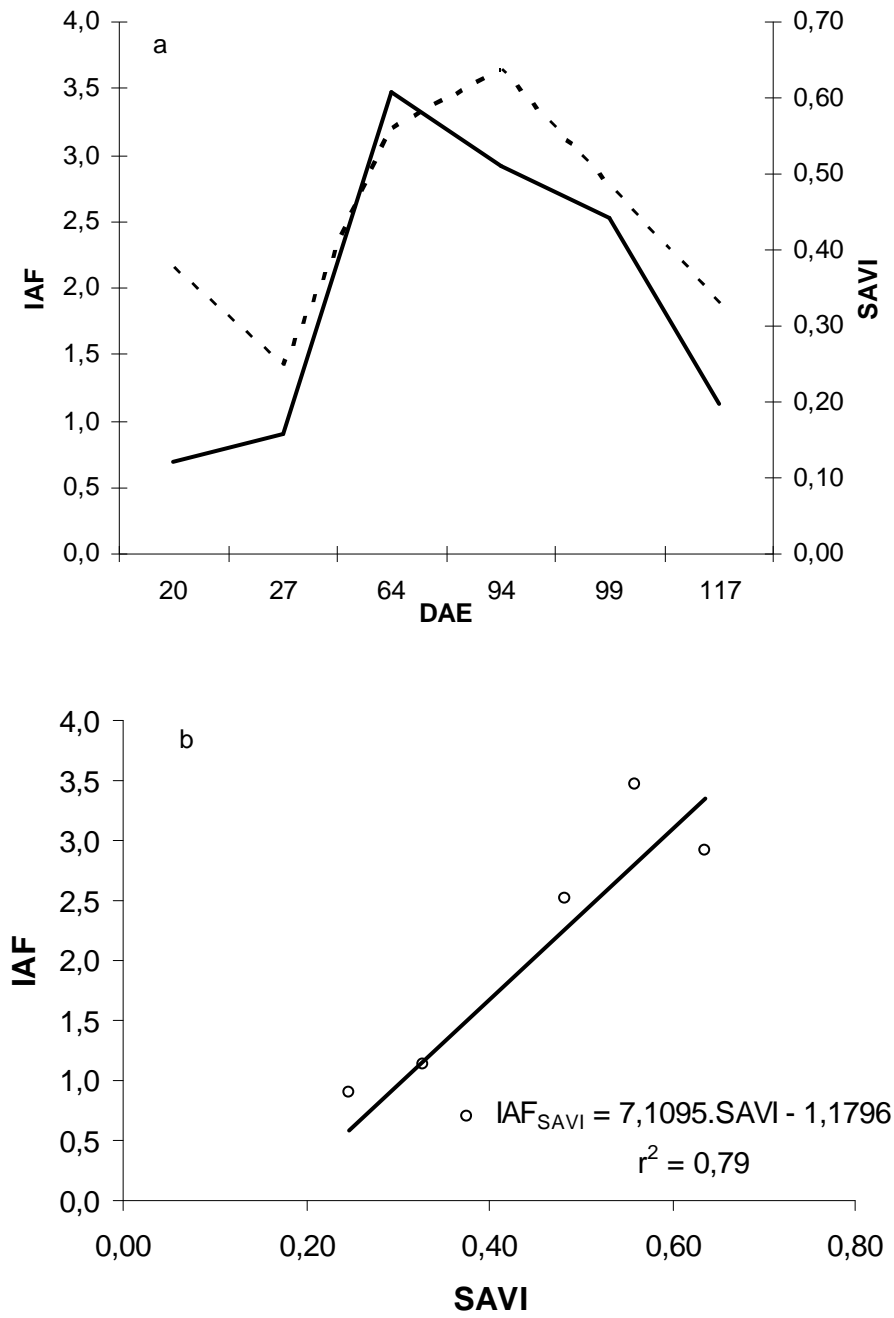


Figura 32 – Evolução do IAF (linha cheia) e do SAVI (linha tracejada) o ciclo do BR 106 (a) e SAVI em função do IAF (b).

Na Figura 33 podem ser examinados os resultados da biomassa seca total da parte aérea, observados e estimados pelo modelo simplificado de Monteith, utilizando a “ α ” encontrada para os IVs SAVI e NDVI, em função dos DAE. Para ambos, de uma maneira geral, o desempenho do modelo apresentou tendência de superestimativa da produção da MSa do 23 a até aproximadamente 64 DAE (florescimento). Essa tendência se explica pelo fato desses IVs acompanharem o crescimento vegetativo da área foliar, fazendo com que a resposta do modelo aumente seus valores até o IAF máximo, que se identifica com o percentual máximo de interceptação da RFA. O decréscimo aos 96 DAE se deu em função do aparecimento dos órgãos reprodutores do BR 106 assim como a senescência das folhas do terço médio inferior do dossel. No período de grão pastoso para farináceo a MSa sofreu uma redução para suprir o dreno dos grãos, em intenso processo de enchimento, a qual o modelo não conseguiu estabelecer o ponto de inflexão. Verifica-se, porém, na Tabela 14, que, tanto a precisão, com valores de 0,9698 e 0,9745, como a exatidão, com valores em torno de 0,70, inferem um bom ajuste entre os valores estimados e os observados experimentalmente. Com 0,94 e 0,97, os parâmetros r^2 da regressão linear da MSa indicam um bom ajuste dos valores estimados pelo modelo simplificado de *Monteith* (Figura 34).

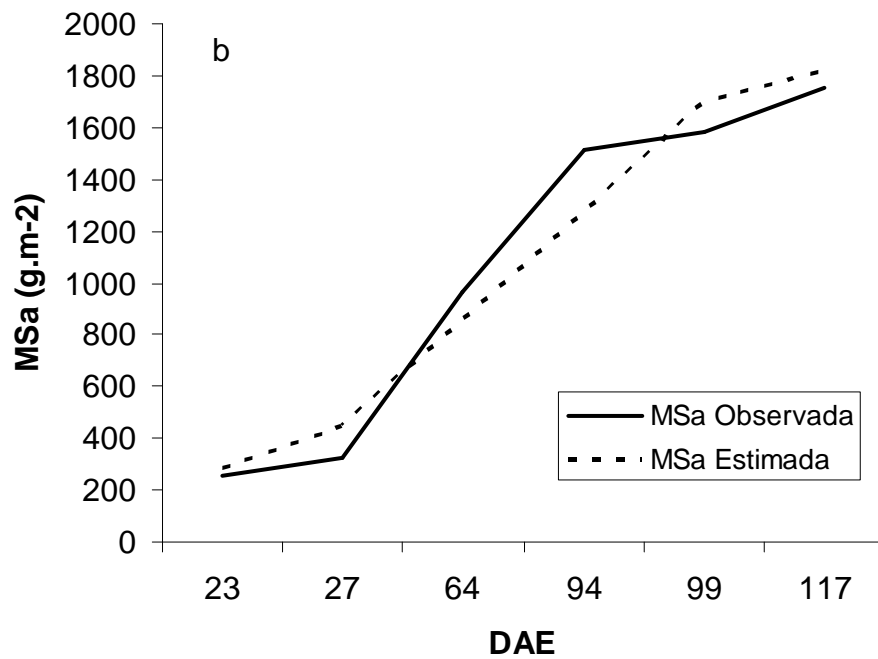
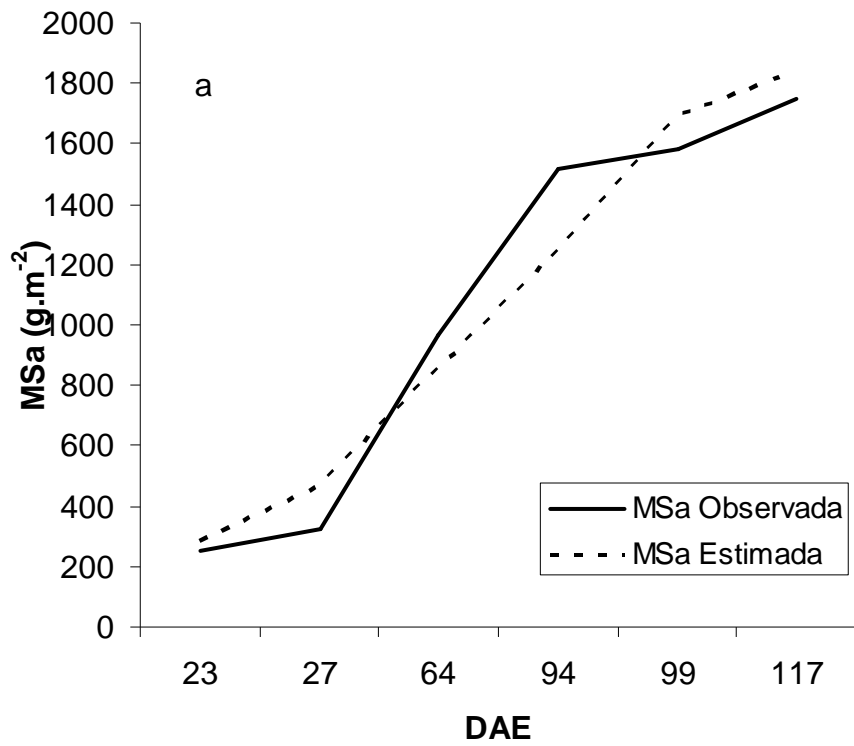


Figura 33 – Comportamento da MSa observadas e estimadas pelo modelo de Monteith: a) MSa_{NDVI} e b) MSa_{SAVI}.

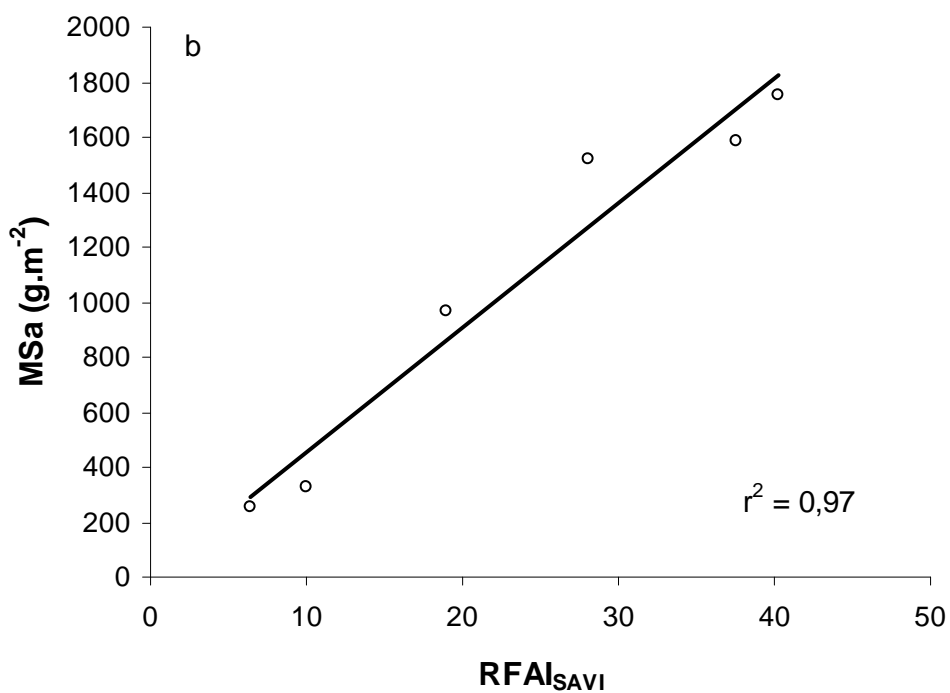
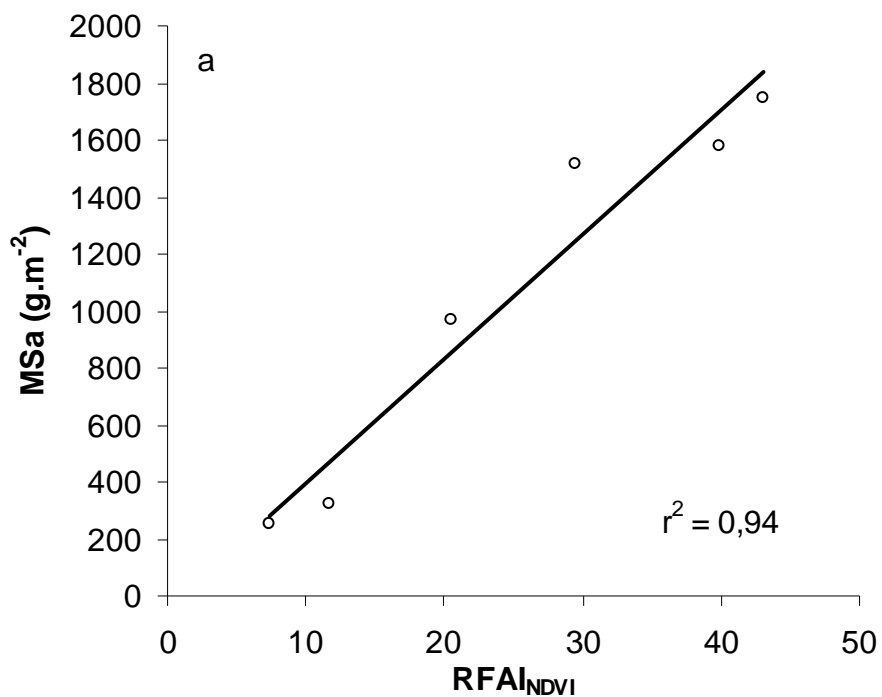


Figura 34 – Relação entre a produção da MSa do BR 106 e a RFAI acumulada: a) RFAI estimada pelo NDVI e b) RFAI estimada pelo SAVI.

O rearranjo do modelo de MSa para o BR 106, tendo como variáveis de entrada a RFA incidente e os IAF do NDVI e do SAVI, se encontram na Tabela 16. Pode-se verificar que houve uma boa avaliação em termos de confiabilidade do modelo, com valores do índice “c” se aproximando de 0,70. Considerando os resultados apresentados por esse critério de avaliação, para um tipo de simulação, não se faz difícil dar confiabilidade (MARTIN et al., 2007). Porém, como se trata de simulação com diversos processos que são correlacionados, e dinamizados no microclima do dossel, é necessário a aplicação de mais replicações para melhor decisão. Assim, um experimento dentro da mesma área, numa época fora da estação chuvosa, onde permitiria um número maior de imagens “limpas” poderia confirmar esses resultados.

Tabela 16 – Equação e coeficiente de correlação “r”, índice de concordância “d” e índice de confiança “c” para as relações entre os valores observados e estimados da produção de biomassa a partir da RFAI estimada pelos IV’s

Equação completa	r	d	c	Avaliação
$MSa = 43,525.RFAinc.0,95.(1 - \exp^{(-0,65.(4,389.NDVI - 0,6255)})}$	0,9698	0,6998	0,6787	BOM
$MSa = 45,441.RFAinc.0,95.(1 - \exp^{(-0,65.(7,1095.SAVI - 1,1796)})}$	0,9745	0,7181	0,6998	BOM

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CLAY, D. E.; KIM, K. I.; CHANG, J.; CLAY, S. A.; DALSTED, K. Characterizing water and nitrogen stress in corn using remote sensing. **Agronomy Journal**, v. 98, p. 579-587, 2006.

FREEMAN, K. W.; RAUN, W. R.; JOHNSON, G. V.; MULLEN, R. W.; STONE, M. L.; SOLIE, J. B. Late-season prediction of wheat grain yield and grain protein. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 34, p. 1837-1852, 2003.

GAO, X.; HUETE, A. R.; NI, W.; MIURA, T. Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. **Remote Sensing of Environment**, n. 74, p. 609-620, 2000.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.

HUETE, A. R.; JUSTICE, C.; LIU, H. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 49, p. 224-234, 1994.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUES, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, n. 83, p. 195-213, 2002.

MARÇAL, A. R. S.; GONÇALVES, J. A.; GONÇALVES, H.; CUNHA, M. Analysis of the temporal signature of vineyards in Portugal using vegetation. In: EUROPEAN ASSOCIATION OF REMOTE SENSING LABORATORIES, 26, 2006, Poland. **Proceedings...** Poland, 2006. p. 387-394.

MARTIN, T. N.; STORCK, L.; DOURADO-NETO, D. Simulação estocástica da radiação fotossinteticamente ativa e da temperatura do ar por diferentes métodos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 9, p. 1211-1219, 2007.

MONTEITH, J. L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Philos. Trans. R. Soc. London**, v. 281, p. 277-294, 1977.

MOREIRA, R. da C. **Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação**. 2000. 114 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP.

MYNENI, R. B.; RAMAKRISHNA, R.; NEMANI, R. R.; RUNNING, S. W. Estimation of global leaf area index and absorbed par using radiative transfer models. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 35, p. 1380-1393, 1997.

PELLEGRINO, G. Q. **Utilização de dados espectrais do satélite NOAA14/ AVHRR como fonte de dados para modelos matemáticos de estimativa da fitomassa da cana-de-açúcar**. 2001. 114 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

POVH, F. P.; MOLIN, J. P.; GIMENES, L. M.; PAULETTI, V.; MOLIN, R.; SALVI, J. V. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 1075-1083, ago. 2008.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: ERTS SYMPOSIUM, 3, 1973. **Proceedings....** 1973. v. 1, p. 309-317.

RUDORFF, B. F. T.; MOREIRA, M. A.; ADAMI, M.; FREITAS, J. G. de. Resposta espectral do milho e sua relação com altos níveis de produtividade de grãos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2597-2603.

WALTER, M. K. C.; SILVA, C. R.; ROCHA, J. V. Avaliação de perfis temporais de índices de vegetação NDVI e UNNDVI para diferentes tipos de uso da terra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 547-552.

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research-Oceans**, Ottawa, v. 90, p. 8995-9005, 1985.

CONCLUSÕES GERAIS

- a) O crescimento do BR 106, cultivado sob o sistema de plantio direto com irrigação suplementar, foi afetado pelas variações do microclima do dossel, que foram caracterizadas por grandes períodos de nebulosidade, diminuição do potencial de vapor na atmosfera e oscilações no conteúdo de energia, principalmente luz e temperatura do ar, contribuindo para que os valores máximos dos principais atributos ecofisiológicos de crescimento fossem observados no P2. Contudo a senescência das folhas do terço médio inferior, mais expressiva na transição do P2 para o P3, aumentou a RAF e a AFE, além de reduzir a RMF, dependentes do IAF, da TCC e da TAL, que induziram a uma queda de 13 % na assimilação do CO₂, ao longo do período reprodutivo. Esse comportamento das taxas e índices não afetou o rendimento final de grãos do BR 106 que apresentou um valor próximo do potencial.
- b) O acúmulo da RFAI teve relação satisfatória com a produção da biomassa seca aérea acumulada e pode ser um parâmetro adequado para quantificar a produção de biomassa do milho BR 106, utilizando o coeficiente α . As respostas morfofisiológica e fisiológica em relação às variáveis ambientais, em termos de crescimento, tiveram fortes correlações e foram comprovadas pelas associações intergrupos estabelecidas pela correlação canônica. O uso da estimativa da condutância foliar em função da RFA, indicador de interação gasosa, pode ser importante no monitoramento do crescimento do

BR 106, pois informou seu comportamento por meio da análise correlação com fatores ambientais como luz, CO₂ e temperatura e DPV.

- c) Os IVs NDVI e SAVI, obtidos por sensor orbital, podem ser uma boa ferramenta para o acompanhamento da cultura do milho em virtude de sua boa correlação com o parâmetro IAF. As estimativa da MSa por meio do modelo de Monteith, considerando os índices de vegetação obtidos a partir da relação com o IAF, quando avaliadas por meio dos índices estatísticos apresentaram boa precisão e boa exatidão, de acordo com o índice de concordância de *Willmott*. Considerando o índice “c” de confiança, os resultados para a MSa estimada pelo NDVI e SAVI, utilizando as banda 1 e 2 do produto MOD09GQ, mostraram desempenho, dentro do critério “bom”, sendo, portanto, aplicável para uso de simulação de crescimento de culturas do milho, que tenham como variável de entrada o IAF, para as condições de clima, manejo e umidade estudados.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. D. C. F.; MOURA, E. G. de. Crescimento e produtividade de duas cultivares de milho de alta qualidade protéica em solo de baixa fertilidade. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 429-435, 2003.

ALBUQUERQUE, P. E. P. **Planilha eletrônica para a programação de irrigação em pivôs centrais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 9 p. (Circular Técnica, 25).

ANDRADE, F.; UHART, S. A.; CIRILO, A. Temperature affects radiation use efficiency in mayze. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 32, p. 17-25, 1993.

ANTUNES, M. A. H.; ASSAD, E. D.; BATISTA, G. T. Variação das medidas espectrais tomadas com espectrorradiômetro ao longo do ciclo de crescimento de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 1993. v. 2, p. 1-9.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: Funep, 1989.

BARBANO, M. T.; DUARTE, A. P.; BRUNINI, O. et al. Acúmulo térmico e duração do subperíodo semeadura-florescimento masculino em cultivares de milho no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23, 2000, Uberlândia. **Resumos...** Uberlândia: ABMS, 2000. p. 32.

BARROS, A. H. C. **Análise do crescimento, do desenvolvimento e da produtividade da cultura do milho (*Zea mays L.*): experimentos e modelos**. 1998. 85 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BENICASA, M. M. P. **Análise de crescimento das plantas**: noções básicas. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42 p.

BERLATO, M.; MATZENUER, R.; SUTILI, V. R. Relação entre temperatura e o aparecimento de fases fenológicas do milho. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 20, p. 111-132, 1984.

BIANCHI, C. A. M.; BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; HECKLER, B. M. M.; COMIRAN, F. Condutância da folha em milho cultivado em plantio direto e convencional em diferentes disponibilidades hídricas. **Revista Ciência Rural**, v. 37, n. 2, 2007.

BORRÁS, L.; MADDONNI, G. A.; OTEGUI, M. E. Leaf senescence in maize hybrids: plant population, row spacing and kernel set effects. **Field Crops Research**, v. 82, p. 13-26, 2003.

BRUNINI, O.; BORTOLETO, N.; MARTINS, A.L.M. et al. Determinação das exigências térmicas e hídricas de cultivares de milho. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO "SAFRINHA", 1995, Assis. **Anais...** Assis: IAC/CDV, 1995. p. 141-145.

BRUNINI, O.; MACHADO, E. C.; SAWAZAKI, E.; MIRANDA, L. T. de. Fluxo de gás carbônico sobre as culturas de dois híbridos de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 3, n. 11, p. 161-168, 1999.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; RODRIGUES, B. H. N. Uso da exigência térmica para determinação do ciclo dos cultivares de milho sob irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba, SP. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p. 23-25.

CARON, B. O.; SCHMIDT, D. S.; MEDEIROS, S. L. P.; HELDWEIN, A. B. Eficiência de conversão da radiação solar fotossinteticamente ativa e distribuição de fitomassa produzida no meloeiro cultivado em estufa plástica na primavera. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 215-219, 2002.

CARSWELL, F. E.; COSTA, A. C. L.; PALHETA, M.; MALHI, Y.; COSTA, J. P. R.; LEAL, L. S. M.; COSTA, J. M. N.; CLEMENTE, R. J.; GRACE, J. Seasonality in CO₂ and H₂O flux at an eastern Amazonian rain forest. **Journal Geophysical Research**, v. 107, n. D20, art. 8076, 2002.

CIRILO, A.G.; ANDRADE, F.H. Sowing date maize productivity: I. Crop growth and dry matter partitioning. **Crop Science**, Madison, v. 34, p. 1039-1043, 1994.

CLAY, D. E.; KIM, K. I.; CHANG, J.; CLAY, S. A.; DALSTED, K. Characterizing water and nitrogen stress in corn using remote sensing. **Agronomy Journal**, v. 98, p. 579-587, 2006.

COELHO, A. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. **Rendimento de milho no Brasil: chegamos ao máximo?** Piracicaba: Potafos, 2003. 12 p. (Informações Agronômicas, 101).

COELHO, D. T.; DALE, R. F. An energy-crop growth variable and temperature function for predicting corn growth and development: planting to silking. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 503-510, 1980.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Levantamento de avaliação da safra 2008/2009**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/6levsafra.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2009.

COSTA, L. C. Modelagem e simulação em agrometeorologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. **Suplemento dos Anais...** Piracicaba: SBA, 1997. p. 3-6.

DETOMINI, E. R. **Atributos ecofisiológicos do híbrido DKB-390 e modelo estocástico para a previsão da produtividade de grãos**. 2008. 149 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

DOURADO-NETO, D. **Modelos fitotécnicos referentes à cultura do milho**. 1999. 227 p. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

FANCELLI, A. L. Milho: ambiente e produtividade. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. (ed.). **Milho: estratégias de manejo para alta produtividade**. Piracicaba: LPV/ESALQ, Departamento de Produção Vegetal, 2003. p. 174-179.

FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FERREIRA JÚNIOR, R. A.; SOUZA, J. L. de; LYRA, G. B.; TEODORO, I.; ABREU, M. L.; ALMEIDA, A. C. S.; BRITO, J. E. D. Radiação interceptada e eficiência do uso da radiação fotossinteticamente ativa pelo milho na região de Arapiraca-AL. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, 2007. Aracaju, SE. **CD-ROM...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2007.

FONSECA, E. L. **Caracterização espectral de vegetação em *Paspalum notatum* Flugge var. *Notatum* com vistas à modelagem de crescimento.** 2000. 60 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

FONTANA, D. C. et al. Perfil espectral da soja no sul do Brasil na safra 2000. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE PERCEPCION REMOTA, 9, Puerto Iguazu, Argentina. **Anais...** Puerto Iguazu, 2000. p. 97-104.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. Relação entre o índice de vegetação global e condições hídricas no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 8, p. 1399-1405, 1998.

FRANÇA, S.; BERGAMASCHI, H.; ROSA, L. M. G. Modelagem do crescimento de milho em função da radiação fotossinteticamente ativa e do acúmulo de graus-dia, com e sem irrigação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 59-66, 1999.

FREEMAN, K. W.; RAUN, W. R.; JOHNSON, G. V.; MULLEN, R. W.; STONE, M. L.; SOLIE, J. B. Late-season prediction of wheat grain yield and grain protein. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 34, p. 1837-1852, 2003.

GADIOLI, J. L.; DOURADO-NETO, D.; GARCÍA, A. G.; BASANTA, M. D. V. **Temperatura do ar, rendimento de grãos de milho e caracterização fenológica associada à soma calórica.** 2000.

GAO, X.; HUETE, A. R.; NI, W.; MIURA, T. Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. **Remote Sensing of Environment**, n. 74, p. 609-620, 2000.

GOSSE, G.; VARLET-GRANCHER, C.; BONHOMME, R.; CHARTIER, M.; ALLIRAND, A.; LEMAIRE, G. Maximum dry matter production and solar radiation intercepted by a canopy. **Agronomie**, Paris, v. 6, p. 47-56, 1986.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.

HUETE, A. R.; JUSTICE, C.; LIU, H. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 49, p. 224-234, 1994.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUES, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, n. 83, p. 195-213, 2002.

KINIRY, J. R.; JONES, C. A.; O'TOOLE, J. C. et al. Radiation-use efficiency in biomass accumulation prior to grain-filling for five grain-crop species. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 20, p. 51-64, 1989.

KUNZ, J. H.; BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. H.; HECKLER, B. M. M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 11, p. 1511-1520, nov. 2007.

KVET, J.; ONDOCK, J. P.; NECAS, J.; JARVIS, P. G. Methods of growth analysis. In: ŠESTÁK, Z.; CATSKÝ, J.; JAVIS, P. G. (Eds.). **Plant photosynthetic production: manual of methods**. The Hague: W. Junk, 1971. p. 341-391.

LARCHER, W. **Physiological plant ecology**. New York: Springer-Verlag, 1995. 506 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: São Paulo: Rima, 2000. 531 p.

LEAL, B. G. **Caracterização da radiação solar e análise do crescimento do desenvolvimento de milho (*Zea mays* L.) em três densidades de plantio**. 1993. 55 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

LINDQUIST, J. L.; ARKEBAUER, T. J.; WALTERS, D. T.; CASSMAN, K. G.; DOBERMANN, A. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. **Agronomy Journal**, v. 97, p. 72-78, 2005.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2006. 10 p. (Circular Técnica, 76).

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. **Fisiologia do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2002. 23 p. (Circular Técnica, 22).

MAGGIO, M. A. **Acúmulo de massa seca e extração de nutrientes por plantas de milho doce híbrido "tropical"**. 2006. 55 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, SP.

MALHI, Y.; NOBRE, A. D.; GRACE, J.; KRUIJT, B.; PEREIRA, M. G. P. P.; CULF, A.; SCOTTS, S. Carbon dioxide transfer over a central Amazonian rain forest. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, p. 31593-31612, 1998.

MARÇAL, A. R. S.; GONÇALVES, J. A.; GONÇALVES, H.; CUNHA, M. Analysis of the temporal signature of vineyards in Portugal using vegetation. In: EUROPEAN ASSOCIATION OF REMOTE SENSING LABORATORIES, 26, 2006, Poland. **Proceedings...** Poland, 2006. p. 387-394.

MARENGO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal**: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Viçosa: UFV, 2005. 451 p.

MARTIN, T. N.; STORCK, L.; DOURADO-NETO, D. Simulação estocástica da radiação fotossinteticamente ativa e da temperatura do ar por diferentes métodos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 9, p. 1211-1219, 2007.

MONTEITH, J. L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Philos. Trans. R. Soc.**, London, v. 281, p. 277-294, 1977.

MONTEITH, J. L. Does light limit crop production? In: JOHNSON, C. B. (Ed.). **Physiological process limiting crop productivity**. London: Butterworths, 1981. p. 23-38.

MOREIRA, R. da C. **Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação**. 2000. 114 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP.

MOURA, E. G. de; TEIXEIRA, A. P. R.; RIBEIRO, V. do S.; AGUIAR, A. das C. F.; FARIAS, M. F. de. Crescimento e produtividade da cultura do milho (*Zea mays* L.) submetido a vários intervalos de irrigação, na região da pré-Amazônia. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 2, p. 169-177, 2006.

MÜLLER, A. G.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I.; RADIN, B.; FRANÇA, S.; SILVA, M. I. G. Estimativa do índice de área foliar do milho a partir da soma de graus-dia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 65-71, 2005.

MÜLLER, A. G.; BERGAMASCHI, H.; SILVA, M. I. G. Eficiências de interceptação, absorção e de uso da radiação fotossinteticamente ativa pelo milho (*Zea mays* L.), em diferentes disponibilidades hídricas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12 e REUNIÃO LATINOAMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 3, 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001. p. 565-566.

MYNENI, R. B.; RAMAKRISHNA, R.; NEMANI, R. R.; RUNNING, S. W. Estimation of global leaf area index and absorbed par using radiative transfer models. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 35, p. 1380-1393, 1997.

NOCE, M. A. **Milho variedade BR 106**: técnicas de plantio. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2004. 5 p. (Comunicado Técnico, 109).

PALHARES, M. **Distribuição e população de plantas e produtividade de grãos de milho**. 2003. 90 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

PELLEGRINO, G. Q. **Utilização de dados espectrais do satélite NOAA14/ AVHRR como fonte de dados para modelos matemáticos de estimativa da fitomassa da cana-de-açúcar**. 2001. 114 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

PEREIRA, A. R.; MACHADO, E. R. **Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1987. 33 p.

PONZONI, F. J. **Aplicação do modelo SAIL no estudo da reflectância espectral de dosséis de mudas de *Eucalyptus sp.* e de *Aspidosperma sp.*** 1993. 253 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

POVH, F. P.; MOLIN, J. P.; GIMENES, L. M.; PAULETTI, V.; MOLIN, R.; SALVI, J. V. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 1075-1083, ago. 2008.

RADIN, B. et al. Estimativa da evapotranspiração da cultura do milho pelo método Penman-Monteith modificado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 185-191, 2000.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; ZIMMERMANN, M. J. **Genética quantitativa em plantas autógamas**. Goiânia: UFG, 1993. 272 p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ/USP, 1987. 188 p.

RITCHIE, S. W. **Como a planta do milho se desenvolve**. Potafos, 2003. (Informações Agronômicas, 103).

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: ERTS SYMPOSIUM, 3, 1973. **Proceedings...** 1973. v. 1, p. 309-317.

RUDORFF, B. F. T.; MOREIRA, M. A.; ADAMI, M.; FREITAS, J. G. de. Resposta espectral do milho e sua relação com altos níveis de produtividade de grãos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2597-2603.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiologia vegetal**. México: Iberoamerica, 1994. 758 p.

SCHROEDER, W.; FRANÇA, J. R. de A.; CEBALLOS, J. C. Análise da evolução temporal da cobertura vegetal usando dados AVHRR/NOAA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, 1999, Florianópolis. **CD-ROM...** Florianópolis: SBA, 1999.

SEDIYAMA, G. C. **Princípios que governam o uso de água em relação à produção**: notas de aula. Viçosa: UFV, 2001. 5 p.

SILVA, M. A. V. **Análise de crescimento, desenvolvimento e eficiência do uso da radiação solar para dois cultivares de milho**. 1995. 63 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SILVA, M. A. V.; COSTA, J. M. N.; ANDRADE, V. M. S. de; FERREIRA, W. P. M.; SANS, L. M. A.; OLIVEIRA, E. C. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa para a produção de fitomassa no milho BR 106. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2008.

SOARES, J. V.; XAVIER, A. C.; ALMEIDA, A. C. de. Balanço de água em Eucaliptus com a caracterização do dossel por técnicas de Sensoriamento Remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10, 2001, Foz do Iguaçu. **CD-ROM...** 2001.

STEWART, D. W.; COSTA, C.; DWYER, L. M.; SMITH, D. L.; HAMILTON, R. I.; MA, B. L. Canopy structure, light interception and photosynthesis in maize. **Agronomy Journal**, v. 95, p. 1465-1474, 2003.

TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TOLLENAR, M.; BRULSEMA, T. W. Efficiency of maize dry matter production during periods of complete leaf area expansion. **Agronomy Journal**, v. 80, p. 580-585, 1988.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A. Correlação canônica das características químicas e físicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 66-80, 2003.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Brasília: INMET, 2000. 532 p.

VARLET-GRANCHER, C. ; GOSSE, G.; CHARTIER, M. et al. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. **Agronomie**, Paris, v. 9, p. 419-439, 1989.

VERMA, S. B. Micrometeorological methods for measuring surface fluxes of mass and energy. **Remote Sensing Reviews**, v. 5, n. 1, p. 99-110, 1999.

VILLA NOVA, N. A. A. et al. **Estimativa de graus dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas máxima e mínima**. São Paulo: Instituto de Geografia/USP, 1972. 8 p. (Caderno de Ciência da Terra, 30).

VILLA NOVA, N.A. et al. Um modelo de avaliação do crescimento de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) em termos da ação combinada do fotoperíodo e da temperatura média do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2, 1983, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1983. p. 31-48.

WALTER, M. K. C.; SILVA, C. R.; ROCHA, J. V. Avaliação de perfis temporais de índices de vegetação NDVI e UNDAVI para diferentes tipos de uso da terra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 547-552.

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research-Oceans**, Ottawa, v. 90, p. 8995-9005, 1985.