

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Aprimoramento do zoneamento agrícola de risco climático do sistema de
produção da soja em Mato Grosso do Sul**

Éder Comunello

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Engenharia de
Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2016**

Éder Comunello
Engenheiro Agrônomo

**Aprimoramento do zoneamento agrícola de risco climático do sistema de produção da
soja em Mato Grosso do Sul**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **PAULO CESAR SENTELHAS**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Engenharia de
Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2016

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Comunello, Éder

Aprimoramento do zoneamento agrícola de risco climático do sistema de produção da soja em Mato Grosso do Sul / Éder Comunello. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2016.

112 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Evapotranspiração de cultura 2. Coeficiente de cultura 3. *Zea mays* 4. *Glycine max*
5. Déficit hídrico 6. Época preferencial de semeadura I. Título

CDD 633.34
C741a

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares, em especial à minha esposa Márcia e filhas Ana Luísa e Rafaela, pela compreensão e apoio durante todo esse processo.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (USP) e Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas pela oportunidade de doutoramento.

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Cesar Sentelhas, pelo voto de confiança, paciência e apoio técnico e científico durante a execução do trabalho. Devo citá-lo também como excelente professor.

À Embrapa, por fomentar e viabilizar a possibilidade de treinamento. Nesse processo devo destacar a Embrapa Agropecuária Oeste, unidade de pesquisa onde venho desempenhando meu trabalho desde 2002.

Aos colegas da Embrapa, em especial: Dr. Carlos Ricardo Fietz, Dr. Danilton Luiz Flumignam, Dr. Gessi Ceccon e Dr. Rodrigo Arroyo Garcia pelo auxílio na condução dos experimentos e colaboração nas questões de cunho agrometeorológico e fitotécnico.

Ao Fundo para o Desenvolvimento das Culturas de Milho e Soja (FUNDEMS) de Mato Grosso do Sul, que ao financiarem proposta de trabalho junto à Embrapa Agropecuária Oeste, propiciaram as condições necessárias à execução do projeto.

Aos amigos e companheiros de jornada na pós-graduação, especialmente Leonardo Monteiro, Rafael Battisti, Lucas, Daniel Nassif, Murilo Vianna, Alessandro Toyama e Alexandre do Rio.

Aos professores e demais funcionários do Departamento de Engenharia de Biosistemas pelos ensinamentos transmitidos e apoio recebido durante aulas e condução da proposta.

A todos, muito obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	9
1 INTRODUÇÃO GERAL	11
Organização da tese	15
Referências	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Sistema de produção da soja em Mato Grosso do Sul	19
2.2 Principais condicionantes agrometeorológicos da produção.....	20
2.3 Zoneamento Agrícola de Risco Climático	22
2.4 Lisimetria e obtenção dos coeficientes de cultura	24
2.5 Simulações e mapeamento do risco climático	26
Referências	28
3 CARACTERIZAÇÃO E CALIBRAÇÃO DE DOIS CONJUNTOS LISIMÉTRICOS DE PESAGEM DESTINADOS AO ESTUDO DA DEMANDA HÍDRICA DE CULTURAS AGRÍCOLAS EM DOURADOS, MS.....	31
Resumo.....	31
Abstract	31
3.1 Introdução.....	32
3.2 Materiais e Métodos.....	34
3.3 Resultados e Discussão	42
3.4 Conclusões.....	49
Referências	49
4 AVALIAÇÃO DE UM CONJUNTO LISIMÉTRICO NA DETERMINAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA DA CULTURA DO MILHO CULTIVADO NO OUTONO- INVERNO EM MATO GROSSO DO SUL	53
Resumo.....	53
Abstract	53
4.1 Introdução.....	54

4. Materiais e Métodos.....	56
4.3 Resultados e Discussão.....	60
4.4 Conclusões.....	68
Referências	69
5 USO DE LISIMETRIA PARA DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE CULTURA DE CULTIVARES DE SOJA COM HÁBITOS DISTINTOS DE CRESCIMENTO.....	71
Resumo.....	71
Abstract	71
5.1 Introdução.....	72
5.2 Material e Métodos	75
5.3 Resultados e Discussão.....	80
5.4 Conclusões.....	93
Referências	93
6 ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO PARA A CULTURA DA SOJA EM MATO GROSSO DO SUL, CONSIDERANDO-SE NOVOS COEFICIENTES DE CULTURA E A AMPLIAÇÃO DA BASE DE DADOS METEOROLÓGICOS	97
Resumo.....	97
Abstract	97
6.1 Introdução.....	98
6.2 Material e Métodos	100
6.3 Resultados e Discussão.....	105
6.4 Conclusões.....	109
Referências	111

RESUMO

Aprimoramento do zoneamento agrícola de risco climático do sistema de produção da soja em Mato Grosso do Sul

Mato Grosso do Sul (MS) é um estado brasileiro cuja economia é fortemente dependente da atividade agrícola, sendo diretamente afetado pelas flutuações das safras. Soja e milho são as principais culturas exploradas, chegando a representar 96% dos cultivos temporários. Perdas agrícolas decorrentes de adversidades climáticas são relativamente frequentes nesses cultivos, sobretudo por déficit hídrico. Nesse sentido, estratégias que minimizam perdas, como o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), são essenciais para garantir o sucesso dos produtores. Todavia, o ZARC não está isento de falhas, requerendo ajustes e melhorias, face às grandes alterações que ocorreram no processo produtivo nas últimas décadas, dentre as quais a ampliação e a atualização da base de dados meteorológicos empregada na determinação dos riscos e o uso de coeficientes de cultura (K_c) atualizados, especialmente no caso da soja com hábito de crescimento indeterminado. Desse modo, os objetivos deste estudo foram: a) comparar o desempenho de duas diferentes estruturas lisimétricas para a obtenção da evapotranspiração das culturas (ET_c) da soja e do milho; b) determinar localmente os valores de K_c , com base na lisimetria (ET_c) e na evapotranspiração de referência de Penman-Monteith (ET_o), considerando cultivares de soja com hábitos de crescimento determinado e indeterminado; c) gerar mapas atualizados de risco climático para a cultura da soja em MS, considerando-se novos K_c e a ampliação da base de dados, para distintas épocas de semeadura; e d) avaliar épocas de semeadura da soja em MS e seus efeitos no risco climático. Os resultados mostraram que as estruturas lisimétricas podem ser empregadas na determinação da ET_c , sem diferenças significativas ($p < 0,01$), apesar das peculiaridades de cada uma. Assim, foi constatado que as determinações de K_c (milho e soja) não sofreram influência do tipo de lisímetro utilizado. Em todos os experimentos realizados, as plantas do interior dos lisímetros apresentaram o mesmo padrão de crescimento, desenvolvimento e produtividade do entorno. Na fase inicial da cultura do milho outono-inverno (0-15 DAE), o K_c médio obtido foi 0,54, com incremento linear até atingir o máximo de 1,37 no pendoamento (50 DAE), decaindo gradualmente durante a fase reprodutiva, ficando próximo a 0,80 na maturação fisiológica (110 DAE) e 0,40 na colheita. Para a cultura da soja, os valores de K_c diferiram significativamente ($p < 0,05$) entre as cultivares com diferentes hábitos de crescimento, havendo também diferenças entre os K_c propostos nesse estudo em relação àqueles utilizados pelo ZARC e FAO, especialmente na fase reprodutiva, mais longa para as cultivares de hábito indeterminado. Finalmente, o emprego de novos K_c e uso de dados climáticos atualizados (até 2013) e ampliados (190 estações) resultou em mudanças substanciais no ZARC da soja em MS, alterando a proporção de áreas com alto risco nas épocas avaliadas e levando à uma perspectiva diferenciada da antecipação da semeadura da soja. Com base nesses resultados concluiu-se que é necessária uma profunda revisão do ZARC utilizado no Brasil, sendo recomendada a atualização e expansão da base de dados climáticos empregados, assim como a revisão dos parâmetros culturais exigidos pelo modelo Sarra.

Palavras-Chave: Evapotranspiração de cultura; Coeficiente de cultura; *Zea mays*; *Glycine max*, Déficit hídrico; Época preferencial de semeadura

ABSTRACT

Improvements on the agricultural climate risk zoning of soybean production system in Mato Grosso do Sul, Brazil.

Mato Grosso do Sul (MS) is a Brazilian state whose economy is highly dependent on agriculture, being, therefore, directly affected by fluctuations on production. Soybean and maize are the main crops, representing 96% of temporary crops cultivated along the year. Agricultural losses caused by adverse climatic conditions are relatively frequent in these crops, especially by water deficit. Considering that, strategies for minimizing losses, as the Agricultural Climate Risk Zoning (ZARC), are essential to ensure growers success. However, the ZARC requires adjustments and improvements, due the great changes that have occurred in the production system in the past decades. Among the most important changes are the expansion and updating of the climatic database used for determining the risks and the use of new crop coefficients (K_c) concerning to modern cultivars, especially for soybean with indeterminate growth habit. Therefore, this study has as objectives: a) to compare the performance of two different lysimetric structures to obtain soybean and maize evapotranspiration (E_{Tc}); b) to determine K_c values for maize and for determinate and indeterminate soybean cultivars, based on E_{Tc} from lysimeters and Penman-Monteith reference evapotranspiration (E_{To}); c) to generate updated maps of climatic risk for the soybean crop in MS, considering new K_c values and the updated and extended climatic databases, for different sowing dates; and d) to evaluate different sowing dates in MS and their impacts on soybean climatic risk. The results showed that lysimetric structures can be employed to determining E_{Tc} without significant differences ($p < 0.01$), despite the peculiarities of each one. K_c values for maize and soybean were not affected by lysimeter type. In all experiments, the plants inside the lysimeters had the same growth patterns than those in the surrounding area. For autumn-winter maize crop, the average K_c from 0 to 15 days after emergence (DAE) was 0.54, with a linear increase up to the maximum of 1.37 at tasseling (50 DAE), gradually decreasing during the reproductive phase, getting close to 0.80 at physiological maturity (110 AED) and 0.40 at harvest. For soybean, K_c values differed significantly ($p < 0.05$) between cultivars with distinct growth habits, and also among those proposed here and used by ZARC and FAO, mainly during the reproductive phase, which was longer for indeterminate cultivars. Finally, the use of new soybean K_c values and updated climatic data (190 stations with data until 2013) resulted in substantial changes on the soybean ZARC in MS, mainly in the proportion of areas with high risk, leading to new perspectives about soybean sowing anticipation. The main conclusion of this study is that ZARC used in Brazil requires to be deeply reviewed, for both the climatic database used and crop parameters required by Sarra model.

Keywords: Crop evapotranspiration; Crop coefficients; *Zea mays*; *Glycine max*; Crop water deficit; Preferred sowing date

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Estado de Mato Grosso do Sul é um importante produtor nacional de carne, grãos e, mais recentemente, de florestas, açúcar e álcool. Destacando apenas o papel da agricultura, de acordo com os dados disponibilizados pela Federação de Agricultura e Pecuária de Mato Grosso do Sul (FAMASUL, 2015), estima-se que entre 2013 e 2014 haviam 922 mil hectares destinados à produção de cana-de-açúcar e 2,16 milhões de hectares destinados à produção de culturas temporárias.

De vocação e tradição eminentemente agropecuária, a economia de Mato Grosso do Sul é fortemente dependente da atividade agrícola e, portanto, diretamente afetada pelas flutuações das safras. A soja e o milho são as principais culturas exploradas no estado, chegando a representar 96% dos cultivos temporários estabelecidos em Mato Grosso do Sul durante o ano (IBGE, 2015). Mais do que expressar a importância destes dois cultivos, o dado sugere que o sucesso da economia local depende diretamente do sucesso obtido na agricultura.

Mesmo com a crescente importância da cultura da cana-de-açúcar e de reflorestamentos voltados à indústria de papel e celulose, ainda pode-se creditar aos cultivos temporários a base da econômica do Estado de Mato Grosso do Sul. Um ponto importante a ser destacar é que os cultivos temporários envolvem um número de estabelecimentos e produtores significativamente maior, além de sua ampla distribuição, permeando quase que a totalidade dos municípios do estado (IBGE, 2015).

Dentre os cultivos temporários, a soja se consolidou como a principal cultura de verão do Estado, chegando a ocupar praticamente toda a área destinada aos cultivos temporários nesse período, alcançando cerca de 2,12 milhões de hectares cultivados na safra 2013/2014. O milho, por sua vez, outrora uma cultura tradicional de verão, é cultivado em sucessão à soja, como cultura de outono/inverno (milho safrinha). Os números mais recentes mostram que a cultura do milho safrinha ocupa uma área superior a 1,7 milhões de hectares (FAMASUL, 2015).

Cultivos comerciais de inverno, como o trigo, deixaram de ser uma realidade no contexto atual do Estado de Mato Grosso do Sul (IBGE, 2015), de modo que, os cultivos agrícolas temporários do Estado podem ser hoje resumidos à sucessão soja-milho. Embora a soja seja a cultura mais expressiva em termos numéricos, seu sistema de produção está forte e diretamente atrelado ao cultivo do milho. Com a consolidação do cultivo da soja no verão e do milho no outono/inverno, uma grande mudança que tem sido observada no sistema de

produção da soja é a antecipação de sua semeadura, visando diminuir riscos climáticos na condução do milho safrinha, aumentando a viabilidade técnica desta cultura.

A despeito da importância da agricultura em Mato Grosso do Sul, o passado recente registra um histórico relativamente frequente de perdas agrícolas decorrentes de adversidades climáticas. A ocorrência de déficit hídrico tem sido a principal causa de perdas, sobretudo na cultura da soja, e a busca por estratégias de convivência e mitigação do problema é hoje uma das principais demandas da pesquisa agrícola no estado (MELO, 2012; REUNIÃO..., 2010).

Atualmente, muito se têm discutido sobre o impacto das mudanças climáticas nos processos de produção agrícola, já que existem alterações em curso e outras são vislumbradas para cenários futuros. De fato, já podem ser notadas alterações na distribuição das chuvas. Embora não ocorram variações marcantes em termos dos totais anuais de chuva, têm-se observado alterações significativas na distribuição da precipitação, com menor número de eventos e maior ocorrência de chuvas intensas (LIMA; ALVES, 2010; NOBRE et. al., 2010; MARENGO, 2008; TUNDISI, 2008, SINGH, 2007).

A chuva é um elemento do clima que repercute diretamente no universo micrometeorológico, quer seja pelas questões referentes à demanda hídrica, quer seja nas questões pertinentes ao fluxo de energia nos sistemas. E o excesso ou escassez de água é o principal fator responsável por perdas agrícolas no cenário brasileiro (CUNHA; ASSAD, 2001; MONTEIRO, 2009).

Uma concentração da oferta hídrica, por conta das chuvas mais irregulares, como já vem sendo observada, exigirá plantas e sistemas de produção mais eficientes no aproveitamento da água, principalmente em cultivos de sequeiro. Entre as estratégias para melhorar a efetividade do uso da água nos sistemas agrícolas pode-se citar a melhor definição da demanda hídrica das espécies exploradas, para a partir desta informação avaliar a oferta hídrica e promover ajustes no sistema de produção. Exemplos de ajustes seriam a redefinição da época de semeadura ou recomendação de irrigação complementar.

Além disso, a concentração das chuvas leva à expectativa de períodos de estiagem mais longos, com maior estresse hídrico. Portanto, estudos da demanda hídrica das culturas contribuem para o melhor entendimento e desenvolvimento de estratégias que tornem os sistemas agrícolas mais resilientes, quer sejam pelos aspectos inerentes ao cultivo, quer sejam associados ao manejo agrícola. Um exemplo de tais aspectos seria a seleção de culturas e cultivares com maior tolerância às novas condições, assim como a adoção de técnicas de produção mais racionais e que contribuíssem para o enfrentamento de estiagens, como, por exemplo, o Sistema Plantio Direto.

Outra forma de se reduzir os prejuízos causados pelo déficit hídrico é definir adequadamente as melhores épocas de sementeira da cultura, possibilitando que estádios mais críticos das plantas coincidam com períodos menos propensos às estiagens ou veranicos. Para este fim, os zoneamentos agrícolas de risco climático (CUNHA; ASSAD, 2001) apresenta-se como a principal ferramenta técnico-científica.

Foi justamente buscando minimizar os riscos advindos de adversidades climáticas que o governo brasileiro instituiu, a partir de 1996, o Zoneamento Agrícola de risco climático (ZARC), ferramenta de política pública para orientação do crédito de custeio agrícola oficial, bem como para o enquadramento no seguro rural privado e dos programas governamentais. Contudo, apesar de sua reconhecida importância como um instrumento dinâmico de gestão do risco climático na agricultura e dos benefícios decorrentes de sua implantação (BRASIL, 2012; MITIDIÉRI; MEDEIROS, 2008; ROSSETTI, 2001), a metodologia não está isenta de falhas, requerendo ajustes e melhorias, já que poucos avanços metodológicos foram efetuados na última década, especialmente no caso de Mato Grosso do Sul.

As falhas mais comumente observadas no ZARC devem-se à base deficitária de dados e mudanças na parametrização do modelo de balanço hídrico, o qual faz parte do programa *Sarra* (BARON; CLOPES; 1996). A introdução de novas culturas e tecnologias, principalmente novas espécies ou cultivares, poderá levar a alterações significativas nos parâmetros envolvidos na modelagem do risco climático e, conseqüentemente, nos resultados, exigindo sua revisão. Além disso, como já mencionado, em Mato Grosso do Sul, bem como em outras regiões do Brasil, produtores e assistência técnica têm pressionado as entidades responsáveis pelo ZARC para que revisem os procedimentos utilizados, alegando que o método vigente não está em conformidade com a realidade encontrada nos campos, além de solicitar a antecipação do período oficial de sementeira da cultura da soja.

Argumenta-se que a antecipação do cultivo da soja, além de viável em termos produtivos, poderia promover uma menor incidência de doenças durante o ciclo da soja, com conseqüente redução de custos com a aplicação de defensivos, além da maior possibilidade de obter boas produtividades de milho safrinha no cultivo subsequente, com menores riscos de perdas por deficiência hídrica e geadas neste cultivo (MELO, 2012; RIBEIRO; ROCHER, 2012; REUNIÃO..., 2010). Essa antecipação não implicaria em aumento do risco climático para o cultivo da soja devido às características biológicas e fisiológicas dos novos materiais empregados, com hábito de crescimento indeterminado. Ribeiro e Rocher (2012) mencionam que dois terços das lavouras brasileiras de soja utilizam atualmente cultivares de hábito de crescimento indeterminado. A participação, em termos de área e percentuais, dos principais

materiais cultivados em Mato Grosso do Sul (REUNIÃO..., 2010) corroboram esta situação no contexto do estado.

Deste modo, o ZARC atualmente empregado para a cultura da soja não está coerente com a realidade hoje encontrada a campo, já que, segundo Farias et al. (2001, 2009) o ZARC da soja vem empregando parâmetros/coeficientes referentes às cultivares de hábito determinado, tomando por referência o trabalho de Berlato et al. (1986) que utilizaram a cultivar Bragg. Além disso, muitas vezes os parâmetros empregados são estimados a partir de trabalhos realizados em realidades bastante distintas daquelas das regiões produtoras, distanciando ainda mais o ZARC da realidade local.

Com base no exposto acima, deve-se avaliar a hipótese de que os cultivares de hábito indeterminado têm maior resistência às estiagens, possibilitando obter produtividades superiores àquelas dos materiais de ciclo determinado, devido a diferenças no requerimento de água durante o ciclo. Isso pode modificar o período crítico e sua duração, além de alterar a capacidade de recuperação deste material genético frente ao estresse hídrico, sobretudo na fase de floração (MELO, 2012).

Tal hipótese é reforçada pelo setor produtivo com os altos níveis de produtividade alcançada nos últimos anos com as cultivares de soja com hábito de crescimento indeterminado. Assim, é comum os agricultores se referirem a esses materiais com mais produtivos e mais resistentes à seca (RIBEIRO; ROCHER, 2012; REUNIÃO..., 2010).

Para que esta hipótese possa ser provada, a solução seria se modelar o risco climático empregando-se parâmetros de cultivares de hábito indeterminado, em especial o coeficiente de cultura (K_c), obtido em condições locais. No entanto, não há na literatura nacional trabalhos que possam sustentar esta parametrização. Por esse motivo, a obtenção de parâmetros culturais de cultivares de soja, tanto de hábito de crescimento determinado como indeterminado, nas condições locais, são fundamentais para a atualização e aperfeiçoamento do ZARC para a cultura da soja em Mato Grosso do Sul.

Adicionalmente, deve-se também destacar que atualmente o ZARC da cultura da soja em Mato Grosso do Sul é baseado numa base de dados bastante restrita, com menos de 60 estações, apesar de levantamentos recentes feitos pela *Embrapa Agropecuária Oeste* terem identificado mais de uma centena de séries de dados de chuva coletadas em 58 municípios de Mato Grosso do Sul, o que possibilitaria a ampliação dessa base e a elaboração de mapas mais acurados e precisos, melhorando a confiabilidade dos resultados gerados pelo ZARC no Estado.

Considerando-se os aspectos abordados, objetivo central deste trabalho é aprimorar o ZARC para a cultura da soja em Mato Grosso do Sul, com base na redefinição dos parâmetros da cultura, atualização das bases de dados e revisão da metodologia utilizada. Para tanto, esperava-se:

- a) comparar e validar o desempenho de duas diferentes estruturas de lisímetros para a obtenção da evapotranspiração das culturas da soja e do milho;
- b) determinar localmente os valores de K_c para as culturas do milho e da soja, considerando-se neste último caso cultivares com hábitos de crescimento determinado e indeterminado;
- c) gerar mapas atualizados de risco climático para a cultura da soja em Mato Grosso do Sul, considerando-se novos valores de K_c e a ampliação da base de dados climáticos.
- d) avaliar o efeito da antecipação da semeadura da soja no estado de MS e suas consequências no risco climático.

Organização da tese

Buscando atender os objetivos estabelecidos para o desenvolvimento do presente estudo foram realizados quatro trabalhos científicos distintos:

- 1) Caracterização e calibração de dois conjuntos lisimétricos de pesagem destinados ao estudo da demanda hídrica de culturas agrícolas em Dourados, MS;
- 2) Avaliação de um conjunto lisimétrico na determinação da demanda hídrica do milho cultivado no outono-inverno em Mato Grosso do Sul;
- 3) Demanda hídrica da soja com hábitos distintos de crescimento em Mato Grosso do Sul;
- 4) Zoneamento agrícola de risco climático da cultura da soja em Mato Grosso do Sul, considerando-se a revisão e atualização dos valores de K_c e das bases de dados.

Os trabalhos são apresentados em capítulos específicos, dispostos após a revisão bibliográfica.

Referências

BARON, C.; CLOPES, A. **Sistema de Análise Regional dos Riscos Agroclimáticos (SARRA)**. Paris: CIRAD. 1996. 37p.

BERLATO, M. A.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima da soja relações com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evaporação de tanque "classe A" e radiação solar global. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 22, n. 2, p. 243-259, 1986.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Zoneamento agrícola de risco climático**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola/>>. Acesso em: 12 ago. 2012.

CUNHA, G.R.; ASSAD, E.D. Uma visão do número especial da RBA sobre zoneamento agrícola no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 377-385, 2001.

FAMASUL. **Sistema de Informação Geográfica do Agronegócio – SIGA**: Consulta Tabular aos dados das Safras: Mato Grosso do Sul - abril de 2015. [Rio de Janeiro, 2015?]. Disponível em: <<http://www.sigaweb.org/ms/sistema/consulta.php>>. Acesso em: 28 abr. 2015.

FARIAS, J.R.B.; ASSAD, E.D.; ALMEIDA, I.R.; EVANGELISTA, B.A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001.

FARIAS, J.R.B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Soja. In: MONTEIRO, J.E.B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos**: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Instituto Nacional de meteorologia, 2009. cap. 8, p. 133-149.

IBGE. **Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA**: Banco de Dados Agregados: Dados de previsão de safra: área colhida - hectare - unidade da federação: Mato Grosso do Sul - julho de 2015. [Rio de Janeiro, 2015?]. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp?t=3&z=t&o...>>. Acesso em: 03 jul. 2015.

LIMA, M.A.; ALVES, B.J.R. Vulnerabilidades, impactos e adaptação à mudança do clima no setor agropecuário e solos agrícolas. **Parcerias estratégicas**, Brasília, n. 27, p. 73-112, dez. 2010.

MELO, C.L.P. **Importância na escolha de cultivares de soja**: Por que diversificá-las? Disponível em: <<http://www.agrosoft.org.br/agropag/216180.htm>>. Acesso em: 20 ago. 2012.

MARENGO, J.A. Água e mudanças climáticas. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 83, 2008.

MITIDIERI, F.J.; MEDEIROS, J.X. de. Zoneamento agrícola de risco climático: ferramenta de auxílio ao seguro rural. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v.17, n. 4, p 36-46, out./nov./dez. 2008.

MONTEIRO, J.E.B.A. (Ed.). **Agrometeorologia dos cultivos**: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: INMET, 2009. 530p.

NOBRE, C.A. Mudanças climáticas globais e o Brasil: Porque devemos nos preocupar. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, n. 30, p. 7-11, 2007.

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Cenários de mudança climática para a América do Sul para o final do século 21. **Parcerias Estratégicas**, São Paulo, n. 13, p. 19-42, 2010.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 31. **Relatos por Estado sobre o comportamento da cultura de soja na safra 2010/2011**: Mato Grosso do Sul. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 325p (Série Documentos, 324).

RIBEIRO, C.; ROCHER, J. **Tecnologia argentina muda a safra no Brasil**. Gazeta do Povo, Curitiba, 07 fev. 2012, Caderno Agronegócio. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/agronegocio/conteudo.phtml?id=1220817>>. Acesso em: 20 ago. 2012.

ROSSETTI, L. A. Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e securidade rural no Brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 386-399, 2001.

SINGH, S.N. (Ed.). **Climate change and crops**. Berlin:Springer Science & Business Media, 2007. 384p.

TUNDISI, J.G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 7-16, 2008.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistema de produção da soja em Mato Grosso do Sul

Mato Grosso do Sul (MS) é um estado cuja economia é eminentemente dependente da atividade agrícola e pecuária. A principal alteração na matriz de produção notada nos últimos anos foi a expansão da atividade sucroalcooleira e dos reflorestamentos voltados à produção de papel e celulose. Contudo, a cultura da soja (*Glycine max*) é ainda a principal atividade agrícola de MS, respondendo por mais da metade da área total destinada às lavouras temporárias nesse estado ao longo do ano (IBGE, 2014).

Durante a safra de verão, a cultura da soja chega a ocupar mais de 98% da área destinada aos cultivos temporários, perfazendo 2,12 milhões ha cultivados em 2013 (FAMASUL, 2015). A participação relativa da cultura da soja em relação aos cultivos temporários de Mato Grosso do Sul é apresentada na Figura 2.1. Os dados foram compilados a partir do banco de dados de cultivos temporários da Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2014), dos quais se excluiu a cultura da cana-de-açúcar, visando restringir-se apenas aos cultivos temporários anuais.

É possível observar na Figura 2.1 que a cultura da soja chegou a responder por 68% dos cultivos temporários realizados em MS durante o ano. Tal fato se deu quando as culturas de inverno, particularmente o trigo, deixaram de ser uma opção rentável para a agricultura estadual e os preços do milho, principal alternativa de verão, eram pouco atrativos. Contudo, com o desenvolvimento tecnológico do cultivo de milho no outono-inverno, essa cultura passou a se consolidar como segunda safra, diminuindo a participação relativa da cultura da soja. Na safra 2014 foram cultivados 1,71 milhões ha com milho safrinha em MS.

Em conjunto, milho e soja representam hoje mais de 96% da produção agrícola temporária de MS (IBGE, 2014). E pelo fato dos cultivos serem realizados em períodos imediatamente subsequentes, houve a necessidade de ajustes no sistema de produção visando viabilizar os dois cultivos. O principal ajuste a ser mencionado é a antecipação dos cultivos de soja, visando também antecipar o cultivo subsequente do milho outono-inverno e assim diminuir o risco de perdas por baixas temperaturas (geadas) e estresse hídrico. Essas culturas estão tão intrinsicamente ligadas que é praticamente impossível dissociar seus cultivos. Assim, ao se referir ao sistema de produção da soja, o cultivo do milho pode ser considerado um de seus componentes ou deveria ao menos ser considerado como um fator de influência direta.

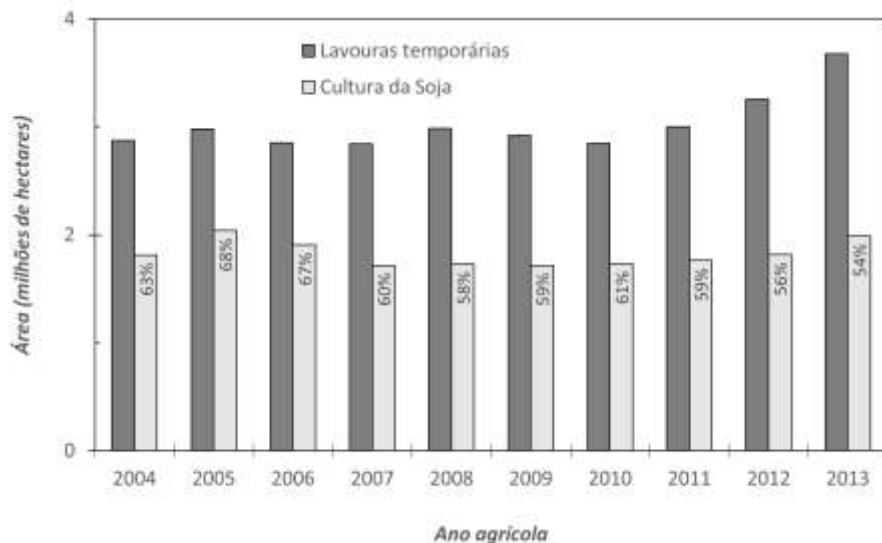


Figura 2.1 - Evolução da área cultivada com lavouras temporárias em Mato Grosso do Sul, à exceção da cana-de-açúcar, e participação relativa da cultura da soja. Fonte: IBGE (2014)

2.2 Principais condicionantes agrometeorológicos da produção

O clima é o principal fator responsável pelas oscilações e frustrações das safras agrícolas no Brasil, particularmente pelo impacto negativo da deficiência hídrica sobre a produtividade das culturas (MONTEIRO, 2009). Contudo, além da disponibilidade hídrica, outros condicionantes a serem considerados são a temperatura, a radiação solar e o fotoperíodo.

Nas condições tropicais e subtropicais do Brasil, a disponibilidade hídrica é de fato o principal limitante para culturas de verão. Embora possam ocorrer injúrias por condições extremas, via de regra a temperatura, a radiação solar e o fotoperíodo não são limitantes na safra de verão, quando apresentam pouca variabilidade em seus valores.

De fato, os cultivos ditos de verão são implantados na primavera e avançam para o período de verão, realizando grande parte de seu ciclo na estação do verão. Durante esse período do ano, os dias são mais longos do que as noites, o que leva, juntamente com os menores ângulos zenitais, a uma elevada quantidade de energia que fica disponível ao sistema (saldo de radiação), condicionando temperaturas mais altas.

A Figura 2.2 apresenta a variação do saldo de radiação ao longo de um ano em Dourados, MS. Foram utilizados coletados por Flumignam et al. (2014) entre 2013 e 2014 e são posicionadas as janelas de cultivo para a cultura da soja, um típico cultivo de verão, e para o milho outono-inverno ou safrinha. Observado que enquanto a cultura da soja é submetida a valores médios de saldo de radiação da ordem de $15 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ durante seu ciclo, a cultura do milho safrinha desenvolve seu ciclo em um período onde é esperada a redução desses

valores, resultando em redução da temperatura, o que juntamente com a diminuição do fotoperíodo reduz a produtividade potencial desse cultivo em relação ao da safra de verão.

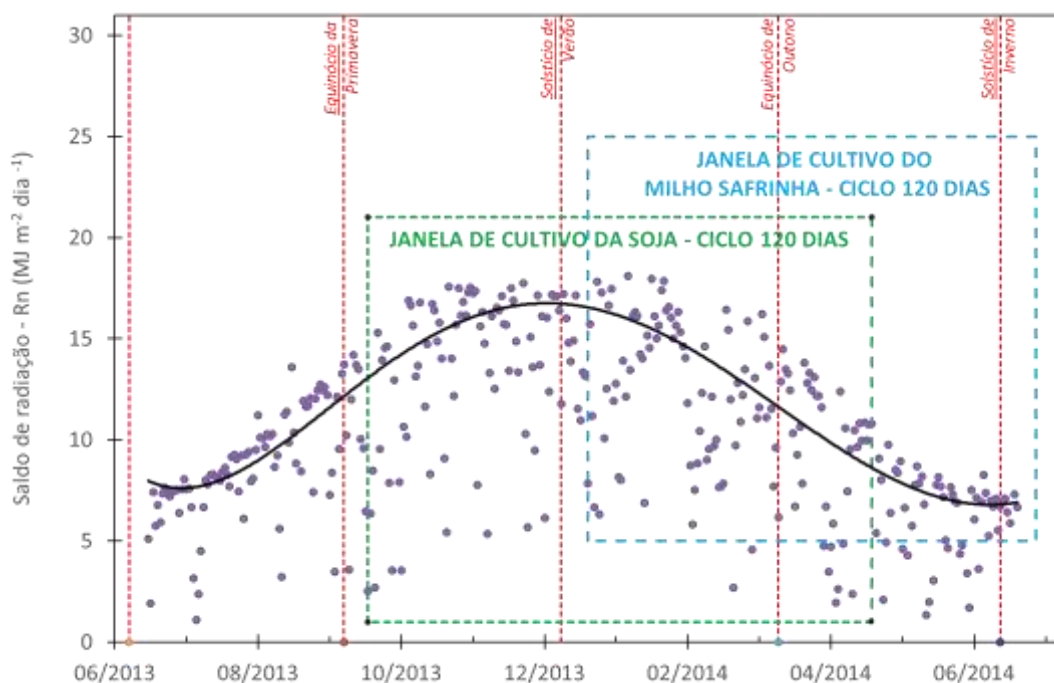


Figura 2.2 – Saldo de Radiação observado ao longo de um ano (2013/2014) na estação meteorológica da Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados, MS, e posição relativa do ciclo das culturas da soja e do milho safrinha, considerando-se durações desses da ordem de 120 dias. Os dados foram obtidos de Flumignam et al. (2014) e a linha contínua em preto representa um ajuste empírico da tendência de comportamento do saldo de radiação ao longo do ano

Uma discussão aprofundada acerca dos condicionantes agrometeorológicos da produção da soja e do milho é realizada, respectivamente, por Farias et al. (2009) e Bergamaschi e Matzenauer (2009). Ambos os trabalhos constituem capítulos integrantes do livro Agrometeorologia dos cultivos (MONTEIRO, 2009), obra que pode ser considerada uma referência para o zoneamento agrícola de risco climático (ZARC) realizado no Brasil.

A consulta à obra de Monteiro (2009) revela que para a maioria das culturas de interesse econômico o foco principal do zoneamento fica por conta da disponibilidade hídrica. Todavia, condições como aquelas vivenciadas pelo cultivo do milho outono-inverno deverão contemplar a análise de outros condicionantes agrometeorológicos de risco para essa cultura.

2.3 Zoneamento Agrícola de Risco Climático

A ocorrência de adversidades climáticas e seus efeitos negativos na produção agrícola levaram o Brasil, por meio de suas instituições de pesquisa, a desenvolver mecanismos que permitissem quantificar e minimizar o risco inerente à atividade (BRASIL, 2012). Avaliando diferentes alternativas, logo foi possível destacar o potencial dos zoneamentos, em especial aquele denominado de Zoneamento Agrícola de Risco Climático, o qual permite indicar, com grande margem de segurança, o local e o período mais apropriado para cultivar determinada cultura, nas diferentes regiões brasileiras, além de relacionar as cultivares mais adequadas para cada região e tipo de solo (MITIDIERI; MEDEIROS, 2008; ROSSETTI, 2001).

Muito embora o trabalho de zoneamento tenha se iniciado antes de 1996, foi somente a partir deste ano que ele se tornou um instrumento de política pública, ganhando um expressivo impulso. Neste ano, por determinação do Conselho Monetário Nacional – CMN, o Banco Central do Brasil publicou resoluções passando a considerar o zoneamento agrícola de risco climático como referência para aplicação racional do crédito agrícola e para o Programa de Garantia Agropecuária – PROAGRO. Posteriormente, o zoneamento agrícola de risco climático passou a orientar também outros seguros governamentais e privados (ROSSETTI, 2001).

Um maior aprofundamento quanto à natureza do Zoneamento Agrícola de Risco Climático, bem como as motivações para sua utilização e seu histórico de desenvolvimento, pode ser encontrado nos trabalhos de Rossetti (2001) e de Mitidieri e Medeiros (2008), assim como em Cunha e Assad (2001), os quais introduzem ao número especial da Revista Brasileira de Agrometeorologia, dedicado exclusivamente ao Zoneamento Agrícola de Risco Climático.

Passados os anos, vários estudos demonstraram que a definição das épocas de semeadura, por meio da modelagem do balanço hídrico da cultura, contribuiu para reduzir os riscos climáticos causados, sobretudo, pela distribuição irregular das chuvas. O número especial da Revista Brasileira de Agrometeorologia apresenta exemplos para todas as grandes culturas nacionais, entre elas o trigo, a soja e o milho, (CUNHA et al. 2001; FARIAS et al., 2001; MALUF et al., 2001; SANS et al., 2001). Outra referência importante, e mais atualizada, é a de Monteiro (2009), a qual compilou informações de cunho agrometeorológico para as todas as culturas abrangidas pelo zoneamento de risco climático à época de publicação.

O método utilizado no Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) é comum para as diversas culturas integrantes (BRASIL, 2012; MONTEIRO, 2009), empregando-se o programa *Sarra* (Sistema de Análise Regional dos Riscos Agroclimáticos), desenvolvido por Baron e Clopes (1996) para a modelagem do balanço hídrico das culturas. Para tal modelagem, utilizam-se como dados de entrada a precipitação diária, a evapotranspiração de referência decendial, coeficientes de cultura decendiais, ciclo da cultura, número e duração das fases fenológicas. Os dados de precipitação são tomados de séries históricas com pelo menos 15 anos de dados diários. O ciclo considera quatro fases fenológicas: (1) germinação/emergência; (2) desenvolvimento vegetativo; (3) florescimento/enchimento de grãos; e (4) maturação, informando a duração de cada um deles e quais períodos são mais críticos para a cultura em questão. Além disso, o método classifica os solos brasileiros de acordo com a textura em três grandes grupos: Tipo 1 (arenoso); Tipo 2 (textura média); e Tipo 3 (argiloso). As diferenças na textura dos solos implicam em diferentes capacidades de armazenamento de água (capacidade de água disponível - CAD). O processo de modelagem considera distintas datas de semeadura, com intervalos de dez dias, produzido um balanço hídrico para cada data e simulando a cultura em cada situação.

O modelo oferece diferentes opções de variáveis de saída, sendo padrão para o zoneamento a adoção do Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA) para a definição do risco. O ISNA é calculado com base no balanço hídrico, representando a relação entre as evapotranspirações real e máxima da cultura. Calcula-se um valor de ISNA para cada estação e fase fenológica da cultura, considerando-se diferentes datas de semeadura, uma a cada decêndio do ano. Consideram-se aptas as áreas com ISNA igual ou superior a um limiar (entre 0,55 e 0,65) na fase crítica, em pelo menos 80% dos anos (FARIAS; NEUMAIER; NEPOMUCENO, 2009; CUNHA et al. 2001; FARIAS et al., 2001; MALUF et al., 2001; SANS et al., 2001).

Uma vez definido o limiar a ser considerado para o ZARC, a etapa seguinte consiste em espacializar os resultados. Para isto, os valores de ISNA obtidos são interpolados pelo método do inverso do quadrado da distância (média ponderada) e a grade gerada, regularmente espaçada a 500 m, é classificada em três níveis, correspondendo às situações de alto, médio e baixo risco climático (CUNHA et al. 2001; FARIAS et al., 2001). No caso da cultura da soja, esses procedimentos foram determinados para as cultivares de hábito de crescimento determinado, havendo, assim, a necessidade de se parametrizar o modelo empregado para as cultivares de soja com hábito de crescimento indeterminado. O ponto crucial deste processo é a obtenção de coeficientes de cultura (K_c) representativos para tal

cultivar, já que o hábito de crescimento afeta aspectos morfológicos das plantas, especialmente a área foliar. A recomendação é de que esses coeficientes sejam obtidos experimentalmente. Quando isso não se torna possível, o uso de estimativas considerando trabalhos realizados em outras localidades poderá ser admitido.

O Zoneamento Agrícola de Risco Climático emprega, ainda hoje, basicamente o mesmo método utilizado 20 anos atrás, quando da sua definição (MONTEIRO, 2009), sendo que a maioria dos trabalhos produzidos atualmente ainda se ampara nos critérios e coeficientes estabelecidos nos diversos trabalhos que compõem o número especial da Revista Brasileira de Agrometeorologia (CUNHA; ASSAD, 2001). Uma análise mais detalhada possibilita observar também que pouco esforço foi destinado para se revisar a parametrização do modelo. Sendo assim, para o zoneamento da soja, continuam valendo os coeficientes de cultura definidos em Farias et al. (2001), embora seja comum a modificação destes coeficientes seguindo critérios empíricos.

De acordo com Farias et al. (2001), a soja tem dois períodos críticos bem definidos com relação à falta de água, os quais são: da sementeira à emergência e da floração ao enchimento dos grãos. Na germinação, tanto o excesso como a falta de água são prejudiciais ao estabelecimento da cultura. Durante esse período, excessos hídricos são mais limitantes do que os déficits. A ocorrência de déficit hídrico durante o período de enchimento dos grãos é mais prejudicial do que durante a floração. Como o consumo de água pela cultura da soja depende, além do estágio de desenvolvimento, da demanda evaporativa da atmosfera, o seu valor absoluto pode variar, tanto em função das condições climáticas de cada região como em função do ano e da época de sementeira na mesma região climática.

2.4 Lisimetria e obtenção dos coeficientes de cultura

No início do emprego do ZARC poucas referências estavam disponíveis para a parametrização da cultura da soja no Brasil. Basicamente, se dispunha dos trabalhos de Berlato et al. (1986) e de Doorenbos e Kassam (1997), sendo que foram esses os trabalhos que serviram de base para definir os coeficientes de cultura (K_c) empregados naquela época e que ainda são as referências nos dias atuais (FARIAS; NEUMAIER; NEPOMUCENO, 2009). Como anteriormente mencionado, se não bastasse a falta de referenciais mais atualizadas, os trabalhos disponíveis tratavam ainda de parâmetros obtidos para as cultivares com hábito de crescimento determinado.

A determinação da evapotranspiração das culturas e, conseqüentemente, dos valores de K_c tem sido abordada por uma série de estudos (ALLEN et. al., 1991; ALLEN et. al., 1998; CAMPECHE, 2002; FLUMIGNAN, 2011). Apesar de o método geral para a definição do ZARC ser bem conhecido, há ainda carência de estudos aplicados que englobem a definição dos valores de K_c para a diversidade de culturas produzidas no Brasil e nos diferentes sistemas de cultivo. Outro aspecto a ser considerado é a existência e desempenho de diferentes métodos para a determinação da evapotranspiração de referência (ETo) e da cultura (ETc). Embora sejam relatados resultados satisfatórios com os métodos do balanço de energia, baseado na razão de *Bowen*, e do balanço hídrico no solo, a lisimetria de pesagem se destaca como a técnica padrão na determinação dessas variáveis (CAMPECHE et al., 2011; VAUGHAN et al., 2007).

A lisimetria de pesagem consiste em uma técnica de mensuração direta que possibilita medir a variação do peso de um bloco de solo, devido à entrada ou saída de água, por meio de um conjunto de células de carga (ALLEN et al., 1998; ABOUKHALED; ALFARO; SMITH, 1982). Segundo Campeche et al. (2011), muitos autores consideram o lisímetro de pesagem o melhor equipamento disponível para medir com precisão a ETo e a ETc , bem como para a calibração de modelos de estimativa dessas variáveis (JENSEN et. al., 1990).

Segundo Aboukhaled et al. (1982), o balanço hídrico do sistema (solo + cultura) no interior do lisímetro pode ser descrito pela Equação (1), em que P é a precipitação, I a irrigação, ES o escoamento superficial, ET a evapotranspiração, D a drenagem profunda e ΔA a variação do armazenamento de água, sendo todas as unidades apresentadas em milímetros (mm):

$$P + I \pm ES = ET + D \pm \Delta A \quad (1)$$

Normalmente, os lisímetros de pesagem são confeccionados com a borda superior ligeiramente elevada, pois assim a ocorrência de escoamento superficial para dentro ou para fora do lisímetro é evitada e seu valor no balanço hídrico é considerado como sendo nulo (FLUMIGNAN, 2011). Portanto, a equação do balanço hídrico pode ser rearranjada de modo a se estimar a evapotranspiração pela Equação (2):

$$ET = P + I - D \pm \Delta A \quad (2)$$

Uma vez que os termos precipitação e irrigação são determinados por pluviômetros, o termo drenagem pode ser determinado com base na variação de massa acusada pelo lisímetro. Caso não haja precipitação, irrigação e/ou drenagem, a evapotranspiração determinada pelo lisímetro será igual a sua própria variação de massa. Caso haja a ocorrência de algum dos outros termos da Equação (2), eles devem ser descontados (ABOUKHALED; ALFARO; SMITH, 1982).

De acordo com Allen et al. (1998), o K_c pode ser determinado experimentalmente estimando-se a ET_o pelo método de Penman-Monteith e a ET_c pelo lisímetro de pesagem. Deste modo, o mesmo poderá ser determinado por meio da Equação. (3):

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (3)$$

Sendo assim, na determinação da ET_c , a maioria dos efeitos dos diferentes fatores meteorológicos se encontra incorporada na estimativa da ET_o , enquanto que o K_c expressa as características do cultivo (tipo de cultura, cultivar, fase fenológica e índice de área foliar). Segundo Jensen et al. (1990), o K_c representa a habilidade da planta e do solo em atender a demanda imposta. Para Allen et al. (1998), isso permitiria a transferência de valores de K_c entre distintas regiões geográficas e climas, e, desta forma, constitui a principal razão para a aceitação e utilização do K_c para a estimativa da ET_c .

De acordo com Allen et al. (2005), o K_c é influenciado pela rugosidade aerodinâmica da cultura, resistência difusiva do dossel vegetativo e do solo aos fluxos de calor sensível e calor latente e, por fim, devido à refletância do conjunto dossel vegetativo e solo à radiação de ondas curtas. Os valores de K_c permitem prever apenas os valores de ET_c , que representa o limite máximo de evapotranspiração esperada para um dado cultivo quando não existem fatores limitantes ao crescimento do mesmo associados às restrições de ordem hídrica, nutricional, fitossanitária e de manejo agrícola.

2.5 Simulações e mapeamento do risco climático

Com os parâmetros das distintas cultivares e a base de dados meteorológicos são executadas as simulações com o Sistema de Análise Regional de Riscos Agroclimáticos (*Sarra*), programa computacional utilizado para definir o zoneamento agrícola no Brasil, desenvolvido por Baron e Clopes (1996). Os resultados das simulações são então tratados por

um Sistema de Informações Geográficas e apresentados na forma de mapas de risco climático para as épocas de semeadura avaliadas e considerando diferentes tipos de solos.

Esses procedimentos podem ser divididos em duas etapas: a) cálculo dos balanços hídricos usando o programa computacional *Sarra*, módulo *Sarrazon* (BARRON; CLOPES, 1996) e b) espacialização dos índices de satisfação das necessidades hídricas calculados.

Na primeira etapa, os balanços hídricos são calculados em intervalos decendiais durante todo o ano, estabelecendo-se a semeadura nos dias 5, 15 e 25 de cada mês, sendo consideradas as seguintes variáveis de entrada:

- a) Precipitação pluvial diária: séries de dados de estações pluviométricas, com no mínimo 15 anos de dados diários, obtidos junto à Agência Nacional de Águas (ANA);
- b) Evapotranspiração de referência (ET_o): estimada pelo método de Penman-Monteith, com base nas séries de dados meteorológicos provenientes das estações do INMET;
- c) Capacidade de água disponível do solo (CAD): em função do tipo de solo e da cultura, sendo considerada constante durante o ciclo da cultura;
- d) cultivares: são utilizados os parâmetros culturais de três cultivares com diferentes ciclos;
- e) coeficientes de cultura (K_c): valores decendiais estabelecidos ao longo do ciclo das culturas.

A partir dos valores de evapotranspiração real (ET_r) e evapotranspiração máxima (ET_c) determinados pelo modelo de simulação do balanço hídrico é calculado o índice de satisfação das necessidades de água (ISNA) das cultivares (Equação 4). A ET_r expressa a quantidade de água que a planta efetivamente consumiu enquanto que a ET_c representa a quantidade de água necessária para garantir a ausência de deficiência hídrica e produtividade máxima (SILVA et al., 1998).

$$ISNA = \left(\frac{ET_r}{ET_c} \right) \quad (4)$$

Para a definição do risco climático associado ao cultivo de soja são estabelecidas três classes de ISNA: a) ISNA > 0,60 - baixo risco climático; b) 0,60 > ISNA > 0,50 - médio risco climático e c) ISNA < 0,50 - alto risco climático (BRASIL, 2012). Lembrando que os valores reportados pelo ZARC são referentes a frequências de ocorrência de 80% dos anos.

Os valores de ISNA referentes ao período crítico para a soja (floração e o enchimento de grãos) estão associados a coordenadas de origem, o que permite exportá-los para tratamento e espacialização em Sistema de Informações Geográficas (SIG). Os dados são

especializados após serem interpolados pelo método do inverso do quadrado da distância (média ponderada). Por padrão estabelecido no método do zoneamento, define-se o espaçamento da grade gerada em 500 m (CUNHA et al. 2001; FARIAS et al., 2001). Os limiares de ISNA, mencionados acima, são utilizados para gerar o mapeamento do risco climático considerando três classes de risco (alto, médio e baixo risco). Frisando novamente que os valores retornados pela modelagem se referem aos valores mínimos esperados em 80% dos casos.

É importante ressaltar que o modelo empregado para a confecção do ZARC baseia-se apenas no balanço hídrico da cultura e na evapotranspiração relativa (ISNA), não representando valores de produtividade ou relacionando-se aos fatores redutores, como aqueles oriundos da fertilidade de solos ou ação de pragas, doenças e plantas daninhas.

Referências

ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. **Lysimeters**. Rome: FAO, 1982. 68p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 39).

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (Irrigation and drainage paper, 56).

ALLEN, R.G.; HOWELL, T.A.; PRUITT, W.O.; WALTER, I.A.; JENSEN, M.E. (Ed.). **Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements**. New York: American Society of Civil Engineers, 444p.1991.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; SMITH, M.; RAES, D.; WRIGHT, J.L. FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 131, n. 1, p. 2-13, 2005.

BARON, C.; CLOPES, A. **Sistema de Análise Regional dos Riscos Agroclimáticos (SARRA)**. Paris: CIRAD. 1996. 37p.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. Milho. In: MONTEIRO, J.E.B.A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. p. 237-260.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Zoneamento agrícola de risco climático**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola/>>. Acesso em: 12 ago. 2012.

CÂMARA, G.M.S. **Fenologia da soja**. Piracicaba, SP: POTAFOS, 1998 (Artigo Técnico).

CAMPECHE, L.F.S.M. **Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração da cultura da lima ácida “Tahiti” (*Citrus latifolia* Tan.)**. 2002. 67p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CAMPECHE, L.F.M.S.; AGUIAR NETTO, A.O.; SOUSA, I. F.; FACCIOLI, G.G.; SILVA, V.P.R.; AZEVEDO, P.V. Lisímetro de pesagem de grande porte. Parte I: Desenvolvimento e calibração. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 519–525, 2011.

CUNHA, G.R.; ASSAD, E.D. Uma visão do número especial da RBA sobre zoneamento agrícola no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 377–385, 2001.

CUNHA, G.R.; HAAS, J.C.; MALUF, J.R.T; CARAMORI, P.H.; ASSAD, E.D.; BRAGA, H.J.; ZULLO JUNIOR, J.; LAZZAROTTO, C.; GONÇALVES, S. WREGE, M.; BRUNETTA, D.; DOTTO, S.R.; PINTO, H.S.; BRUNINI, O.; THOMÉ, V.M.R.; ZAMPIERI, S.L.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M.B.M.; PANDOLFO, C. Zoneamento agrícola e época de semeadura para trigo no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 400-414, 2001.

FAMASUL. **Sistema de Informação Geográfica do Agronegócio – SIGA**: Consulta Tabular aos dados das Safras: Mato Grosso do Sul - abril de 2015. [Rio de Janeiro, 2015?]. Disponível em: < <http://www.sigaweb.org/ms/sistema/consulta.php>>. Acesso em: 28 abr. 2015.

FARIAS, J.R.B.; ASSAD, E.D.; ALMEIDA, I.R.; EVANGELISTA, B.A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001.

FARIAS, J.R.B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Soja. In: MONTEIRO, J.E.B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Instituto Nacional de meteorologia, 2009. cap. 8, p. 133-149.

FLUMIGNAN, D.L. **Lisímetros de pesagem direta para o estudo do consumo hídrico do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.)**. 2011. 200p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

FLUMIGNAN, D.L.; FIETZ, C.R.; COMUNELLO, E. **Métodos empíricos para a estimativa do saldo de radiação da superfície de referência a partir da radiação solar**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2014. 5p. (Comunicado Técnico, 199).

IBGE. **Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA**: Banco de Dados Agregados: Produção Agrícola Municipal: Brasil e Mato Grosso do Sul. [Rio de Janeiro, 2014?]. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo9.asp?e=c&p=PA&z=t&o=11>>. Acesso em: 03 nov. 2014.

JENSEN, M.E.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1990. 360p. (ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice).

MALUF, J.R.T.; CUNHA, G.R.; MATZENAUER, R.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M.B. M.; CAIAFFO, M.R. Zoneamento de risco climático para a cultura de milho no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 460-467, 2001.

MITIDIERI, F.J.; MEDEIROS, J.X. de. Zoneamento agrícola de risco climático: ferramenta de auxílio ao seguro rural. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v.17, n. 4, p 36-46, out./nov./dez. 2008.

MONTEIRO, J.E.B.A. (Ed.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: INMET, 2009. 530p.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 31. **Relatos por Estado sobre o comportamento da cultura de soja na safra 2010/2011: Mato Grosso do Sul**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 325p (Série Documentos, 324).

RIBEIRO, C.; ROCHER, J. **Tecnologia argentina muda a safra no Brasil**. Gazeta do Povo, Curitiba, 07 fev. 2012, Caderno Agronegócio. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/agronegocio/conteudo.phtml?id=1220817>>. Acesso em: 20 ago. 2012.

ROSSETTI, L.A. Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e securidade rural no Brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 386-399, 2001.

SANS, L.M.A.; ASSAD, E.D.; GUIMARÃES, D.P.; AVELLAR, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de milho na Região Centro-Oeste do Brasil e para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 527-535, 2001.

VAUGHAN, P.J.; TROUT, T.J.; AYARS, J.E. A processing method for weighing lysimeter data and comparison to micrometeorological ETo predictions. **Agricultural Water Management**, International, v. 88, p. 141-146, 2007.

3 CARACTERIZAÇÃO E CALIBRAÇÃO DE DOIS CONJUNTOS LISIMÉTRICOS DE PESAGEM DESTINADOS AO ESTUDO DA DEMANDA HÍDRICA DE CULTURAS AGRÍCOLAS EM DOURADOS, MS

Resumo

Os lisímetros de pesagem estão entre os métodos de maior confiabilidade para determinação da evapotranspiração, quer seja de referência, quer seja de cultivos. Todavia, uma série de fatores ligados à construção e calibração desses dispositivos pode influenciar, e até mesmo comprometer, seus resultados. Sendo assim, este estudo teve por objetivo caracterizar os lisímetros localizados na Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados, MS, fornecendo subsídios para inferências acerca de sua precisão e confiabilidade. No procedimento de calibração foram utilizados volumes com massa conhecida para estabelecer a relação entre o sinal das células de carga e a massa dos equipamentos. Todas as equações de calibração apresentaram coeficientes de determinação muito altos e próximos da unidade, com erro absoluto médio (EAM) inferior a $0,1 \text{ mm dia}^{-1}$. Embora os dois conjuntos lisimétricos apresentem características estruturais e de dimensionamento bastante distintas, os resultados obtidos na calibração permitiram concluir que os dois conjuntos lisimétricos avaliados são plenamente compatíveis em termos de precisão e acurácia, se equivalendo, portanto, para a determinação da variação de massa em cada unidade. Contudo, o primeiro conjunto lisimétrico reúne uma série de peculiaridades que, conforme é discutido neste estudo, poderão favorecer o aumento da evapotranspiração, levando à superestimativa dos valores em relação à verdade de campo. Essa série de peculiaridades foi considerada e sanada no planejamento e construção do segundo conjunto lisimétrico, permitindo estabelecê-lo como referencial de comparação para estudos futuros da demanda hídrica de culturas agrícolas.

Palavras-Chave: Coeficientes de cultura; Lisimetria; Evapotranspiração de culturas

Abstract

Weighing lysimeters are among the most reliable methods to determine both reference and crop evapotranspirations. However, some factors associated to the construction and calibration of these devices can influence, and even compromise, their results. Therefore, this study aimed to characterize the lysimeters located at Embrapa Agropecuária Oeste, in Dourados, MS, Brazil, providing subsidies for inferences about their accuracy and reliability. Volumes with known mass were used in the calibration procedure to determine the relationship between the load cells signal and the devices masses. All calibration equations presented very high coefficient of determination ($r \cong 1$) with mean absolute error (MAE) lower than 0.1 mm day^{-1} . Although the two lysimeters sets may be considered clearly different in terms of structure and design characteristics, the calibration results allowed to conclude that both sets are similar in precision and accuracy and, therefore, equivalent when determining mass variation. However, the first lysimeter has some peculiarities, which, as discussed in this study, could increase evapotranspiration, leading to overestimation of values in relation to the field truth. These peculiarities were considered and remedied in the planning and construction of the second set of lysimeters, allowing to establish it as the reference for comparisons in future studies of crop water demand.

Keywords: Crop coefficient; Lysimetry; Crop evapotranspiration

3.1 Introdução

O sucesso da atividade agrícola depende da interação de uma série de fatores de produção e disponibilidade de insumos. Contudo, especial atenção deve ser dada à satisfação das necessidades hídricas das culturas, visto ser a escassez ou excesso de água, as principais causas de perdas nas lavouras brasileiras (ROSSETTI, 2001). A agricultura brasileira é praticada essencialmente no regime de sequeiro, sendo que, de acordo com o Censo Agropecuário de 2006, apenas 7,4% das lavouras do país, ou 4,45 milhões de hectares, utilizavam alguma técnica de irrigação (IBGE, 2009). Desse modo, fica explícito que a produção agrícola brasileira é fortemente dependente do clima e de sua variabilidade para o atendimento da demanda hídrica dos cultivos, explicando, em grande parte, o elevado grau de risco associado a esta atividade.

A demanda hídrica das culturas é um tema bastante complexo, com grande variação e potencial de impacto ao longo do ciclo das culturas. Embora a escassez possa ser tolerada em alguns momentos, sua ocorrência em períodos considerados críticos compromete o sucesso das lavouras de sequeiro (MONTEIRO, 2009). Mesmo quando o total acumulado de chuva durante o ciclo da cultura corresponde ao esperado, nem sempre a água está disponível na quantidade e momentos em que é efetivamente necessária. Isso também se aplica à agricultura irrigada já que nem sempre a mesma é feita com o devido monitoramento e controle.

Desse modo, o conhecimento do consumo de água das plantas ao longo de seu ciclo é uma informação de grande relevância no manejo dos cultivos agrícolas, permitindo estimar a água requerida ao longo de seu desenvolvimento (DOORENBOS; PRUIT, 1997). Essa informação é de grande utilidade e pode ser utilizada na definição precisa e acurada da lâmina de água a ser aplicada por irrigação ou, ainda, na definição dos períodos de semeadura que promovam uma maior eficiência no uso da água ao longo do ciclo da cultura, seja ela irrigada ou não. A definição de épocas de semeadura, considerando riscos climáticos associados a cada período, especialmente no que se refere à satisfação das necessidades hídricas, se constitui na base do zoneamento agrícola oficial atualmente utilizado pelo governo brasileiro (MAIA et al., 2011), sendo a determinação correta da evapotranspiração máxima da cultura aspecto fundamental nesse processo.

Em tempos onde o uso da água permeia as grandes discussões sobre a sustentabilidade da produção agropecuária, o conhecimento da demanda hídrica dos cultivos pode promover ganhos significativos de eficiência na utilização da água, determinando muitas vezes a viabilidade dos cultivos em diferentes épocas e locais.

O balanço hídrico do solo é uma técnica utilizada para a contabilidade da água utilizada em um sistema, onde se computam as entradas de água, principalmente pela chuva ou irrigação, frente ao uso ou perdas desse recurso, denominados como saídas. Normalmente, as perdas são computadas pela ação do escoamento superficial e percolação da água. Além disso, na presença de vegetação, há o efeito da evapotranspiração, a qual representa a água utilizada pelas culturas, nos processos de evaporação da água do solo e de transpiração das plantas (PEREIRA et. al., 1997).

O conhecimento da evapotranspiração é fundamental para a determinação da demanda hídrica dos cultivos, equivalendo à água que deveria ser efetivamente reposta ao sistema para o pleno desenvolvimento da cultura nas condições avaliadas. A determinação da evapotranspiração em culturas agrícolas, especialmente para determinar os coeficientes de cultura (K_c), que expressa a demanda hídrica dos cultivos, tem sido abordada em diversos estudos (SCHMIDT et al., 2013; CAMPECHE et al., 2011; ALLEN et. al., 1998; WRIGHT, 1991). Apesar da relevância do conhecimento dos valores de K_c para as diversas culturas e cultivares, há ainda uma grande carência em termos de estudos aplicados à realidade brasileira, que envolve uma grande gama de ambientes e culturas exploradas. Além disso, são vários os métodos de determinação existentes, podendo levar a diferenças expressivas de desempenho e confiabilidade da estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c). Embora métodos como o de balanço de energia, baseado na razão de Bowen, sejam relatados como satisfatórios para a determinação da ET_c , a técnica de mensuração direta dessa variável, fazendo uso de lisímetros de pesagem, é preferencial, devendo ser considerada como o padrão para a determinação tanto da evapotranspiração de referência (ET_o) como da ET_c (SCHMIDT et al., 2013; CAMPECHE et al., 2011; HOWELL; SCHNEIDER; JENSEN, 1991).

O lisímetro é um dispositivo que isola um volume de solo, criando um sistema semifechado, onde é possível realizar o balanço hídrico desse sistema. Na lisimetria de pesagem empregam-se técnicas e equipamentos que permitem acompanhar a variação do peso do bloco de solo, devido às entradas ou saídas de água, ao longo do tempo (ALLEN et al., 1998; ABOUKHALED; ALFARO; SMITH, 1982). O uso de células eletrônicas de carga é atualmente o recurso de pesagem mais empregado por esse tipo de lisimetria.

Segundo Campeche et al. (2011), muitos autores consideram o lisímetro de pesagem o melhor equipamento disponível para medir com precisão a ET_o e a ET_c , como também para calibração de modelos de estimativa dessas variáveis. Contudo, há uma série de particularidades que devem ser consideradas a fim de garantir o bom desempenho e

confiabilidade das medidas do lisímetro (ABOUKHALED; ALFARO; SMITH, 1982; HOWELL; SCHNEIDER; JENSEN, 1991; WALTER et. al., 1991; WRIGHT et al., 1991).

Ao revisar os principais fatores a serem considerados no planejamento e estruturação de lisímetros, Howell et al. (1991) elencaram: a) acurácia desejada, b) formato e área do lisímetro, c) profundidade do perfil de solo, d) características do perfil de solo, e) mecanismo de pesagem, f) características da construção e estrutura, e g) localização, disposição e representatividade da área de instalação. Além desses fatores, têm-se ainda o efeito particular da cultura selecionada para estudo, manejo adotado e mesmo a forma de registro dos dados.

Com tamanha diversidade de fatores a serem considerados, o planejamento e instalação de lisímetros torna-se uma tarefa com alto grau de complexidade, exigindo muitas vezes soluções bastante particulares de acordo com o interesse preponderante da pesquisa que se quer conduzir e das condições financeiras, técnicas e operacionais locais. É fato que muitos desses fatores podem não ser devidamente considerados, ou mesmo menosprezados e, embora os efeitos particulares possam ser pequenos, são cumulativos, podendo resultar em impacto considerável nas medidas tomadas. Isso pode ser evidenciado na revisão sobre lisímetros realizada por Aboukhaled et. al. (1982), a qual apresenta e caracteriza exemplos de diferentes lisímetros implantados ao redor do mundo.

Além do conhecimento das particularidades de um lisímetro, outro fator fundamental para uma alta confiabilidade dos resultados é o procedimento de calibração. Sendo assim, a caracterização da estrutura lisimétrica, associada à descrição de sua calibração, é um item que deve ser obrigatoriamente referenciado na elaboração de trabalhos de lisimetria.

Considerando o exposto, o presente trabalho teve por objetivo apresentar a estrutura de lisimetria construída e utilizada pela Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados, MS, descrevendo suas características e processo de calibração.

3.2 Materiais e Métodos

Área Experimental

A área experimental da Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados, MS, na qual se encontram as estruturas lisimétricas, localiza-se no entorno das coordenadas geográficas 22°16'30" S e 54°49'00" W, com altitude média ao redor de 408 m. A área experimental consiste de duas glebas justapostas e contínuas, cada qual com aproximadamente 0,5 ha, interrompidas apenas por um pequeno carreador de 3 m de largura. Uma das glebas se dispõe

ao norte do carreador, enquanto a outra se dispõe ao sul (Figura 3.1). Normalmente, os experimentos realizados fazem uso de culturas anuais, tais como a do milho, da soja e do caupi, conduzidas como culturas solteiras ou em consórcio.

Essa é uma região de reconhecida transição climática, tanto que no mapa de classificação climática do Brasil segundo Alvares et. al. (2013) ela fica situada exatamente entre três domínios climáticos, *Aw*, *Cfa* e *Am*, de acordo com a classificação de Köppen. Contudo, Fietz e Fisch (2008), com base em dados tomados no local, apontam que o clima da região é de fato do tipo *Cwa* na classificação de Köppen, ou seja, mesotérmico úmido, com verão chuvoso e inverno seco.



Figura 3.1 - Localização da área experimental, com a disposição dos lisímetros e da estação meteorológica, na Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados, MS. A posição dos lisímetros é indicada pelos números apresentados (1 a 6)

Descrição geral dos conjuntos lisimétricos

Na porção norte a área experimental tem dimensões aproximadas de 70 m de largura por 75 m de comprimento, onde se dispõe um primeiro conjunto lisimétrico formado por uma bateria de três lisímetros de pequeno porte, originalmente construídos entre os anos de 2004 e 2008 (Figura 3.1). O lisímetro mais antigo está localizado no centro da área e os outros dois se dispõem longitudinalmente a uma distância de 17 m do lisímetro central e a 19 m das bordas da área. Cada um dos três lisímetros possui uma caixa de alvenaria com paredes de 15

cm, no interior da qual se aloca uma caixa de aço carbono com 3,18 mm de espessura e dimensões aproximadas de 1,36 x 1,54 m, conferindo uma área evapotranspirante de aproximadamente 2,10 m² em cada unidade. Imediatamente ao lado da caixa metálica dispõe-se um fosso de acesso, coberto por um tampão de madeira. O sistema de pesagem é constituído de uma balança de fabricação comercial dotada de um sistema de alavancas com redução de peso (50:1) acoplado a uma célula de carga blindada tipo “S” com capacidade para 100 kgf de tensão (Figura 3.2). No ano de 2014 as células de carga desses três lisímetros foram substituídas, utilizando-se células da marca HBM®, modelo RSCB-C3/100kg. A construção e calibração desses equipamentos foi realizada de acordo com o estabelecido por FARIA et al. (2006).

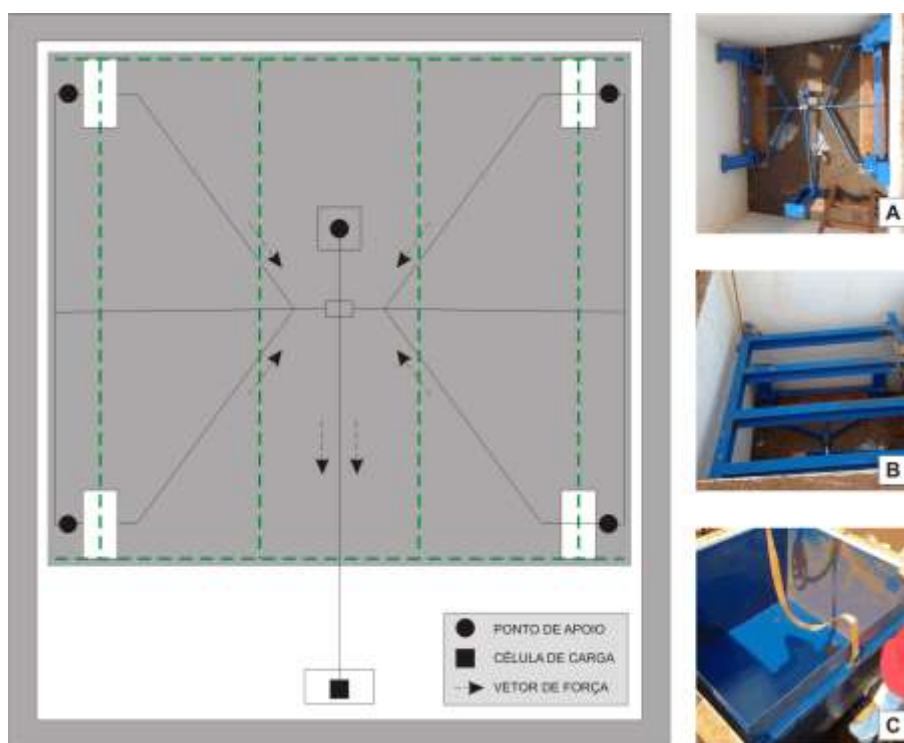


Figura 3.2 - Diagrama esquemático do princípio de funcionamento do primeiro conjunto lisimétrico (1 a 3). O sistema de alavancas transfere o vetor de força para uma única célula de carga em cada unidade do conjunto. As fotos apresentadas à direita se referem, de cima para baixo, ao sistema de alavancas (A), grade de sustentação (B) e caixa metálica (C) de uma unidade lisimétrica

Na porção sul da área experimental localiza-se outro conjunto lisímetros, de maior tamanho e de construção mais recente (Figura 3.1). As obras desses lisímetros foram iniciadas em 2013, com término em 2014, após oito meses de trabalho. Essa área tem as dimensões aproximadas de 65 m de largura por 85 m de comprimento, perfazendo também cerca de 0,50 ha. Os três lisímetros desse conjunto possuem caixas metálicas com as dimensões de 2,0 x 3,6 m, totalizando 7,2 m² de superfície evapotranspirante cada. Cada caixa encontra-se abrigada

em estrutura de alvenaria com paredes de aproximadamente 0,15 m. Um dos lisímetros está disposto exatamente no centro da área e os outros dois alinham-se com este, a uma distância de 20 m a partir do mesmo e a 17 m a partir das bordas da área experimental. Nesse conjunto lisimétrico, o acesso é feito por um túnel subterrâneo localizado a aproximadamente 1,4 m da borda do lisímetro (Figura 3.3). Outra consideração importante é que nesse conjunto lisimétrico a caixa metálica de cada unidade está assentada diretamente sobre quatro células de carga tipo *rocker column*, ou seja, sem uso do sistema de alavancas. As células de carga utilizadas foram da marca HBM®, modelo RTN-C3 com capacidade nominal de até 4.7 toneladas cada. A construção e calibração desses equipamentos foram realizadas com base nos procedimentos e critérios estabelecidos por FLUMIGNAM (2011).

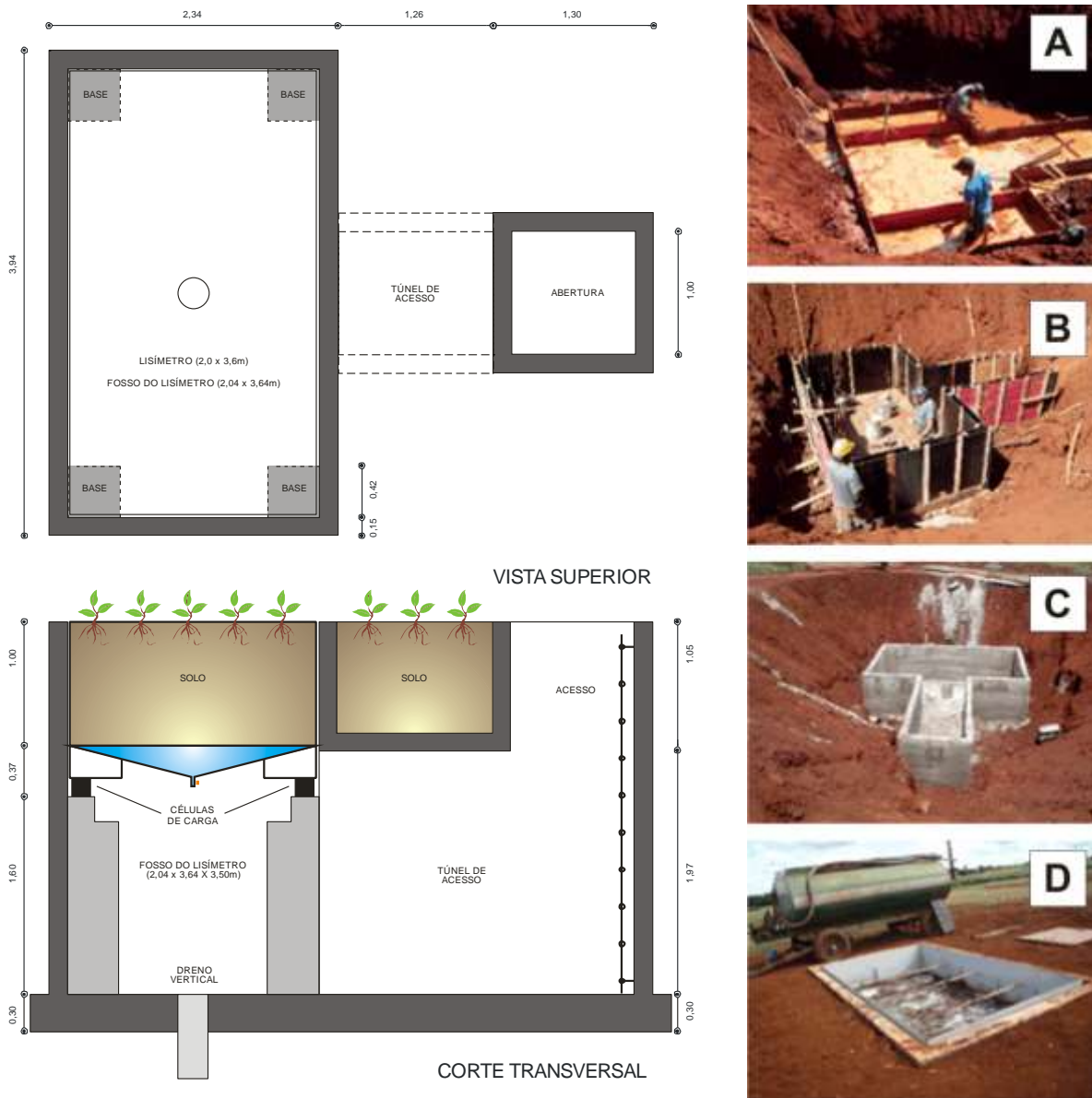


Figura 3.3 - Diagrama esquemático do segundo conjunto lisimétrico (4 a 6) e detalhes do processo de construção (A, B e C) e do preenchimento da caixa metálica com solo (D)

Uma vez que esses conjuntos lisimétricos foram delineados para o estudo da demanda hídrica de culturas, especialmente para a determinação dos coeficientes de cultura (K_c), por meio da mensuração da evapotranspiração da cultura (ET_c) e da estimação da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo método Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), com dados meteorológicos provenientes da Estação da Embrapa, que se situa a 400 m dos lisímetros (Figura 3.1), é importante se mencionar que toda operação dos lisímetros foi realizada presumindo-se plena oferta hídrica, o que se conseguiu utilizando um sistema

irrigação por aspersão em toda área experimental para manter a reserva de água no solo em níveis superiores a 50% da capacidade de água disponível (CAD).

Princípio de operação e obtenção de dados

Conforme descrito por Aboukhaled et al. (1982), o princípio de funcionamento da lisimetria baseia-se na descrição do balanço hídrico do corpo de solo acondicionado no interior do lisímetro e pode ser descrito pela Equação (1), na qual a soma dos termos de entrada: precipitação (P); irrigação (I); e escoamento superficial (ES), equivalem à soma dos termos de saída: evapotranspiração (ET); drenagem (D); e variação do armazenamento de água (ΔA). Para esse computo os termos devem utilizar a mesma unidade, sendo normalmente apresentados em milímetros (mm).

$$P + I \pm ES = ET + D \pm \Delta A \quad (1)$$

Os lisímetros de pesagem normalmente possuem a borda ligeiramente acima do nível do solo, permitindo desconsiderar o efeito do escoamento superficial. Com isso, ao isolar o termo da evapotranspiração, têm-se a Equação (2):

$$ET = P + I - D \pm \Delta A \quad (2)$$

Os termos precipitação e irrigação são determinados por pluviometria, enquanto que a drenagem pode ser medida diretamente na válvula de saída do lisímetro ou estimada com base na variação de massa parcial após o esgotamento da água armazenada no fundo do mesmo. Esses termos devem ser subtraídos da variação de massa total do lisímetro para determinação da evapotranspiração, ou então, quando esses termos são nulos, a evapotranspiração é igual à própria variação de massa.

A evapotranspiração da cultura (ET_c) é a principal variável de interesse a ser obtida com a operação dos conjuntos lisimétricos, entretanto o que se registra de fato nesses dispositivos são as flutuações de carga mensurados pela célula ou células de carga de cada unidade. As medidas são tomadas em milivolts (mV) e convertidas para massa (kg) por meio de uma equação de calibração que correlaciona tais grandezas. Nos conjuntos lisimétricos utilizados faz-se o registro automático dos dados em dois sistemas automáticos de aquisição de dados (*dataloggers* modelos CR10X e CR1000, *Campbell Scientific Inc.* Logan, Utah,

USA), armazenando-se o valor médio dos sensores a cada 10 minutos, sendo esse valor calculado a partir de leituras tomadas a cada seis segundos. Posteriormente, os dados são compilados para obtenção de valores diários.

No conjunto em que as unidades fazem uso de células múltiplas, optou-se pelo registro separado de cada célula, mesmo que utilizando ligação em paralelo. Essa medida busca facilitar a detecção de problemas de desempenho ou avarias em uma ou mais células do conjunto. Pela limitação quanto ao número de canais disponíveis para ligação dos sensores, o *datalogger* CR1000 foi utilizado em conjunto com um sistema multiplexador, de modo a ampliar o número de canais.

As entradas de água no sistema, por chuva ou irrigação, foram monitoradas pela leitura e registro de pluviômetros manuais instalados próximos a cada unidade lisimétrica e também pelo registro de um pluviômetro automático instalado a campo. Outras variáveis de interesse foram obtidas junto à Estação Meteorológica da Embrapa Agropecuária Oeste, distante cerca de 400 m da área experimental.

Procedimento para cálculo de coeficientes de cultura (Kc)

Como já mencionado, a evapotranspiração da cultura (ET_c) é a principal variável de interesse nesses conjuntos lisimétricos, sendo esta empregada no cálculo de coeficientes de cultura (K_c), uma vez que eles constituem um bom indicativo da demanda hídrica das culturas avaliadas, por representar a habilidade da planta e do solo em atender a demanda hídrica imposta pelo ambiente.

A obtenção dos coeficientes de cultura (K_c) seguiram as orientações de Allen et al. (1998), e foram realizadas com base na Equação (3) que relaciona a evapotranspiração do cultivo em condição padrão (ET_c), obtida da lisimetria de pesagem, e a evapotranspiração de referência (ET_o), estimada pelo método de Penman-Monteith. O cálculo com base na evapotranspiração de referência (ET_o) permite a transferência de valores de K_c entre distintas condições climáticas.

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (3)$$

Calibração

O procedimento de calibração é fundamental na lisimetria, pois além de permitir a conversão dos valores mensurados pelas células de carga, permitem estimar a precisão e acurácia das medidas obtidas. A base do procedimento é a carga e descarga de volumes com massa conhecida, registrando-se as leituras tomadas pela célula ou células de carga do sistema. Para esse fim, foram utilizados volumes com massa conhecida, a fim de verificar o desempenho do sistema com adições em faixas diferenciadas (CAMPECHE, 2002). Relacionando as medidas tomadas pelo sistema e a carga utilizada, foi estabelecida uma regressão linear para o ajuste das observações, permitindo a tomada de dados e conversão em unidades de massa (kg).

Na calibração do primeiro conjunto lisimétrico, utilizaram-se volumes de 400 g, 2, 4 e 20 kg, avaliando-se o intervalo entre zero e aproximadamente 150 kg (70 mm). No segundo conjunto, por sua vez, foram utilizados volumes de 1, 2, 40 e 60 kg, avaliando-se o intervalo entre 0 e aproximadamente 540 kg (75 mm). Em ambos os casos, após a adição de carga, registrou-se também o desempenho do sistema durante a retirada das massas.

O procedimento foi realizado durante um longo período de estiagem e sem vegetação nos lisímetros, de modo que os valores de massa iniciais praticamente correspondiam à massa dos lisímetros na ausência de reserva hídrica armazenada no corpo do solo. Para minimizar potenciais efeitos das condições meteorológicas, os lisímetros permaneceram cobertos por lona plástica durante todo processo de aferição e a medição foi realizada com mínima movimentação do ar (velocidade dos ventos $< 1,4 \text{ m s}^{-1}$).

Detalhamento técnico dos conjuntos lisimétricos

Visando examinar detalhes técnicos de construção e planejamento que poderiam interferir na confiabilidade das medidas tomadas pelos lisímetros, procedeu-se a descrição dos lisímetros em consonância com os fatores elencados por Howell et al. (1991): a) acurácia desejada, b) formato e área do lisímetro, c) profundidade do perfil de solo, d) características do perfil de solo, e) mecanismo de pesagem, f) características da construção e estrutura, e g) localização, disposição e representatividade da área. Além desses fatores, foram descritos ainda o efeito particular das culturas utilizadas para estudo, manejo adotado e também a forma de registro dos dados.

Os trabalhos de Aboukhaled et. al. (1982); Walter et. al. (1991) e Wright et al. (1991) também foram tomados como referências complementares para tal descrição.

3.3 Resultados e Discussão

Tomando como referência o trabalho de Howell et al. (1991), a caracterização dos lisímetros é apresentada de acordo com os pontos por eles mencionados, como sendo relativos ao projeto e dimensionamento das unidades:

Acurácia desejada

As células empregadas têm resolução de 200 e 700 g, representando massas inferiores a 0,1 mm. Para fins de determinação da variação de massa diária, é esperada que a acurácia atinja valores próximos à resolução. A acurácia dos lisímetros é apresentada e discutida em conjunto com os resultados do procedimento de calibração.

Formato e área do lisímetro

Mesmo com áreas distintas, o dimensionamento de cada lisímetro foi realizado levando em consideração o arranjo espacial das culturas da soja e milho, sendo, portanto, melhor adaptado às culturas que adotam espaçamentos nas entrelinhas de 0,45 a 0,50 m, ou múltiplo desses valores. Isso equivale a dizer que as culturas podem ser implantadas no mesmo espaçamento da área de entorno, sem excedentes (ou déficit) de área nas linhas laterais, assegurando uma mesma densidade populacional. Tomando por referência a cultura da soja, com espaçamento de 0,45 m, na direção preferencial de semeadura é possível alocar 3 linhas da cultura nas unidades do primeiro conjunto lisimétrico e 8 linhas nas unidades do segundo.

Para garantir a aplicabilidade dos dados em situações reais de cultivo é imprescindível que na semeadura as linhas de semeadura dentro dos lisímetros estejam em continuidade com o cultivo adjacente na área de entorno, com mesmo arranjo e geometria e com linhas coincidentes nas duas áreas.

Em relação à área, citações de Aboukhaled et al. (1982) mencionam que lisímetros pequenos tendem a superestimar a evapotranspiração, sendo recomendado o tamanho mínimo de 2 m². Ainda assim, segundo os mesmos autores, medidas obtidas de lisímetros com área de

2 m² foram 8% maiores do que aquelas registradas em um lisímetro com 5 m². Com 2,1 e 7,2 m², os conjuntos lisimétricos da Embrapa Agropecuária Oeste atendem a recomendação de Aboukhaled et al. (1982) e irão permitir a obtenção de dados confiáveis de ETc.

Profundidade do perfil de solo

O lisímetro mais antigo, localizado no primeiro conjunto, possui profundidade de 0,8 m, enquanto todos os demais possuem profundidade de 1,0 m. Essa profundidade é superior à profundidade efetiva do sistema radicular dos cultivos estudados, ou seja, soja (0,4 m) e milho (0,5 m). Para facilitar o armazenamento do excedente hídrico a ser drenado, os lisímetros do primeiro conjunto possuem uma camada de pedra brita após a última camada de solo, enquanto os lisímetros do segundo conjunto possuem uma manta geotêxtil dupla separando a última camada de solo de uma câmara de armazenamento destinada ao excesso hídrico percolado.

Características do perfil de solo

Todas as unidades estão dispostas sobre a mesma unidade de solo original, um Latossolo Vermelho distroférico, classe de grande representatividade no âmbito regional e estadual. Na instalação dos lisímetros, o solo original foi escavado em camadas a cada 0,10 m, sendo cada camada acondicionada individualmente a campo, utilizando-se uma lona e, posteriormente, remontadas na sequência de retirada, após alocação da caixa metálica no interior do lisímetro, procedimento corriqueiro em lisimetria (HOWELL; SCHNEIDER; JENSEN, 1991). Apesar da desestruturação inicial causada ao perfil do solo, a reconstrução permitiu que muitas características fossem preservadas.

Mecanismo de pesagem

Todas as unidades fazem uso de células de carga, embora com funcionamentos distintos. No primeiro conjunto, cada unidade emprega um sistema de alavancas para redução da carga que tensiona uma célula de carga HBM®, modelo RSCB-C3/100kg. No segundo conjunto, por sua vez, cada unidade utiliza quatro células HBM®, modelo RTN-C3/4.7T que são comprimidas diretamente pela caixa metálica do lisímetro. As avaliações da acurácia e da

precisão entre os conjuntos foram possibilitadas pela comparação dos resultados da calibração de cada uma das unidades lisimétricas.

Características da construção e estrutura

Detalhes técnicos da construção, tal como material utilizado e espessura das paredes podem ter grande influência nos valores mensurados, principalmente pelos efeitos no aquecimento do corpo de solo e condução do calor. Aboukhaled et al. (1982) elegeram os detalhes de construção acerca das paredes do lisímetro como uma das considerações especiais a serem tomadas no planejamento de lisímetros. Paredes muito espessas e espaços largos entre as caixas externa e interna do lisímetro podem também interromper a continuidade do cultivo adjacente e mesmo suprimir o efeito desejável da bordadura. Ao encontro do que parece ser uma falha comum nos projetos de lisímetros brasileiros, os lisímetros descritos possuem paredes externas bastante espessas, com valores entre 12 e 15 cm. O espaço livre entre a caixa de alvenaria e a caixa metálica também não é adequado, estando por volta de 5 cm, quando valores máximos de 2 a 3 cm seriam preferíveis. Como referência, Howell et al. (1991) mencionam que, em muitos projetos instalados, a área tomada conjuntamente pelas paredes do lisímetro e espaço livre entre caixas equivale a valores na ordem de 1,5% da área da superfície evaporante. Aboukhaled et al. (1982) citam diversos exemplos de lisímetros em que a variação desses valores vai de 1 a 65%. Os autores não apresentam quantificação clara ou precisa do efeito, embora frisem que essa fonte de erro deveria ser considerada e evitada. Quanto maiores os lisímetros, mais negligenciáveis se tornam esses valores. Contudo, segundo Howell et al. (1991), em muitas instituições onde haviam lisímetros com paredes espessas, houve a necessidade de reformá-los para prevenir erros na determinação de massa.

Localização, disposição e representatividade ambiental

Para garantir a representatividade dos resultados obtidos na lisimetria é fundamental que as condições proporcionadas no interior das unidades lisimétricas sejam muito similares às condições experimentadas pelos cultivos comerciais. Por esse motivo, como já mencionado, todas as unidades lisimétricas foram instaladas em uma mesma unidade de solo, representativa da atividade agrícola dessa região, anteriormente mecanizada e cultivada. A área de entorno dos conjuntos lisimétricos é cultivada em conjunto com o cultivo da superfície evaporante dos lisímetros, fazendo uso das mesmas práticas e manejos

preconizados no sistema de produção das culturas de interesse. Para prevenir o fluxo de calor advectivo a partir de outras áreas, o que poderia causar a superestimação da evapotranspiração e, conseqüentemente, da variação de massa, foram consideradas bordaduras adequadas, sobretudo na direção predominante dos ventos.

A advecção pode ser entendida como a troca de energia, umidade ou momento devido à heterogeneidade horizontal e está diretamente relacionada com a extensão das bordaduras. No exame da literatura sobre lisimetria é bastante comum encontrar termos como “buffer” ou “fetch”, oriundos do inglês, para descrever tal aspecto. Aboukhaled et al. (1982) ressaltam que o uso de bordaduras amplas é particularmente crítico em climas áridos ou semi-áridos, reconhecendo a importância da existência da mesma sobretudo nos primeiros 50 m ao redor do experimento. Complementarmente, esses autores mencionam que o efeito da bordadura obedece a uma função exponencial, decrescendo com a distância. Howell et al. (1991) também menciona o valor de 50 m na direção predominante dos ventos, juntamente com a menção de uma área mínima de entorno de um hectare.

A discussão sobre o tamanho ideal da bordadura a ser utilizada para prevenir o efeito da advecção de calor sensível, não ocorre somente na lisimetria. Ao estudar o efeito da bordadura sob medidas tomadas no método da Razão de *Bowen*, Heilman et al. (1989) mencionam recomendações que vão de 10 a 200 m para cada metro de altura do cultivo utilizado, havendo certa tendência em torno da relação 100:1. Com a hipótese de que bordaduras bem menores seriam suficientes para leituras acuradas e precisas, os autores testaram diferentes configurações e concluíram que valores em torno de 20:1 são adequados.

Considerando individualmente cada lisímetro da Embrapa Agropecuária Oeste, as menores extensões de borda são 17 m a oeste, 18 m a leste, 25 m a sul e 35 m a norte. Ventos advindos da direção nordeste (NE) predominam em todos os meses do ano nessa área (Fietz e Fisch, 2008) e, nessa direção, a borda ultrapassa 40 m (Figura 3.1). Com base nas considerações de Heilman et al. (1989), acredita-se que as bordaduras utilizadas tenham sido adequadas para a obtenção de medidas representativas para os as culturas anuais empregadas.

Outros fatores

Os fatores anteriormente apresentados são inerentes ao projeto de dimensionamento dos lisímetros. Além desses fatores, devem ser consideradas ainda questões pertinentes à operação das unidades. Nesse sentido há o efeito particular da cultura selecionada para estudo, o manejo adotado e também a forma de aquisição e registro dos dados, já mencionados.

Calibração

O procedimento de calibração é essencial para assegurar a qualidade dos dados coletados pelos lisímetros. Uma vez que o conjunto lisimétrico satisfaça as condições necessárias para que não ocorra advecção de calor sensível nas unidades, a calibração irá determinar a precisão e acurácia das medidas de evapotranspiração. Os resultados da calibração obtidos dos conjuntos lisimétricos da Embrapa Agropecuária são apresentados nas Figuras 3.4 e 3.5, lembrando que equivalem aos valores de uma única célula de carga em cada unidade do primeiro conjunto e à média de quatro células de carga em cada unidade do segundo conjunto.

Entre os principais aspectos a serem observados no procedimento de calibração estão a linearidade e histerese (Flumignam, 2002). O ajuste de uma equação linear aos dados garante a acurácia das medidas de evapotranspiração. Caso houvesse um ajuste não linear, isso poderia ser decorrente de fatores não observados e que comprometeriam a leitura, como a variação na medida com a variação de temperatura, por exemplo. A histerese se refere à diferença entre o sinal que é obtido pelo sistema de pesagem para uma mesma quantidade de massa, na adição e na retirada de carga. A investigação das diferenças entre o padrão de carga e descarga apontou variações desprezíveis, permitindo pressupor a inexistência de histerese nos dois conjuntos lisimétricos (Figuras 3.4 e 3.5).

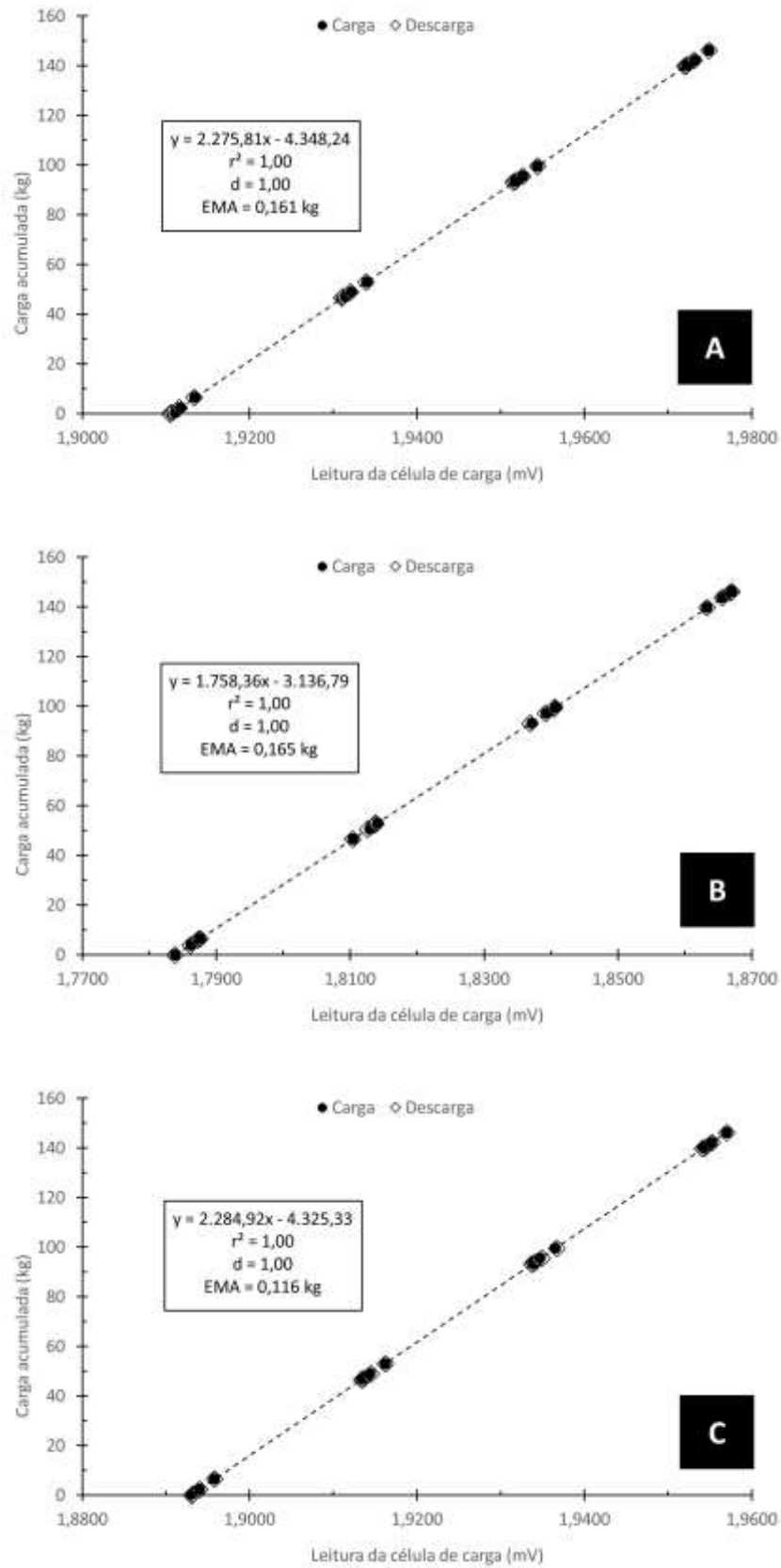


Figura 3.4 - Relação entre a carga acumulada e a leitura da célula de carga durante o procedimento de calibração das três unidades (A, B e C) do primeiro conjunto lisimétrico, em Dourados, MS

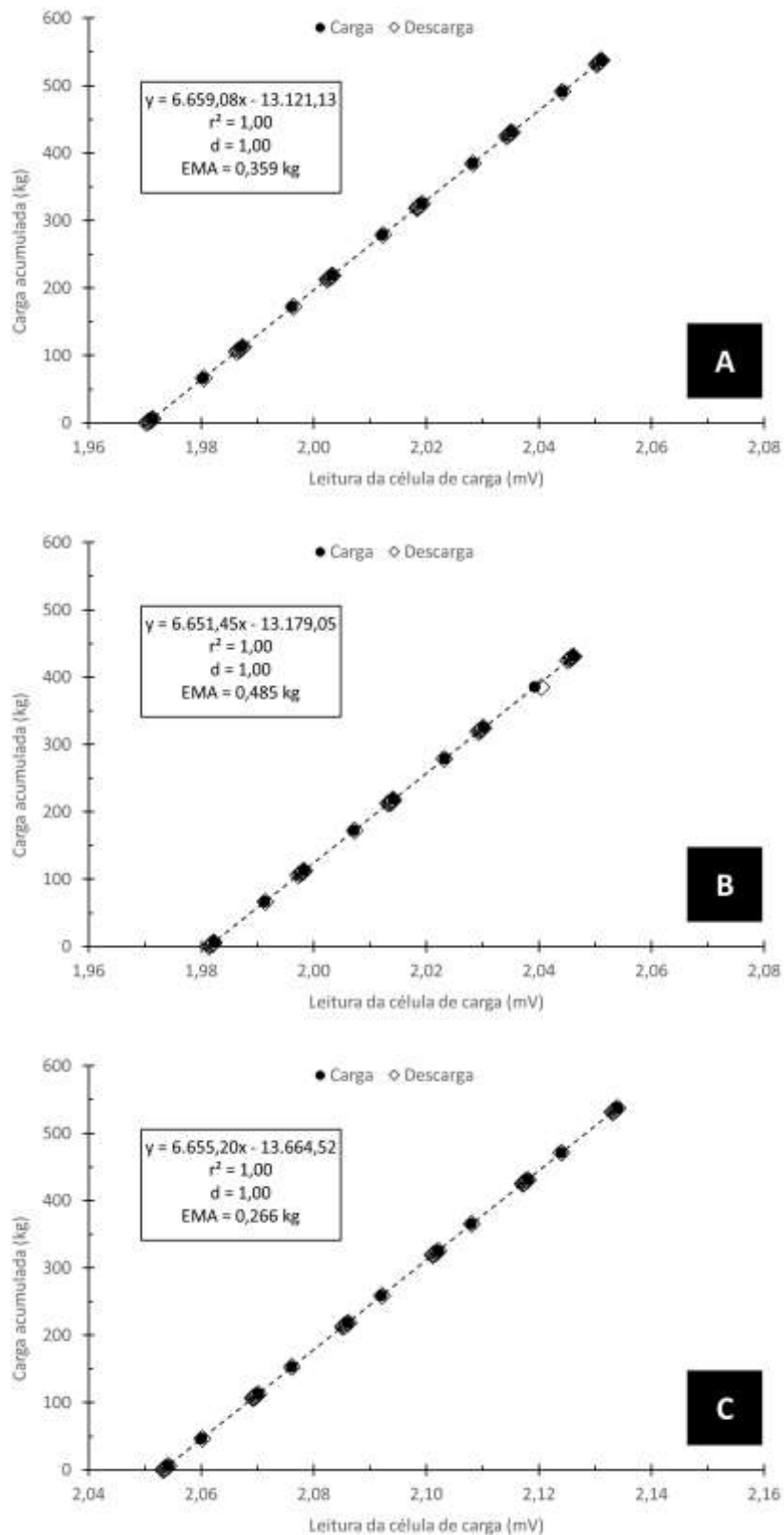


Figura 3.5 - Relação entre a carga acumulada e a leitura da média das células de carga durante no procedimento de calibração das três unidades (A, B e C) do segundo conjunto lisimétrico, em Dourados, MS

Em relação à qualidade da leitura, já se mencionou anteriormente que as células de carga utilizadas têm resolução de 200 e 700 g, o que equivale a valores inferiores a 0,1 mm

nos dois conjuntos lisimétricos. Ao avaliar os parâmetros do ajuste linear das equações utilizadas, o coeficiente de determinação (r^2) e o índice de concordância de Willmott (d) foram plenamente satisfatórios, comprovando a linearidade do processo. Todavia, esses índices estatísticos são pouco informativos acerca da acurácia da medida, já que variações muito sutis poderiam ainda implicar em erros consideráveis na medida. Desse modo, procedeu-se a análise de acurácia de medida por meio do cálculo do Erro Absoluto Médio (EAM) das observações. Em todos os casos, os valores calculados foram inferiores à resolução das células de carga em cada unidade (Figuras 3.4 e 3.5), assumindo-se, portanto, que a acurácia da medida é restrita à resolução do sistema. Uma vez que o foco da pesquisa realizada com essas unidades lisimétricas é a variação diária da evapotranspiração e que os valores médios dessa variável são na maioria das vezes superiores a $1,0 \text{ mm dia}^{-1}$, mesmo nos períodos de maior restrição hídrica (Fietz e Fisch, 2008), o valor $0,1 \text{ mm dia}^{-1}$ é bastante satisfatório.

3.4 Conclusões

Embora os dois conjuntos lisimétricos apresentem características estruturais e de dimensionamento bastante distintas, os resultados obtidos no procedimento de calibração permitem concluir que os dois conjuntos lisimétricos avaliados são plenamente compatíveis em termos de precisão e acurácia, se equivalendo, portanto, para determinação da variação de massa em cada unidade.

Contudo, o primeiro conjunto lisimétrico reúne algumas peculiaridades, conforme discutido, que poderiam favorecer o aumento da evapotranspiração na área dos lisímetros, levando à superestimativa dos valores em relação à verdade de campo.

Essa série de peculiaridades foi considerada e sanada no planejamento e construção do segundo conjunto lisimétrico, permitindo estabelecê-lo como referencial de comparação para estudos futuros da demanda hídrica de culturas agrícolas.

Referências

ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. **Lysimeters**. Rome: FAO, 1982. 68p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 39).

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (Irrigation and drainage paper, 56).

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, p. 711-728, 2013.

CAMPECHE, L.F.S.M. **Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração da cultura da lima ácida “Tahiti” (*Citrus latifolia* Tan.)**. 2002. 67p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CAMPECHE, L.F.M.S; AGUIAR NETTO, A.O.; SOUSA, I.F.; FACCIOLI, G.G.; SILVA, V.P.R.; AZEVEDO, P.V. Lisímetro de pesagem de grande porte. Parte I: Desenvolvimento e calibração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 519–525, 2011.

DOORENBOS, J; PRUITT W.O. **Necessidade hídrica das culturas**. Campina Grande: UFPB. 1997. 204p.,

FARIA, R.T.; DE SM CAMPECHE, F.; CHIBANA, E.Y. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 237-242, 2006.

FIETZ, R.C.; FISCH, G.F. **O Clima da Região de Dourados, MS**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 32p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 92).

FLUMIGNAM, D.L. **Lisímetros de pesagem direta para o estudo do consumo hídrico do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.)** 2011. 200p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

HEILMAN, J.L.; BRITTIN, C.L.; NEALE, C.M.U. Fetch requirements for Bowen ratio measurements of latent and sensible heat fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, International, v. 44, n. 3, p. 261-273, 1989.

HOWELL, T.A.; SCHNEIDER, A.D.; JENSEN, M.E. History of lysimeter design and use for evapotranspiration measurements. In: ALLEN, R.G.; HOWELL, T.A.; PRUITT, W.O.; WALTER, L.A.; JENSEN, M.E. (Ed.). **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LYSIMETRY: Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements**, July 23-25, 199, Honolulu, Hawaii. **Proceedings...** New York City, NY: American Society of Civil Engineers, 1991. p 1-9.

IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. [Rio de Janeiro, 2009?]. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/brasil_2006/Brasil_censoagro2006.pdf>. Acesso em: 13 set. 2015.

MAIA, G.B.D.S.; ROITMAN, F.B.; DE CONTI, B.M. Instrumentos de gestão do risco agrícola: o caso do Brasil. **Informativo Técnico SEAGRI**, Rio de Janeiro, n. 1, p. 1-16, 2011.

MONTEIRO, J.E.B.A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos**: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. 530p.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. FEALQ: Piracicaba; 1997. 183p.

ROSSETTI, L.A. Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e securidade rural no Brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 386-399, 2001.

SCHMIDT, C.D.S.; CARVALHO, P.F.A., FONSECA, G.J.J.; MELO, V.L. Design, installation and calibration of a weighing lysimeter for crop evapotranspiration studies. **Water Resources and Irrigation Management**, International, v. 2, n. 2, p.77-85, 2013.

WALTER, I.A.; SIEMER, E.; DIRKS, L.R.; QUINIAN, J.P.O.; BURMAN, R.D. Lysimeters vs. buffer areas: evapotranspiration and agronomic comparisons. In: ALLEN, R.G.; HOWELL, T.A.; PRUITT, W.O.; WALTER, L.A.; JENSEN, M.E. (Ed.). INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LYSIMETRY: Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements, July 23-25, 199, Honolulu, Hawaii. **Proceedings...** New York City: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 272-280.

WRIGHT, J.L. Using weighing lysimeters to develop evaporation crop coefficients. In: ALLEN, R.G.; HOWELL, T.A.; PRUITT, W.O.; WALTER, L.A.; JENSEN, M.E. (Ed.). INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LYSIMETRY: Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements, July 23-25, 199, Honolulu, Hawaii. **Proceedings...** New York City: American Society of Civil Engineers, 1991. P. 191-1999.

4 AVALIAÇÃO DE UM CONJUNTO LISIMÉTRICO NA DETERMINAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA DA CULTURA DO MILHO CULTIVADO NO OUTONO-INVERNO EM MATO GROSSO DO SUL

Resumo

O conhecimento da evapotranspiração é fundamental para a determinação da demanda hídrica dos cultivos agrícolas, no entanto, ainda há uma grande carência em termos de estudos aplicados à realidade brasileira. A lisimetria está entre os métodos mais confiáveis e recomendados para determinação da evapotranspiração, contudo, uma série de fatores ligados à sua construção e operação pode interferir na confiabilidade das medidas tomadas. Ao utilizar um conjunto lisimétrico, esses erros podem influenciar distintamente os lisímetros, distorcendo e inviabilizando comparações entre os mesmos. Sendo assim, o presente trabalho buscou avaliar se um conjunto lisimétrico composto por três lisímetros com características ligeiramente distintas poderia ser utilizado para comparação de diferentes fontes de variação, partindo do pressuposto que as fontes de erro descritas não são suficientes para gerar diferenças estatisticamente significativas entre as séries. O experimento foi conduzido na Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados, MS. Nesse processo, implantou-se uma lavoura experimental de 0,49 ha no entorno dos lisímetros, utilizando um único cultivar de milho, BRS 2223 (híbrido duplo superprecoce) em todas as unidades e entorno, no espaçamento de 0,9 m entre linhas e população equivalente a 55.000 plantas ha⁻¹. A semeadura ocorreu em 7 de março de 2014, com emergência em 14 de março e colheita 125 dias após a emergência. O cultivo foi irrigado durante todo o ciclo, utilizando o balanço hídrico sequencial para manutenção da reserva de água no solo em níveis superiores a 50% da capacidade de água disponível (CAD). Além da coleta de variáveis fitotécnicas, foram calculados os coeficientes de cultura (Kc), em escala quinquidial, pela relação entre a evapotranspiração da cultura (ETc), obtida pela média dos valores medidos nos três lisímetros de pesagem, e a evapotranspiração de referência (ETo), estimada pelo método Penman-Monteith com dados meteorológicos provenientes de uma estação local. Ao considerar as variáveis fitotécnicas, os resultados demonstraram a homogeneidade de condições entre os lisímetros e destes em relação à área de entorno. De modo similar, também não foi possível evidenciar diferenças significativas entre as séries ($p > 0,01$), passando a utilizar a série média para o estudo dos coeficientes de cultura. Na fase inicial do cultivo (0-15 DAE), o Kc médio obtido foi de 0,54, com incremento linear dos valores até atingir o máximo de 1,37 na fase de pendoamento (50 DAE). Embora fosse esperada a manutenção de um patamar, o Kc foi sendo reduzido gradualmente durante a fase reprodutiva, atingindo valores próximos a 0,80 na maturação fisiológica (110 DAE). Na fase final, a redução dos valores acentuou-se, chegando ao Kc de 0,40. Nessas condições, a demanda hídrica estimada para todo o ciclo foi de 475 mm. A tendência de queda registrada nos valores de saldo de radiação (Rn) e temperatura do ar (T) para essa época do ano foram fundamentais para o entendimento e interpretação dos resultados obtidos. Apesar das diferenças apontadas entre os lisímetros, as unidades se equivalem, retornando medidas estatisticamente iguais na determinação dos coeficientes de cultura do milho, o que assegura a viabilidade de utilizar o conjunto lisimétrico para estudos comparativos.

Palavras-Chave: Coeficientes de cultura; Lisímetros de pesagem; Milho safrinha

Abstract

Evapotranspiration is a key variable to determine crop water demand; however, there is still a great need for studies applied to the Brazilian conditions. Lysimetry is among the most trustable and recommendable methods for evapotranspiration determination, although a number of factors related to its construction and operation can interfere in the reliability of the measures. When using

a lysimeter set, these errors may distinctly influence the lysimetric units, distorting the comparisons between them. Thus, this study aimed to evaluate whether a set of three lysimeters, with slightly different characteristics, could be used for comparing different sources of variation, assuming that the described error sources are not enough to generate significant differences between the series. The experiment was conducted at Embrapa Agropecuária Oeste Research Station, in Dourados, MS, Brazil. For that, maize crop was cultivated in an area of 0.49 ha, surrounding and over the lysimeters, using the cultivar BRS 2223 (double hybrid with very early cycle), in a row spacing of 0.9 m and with a population equivalent to 55,000 plants per hectare. The maize crop was sowed on March 7th, 2014, with emergency on March 14th and harvest 125 days after emergence. The crop was irrigated taking into account the crop water balance to keep the soil water content above 50% of field capacity. Biometric variables were measured in the plants inside and out the lysimeters. In addition, the crop coefficients (K_c) in a five-day time scale were calculated using the ratio between crop evapotranspiration (E_{Tc}), obtained by averaging the values measured in the three weighing lysimeters, and reference evapotranspiration (E_{To}), estimated by Penman-Monteith method, with meteorological data from a local station. The biometric variables, obtained along the crop cycle, showed homogeneity for the plants inside the lysimeters and in relation to the surrounding area. The same was observed for the crop coefficients, which did not differ significantly ($p > 0.01$) among lysimeters, allowing to use an average to represent the crop coefficients for the distinct crop phases. In the initial phase (0-15 DAE) the mean K_c was 0.54, with linear increments up to the maximum of 1.37 in the tasseling stage (50 DAE). Although a stability could be expected for K_c values for some days, they gradually diminished during the reproductive phase, reaching near 0.80 at physiological maturity (110 AED) and 0.40 at the harvest. Under these conditions, the water demand estimated for the entire cycle was 475 mm. The downward trend recorded in net radiation (R_n) and air temperature (T) along autumn-winter period was useful to understand and interpret these results. Despite the differences among the lysimeters, all units had a similar behavior, resulting in similar K_c values for off-season maize crop. This fact can justify and ensure the application of this lysimeter set in comparative essays.

Keywords: Crop coefficients; Weighing lysimeters; Off-season maize

4.1 Introdução

A quantificação da evapotranspiração é uma etapa fundamental para a determinação dos coeficientes de cultura (K_c), os quais auxiliam na definição da demanda hídrica dos cultivos agrícolas. Apesar de ser um procedimento já bem conhecido e adotado em diversos estudos (SCHMIDT et al., 2013; CAMPECHE et al., 2011; ALLEN et. al., 1998; WRIGHT, 1991), há ainda uma grande carência em termos de avaliações aplicadas às diferentes condições brasileiras, que envolve uma grande gama de particularidades, tanto em termos ambientais como das culturas exploradas.

Os lisímetros são estruturas utilizadas para isolar um corpo de solo, normalmente a campo, criando um sistema semifechado, onde é possível realizar o balanço hídrico desse sistema, nas condições do ambiente em que se insere. Na lisimetria de pesagem, empregam-se técnicas e equipamentos, como células eletrônicas de carga, que permitem se acompanhar a

variação do peso do bloco de solo, ocasionado pelas entradas ou saídas de água desse sistema ao longo do tempo. (ALLEN et al., 1998; ABOUKHALED; ALFARO; SMITH, 1982).

Muito embora existam outros métodos confiáveis para determinação da evapotranspiração, a mensuração direta, fazendo uso de lisímetros de pesagem, é indicada como padrão na determinação tanto da evapotranspiração de cultura e como de referência (SCHMIDT et al., 2013; CAMPECHE et al., 2011; HOWELL; SCHNEIDER; JENSEN, 1991). Contudo, há uma série de particularidades que devem ser notadas e tomadas a fim de garantir o bom desempenho e confiabilidade das medidas do lisímetro (ABOUKHALED; ALFARO; SMITH, 1982; HOWELL; SCHNEIDER; JENSEN, 1991; WALTER et al., 1991; WRIGHT et al., 1991).

Howell et al. (1991) elencaram uma série de fatores ligados à construção da estrutura ou operação dos lisímetros que podem interferir na confiabilidade das medidas tomadas por lisímetros. Ainda que um lisímetro possa ser muito acurado e preciso em termos de mensuração da variação de massa instantânea, fatores tais como diferenças nas dimensões do lisímetro, profundidade do perfil de solo, espessura de paredes, localização e extensão das bordaduras podem, em certas situações, favorecer a evapotranspiração ao longo de um período, superestimando as medidas em relação à realidade de campo. Inclusive, muitas vezes esses fatores ocorrem concomitantemente, sendo muito difícil separá-los e quantificá-los adequadamente. Em um conjunto constituído por múltiplos lisímetros esses fatores podem atuar independentemente levando a diferenças erráticas entre as unidades utilizadas.

Algumas situações experimentais podem requerer a comparação entre múltiplos lisímetros. Ao avaliar diferenças de demanda hídrica entre diferentes cultivares de uma cultura, por exemplo, é necessário assegurar que todos os lisímetros de um mesmo conjunto tenham o erro controlado ou estejam sujeitos aos fatores de erro em mesma intensidade. A importância desse aspecto é ainda maior se considerarmos que, por questões econômicas e logísticas, é muito difícil e raro incluir réplicas na experimentação com lisímetros.

Embora esperado que o conjunto lisimétrico seja formado por unidades muito similares em termos físicos e estruturais, ainda assim pode haver efeitos causados pelo posicionamento relativo das unidades na área experimental ou, ainda, por diferenças na extensão das bordas. Desse modo, em experimentos de lisimetria buscando a comparação entre lisímetros, surge a dúvida se eventuais diferenças seriam devidas ao efeito dos tratamentos utilizados ou influência dos fatores de erro.

No caso específico desse trabalho, pretende-se avaliar o desempenho comparado de um conjunto lisimétrico formado por três unidades, com ligeiras diferenças estruturais e de

posicionamento espacial, na obtenção de dados de um mesmo cultivo nas condições de Dourados, Mato Grosso do Sul. A principal diferença estrutural a ser mencionada é referente à área evaporante, já que um dos lisímetros possui 2,08 m² enquanto os outros dois têm 2,23 m² (+7%). Além disso, os três lisímetros poderiam ser influenciados diferentemente por efeito advectivo, dado o posicionamento de cada unidade em relação aos ventos dominantes e distância das bordas do cultivo.

A hipótese básica é que as distintas condições descritas acima não são suficientes para causar diferenças significativas nas medidas obtidas de cada um dos lisímetros. Desse modo, espera-se que as séries temporais produzidas pelos três lisímetros sejam muito similares quando utilizado um mesmo genótipo e nível tecnológico. A confirmação dessa hipótese poderá assegurar o uso futuro do conjunto lisimétrico para comparação entre lisímetros, utilizando diferentes fontes de variação (cultura, cultivar ou manejo).

No planejamento experimental optou-se por utilizar a cultura do milho (*Zea mays*), tanto por sua importância em termos econômicos para a região, como pela relativa carência de informações nesse cultivo durante o período de outono-inverno (safrinha). Embora o milho seja tradicionalmente reconhecido como uma cultura de verão, nos últimos anos ele tem se tornado cada vez mais importante como cultura de outono-inverno. Isso é particularmente observado em Mato Grosso do Sul, onde aproximadamente 97% do milho cultivado ao longo do ano de 2013 se deram nesse período (IBGE, 2014). Inclusive, o melhor entendimento da demanda hídrica desse cultivo pode ser de grande valia para explicar o menor patamar e instabilidade produtiva do milho de outono-inverno em relação ao milho de verão (IBGE, 2014).

4.2 Materiais e Métodos

O experimento foi conduzido no campo experimental da Embrapa Agropecuária Oeste em Dourados, MS, ao redor das coordenadas geográficas 22°16'30"S e 54°49'00"W, com altitude aproximada de 408 m. O clima da região é descrito por Fietz e Fisch (2008) como sendo *Cwa* na classificação de Köppen, em função de seu caráter mesotérmico úmido, com verão chuvoso e inverno seco. Os dados meteorológicos observados ao longo do ciclo do milho foram sumarizados em escala quinidial e apresentados na Tabela 4.1.

A cultura do milho foi implantada em um ambiente homogêneo em termos edáficos e orográficos, utilizando-se a cultivar de milho, BRS 2223 (híbrido duplo superprecoce) em toda a área experimental. A semeadura ocorreu no dia 7 de março de 2014, com emergência em 14 de março e colheita 125 dias após a emergência (DAE). Utilizou-se o espaçamento de

0,9 m entre linhas e uma população equivalente a 55.000 plantas por hectare. O cultivo foi irrigado durante todo o ciclo, sendo que o manejo da irrigação foi feito por meio do balanço hídrico sequencial, de modo a manter a disponibilidade de água no solo acima de 50% da capacidade de água disponível (CAD).

Tabela 4.1 – Dados meteorológicos quinquidiais observados durante o ciclo da cultura do milho de outono-inverno em Dourados, MS, safra 2014

Data	DAE	Rn Médio (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	Temperatura (°C)			UR Média (%)	U _{2m} (m s ⁻¹)	Chuva (mm)
			Média	Mínima	Máxima			
09/03/2014	-5	10,0	23,9	18,7	34,2	77,8	0,9	20,8
14/03/2014	0	14,0	25,5	19,4	33,9	78,0	1,1	22,7
19/03/2014	5	11,2	25,8	20,2	33,2	78,6	1,4	32,7
24/03/2014	10	12,9	23,3	14,7	31,4	75,0	1,2	0,0
29/03/2014	15	10,4	24,6	18,0	31,3	80,2	1,5	3,1
03/04/2014	20	12,7	25,4	19,7	32,6	76,0	0,9	8,6
08/04/2014	25	11,4	26,9	20,2	35,1	74,0	1,5	18,5
13/04/2014	30	4,9	20,3	11,9	28,2	84,8	1,5	18,1
18/04/2014	35	7,9	21,8	17,2	31,7	86,8	0,9	4,1
23/04/2014	40	9,1	21,7	14,1	29,8	82,8	0,8	18,2
28/04/2014	45	11,3	21,6	14,6	30,8	72,4	1,5	50,0
03/05/2014	50	6,5	20,9	13,6	29,3	81,4	0,9	8,9
08/05/2014	55	9,7	21,0	11,1	30,1	76,8	0,8	0,3
13/05/2014	60	7,9	20,7	14,1	28,9	79,8	0,9	14,0
18/05/2014	65	8,6	21,0	14,3	29,3	81,4	0,8	2,6
23/05/2014	70	4,6	18,0	10,2	31,0	86,6	1,9	49,0
28/05/2014	75	8,2	14,5	5,8	25,5	80,6	1,3	0,3
02/06/2014	80	7,9	17,5	6,7	29,4	74,8	1,4	5,4
07/06/2014	85	5,1	22,7	13,6	30,6	81,4	2,4	29,2
12/06/2014	90	6,6	21,3	15,2	30,4	80,0	1,6	0,0
17/06/2014	95	8,4	20,8	12,6	29,6	80,0	0,9	0,0
22/06/2014	100	8,6	19,8	10,5	30,6	71,6	1,0	0,0
27/06/2014	105	7,3	19,3	10,0	31,0	75,6	2,0	7,6
02/07/2014	110	9,0	19,6	7,9	31,9	69,6	0,9	0,6
07/07/2014	115	3,4	17,7	13,8	31,1	83,6	1,2	37,6
12/07/2014	120	7,9	18,8	12,8	27,3	78,4	0,9	1,8
17/07/2014	125	9,7	22,2	14,9	31,0	62,5	1,1	0,0

OBS: Data é relativa ao dia central de um período de cinco dias. DAE - dias após a emergência; Rn - saldo de radiação; UR - umidade relativa do ar; U_{2m} - velocidade média do vento a 2m de altura.

A área cultivada possuía 65 m de largura e 75 m de comprimento, perfazendo aproximadamente 0,49 ha (Figura 4.1). Considerado o sentido da linha de comprimento, um dos lisímetros estava próximo do centro da área enquanto que os outros dois estavam dispostos longitudinalmente a uma distância de 17m. Essa configuração fez com que os lisímetros tivessem bordaduras em algumas direções com extensões diferentes (Figura 4.1), o que poderia promover

diferenças de resposta em relação à advecção de calor sensível oriunda de áreas adjacentes (ABOUKHALED; ALFARO; SMITH, 1982; HOWELL; SCHNEIDER; JENSEN, 1991). O lisímetro central possuía bordadura sempre superior a 25 m em qualquer direção, enquanto que os demais possuíam ao menos uma das bordas a 19 m do limite da área. Contudo, na direção NE, na qual predominam os ventos ao longo de todo o ano (FIETZ; FISCH, 2008), a extensão da bordadura era superior a 38 m para todos os lisímetros. A Figura 4.2 sumariza a direção predominante dos ventos (DPV), compilada a partir dos dados obtidos em escala horária ao longo do ciclo do milho.

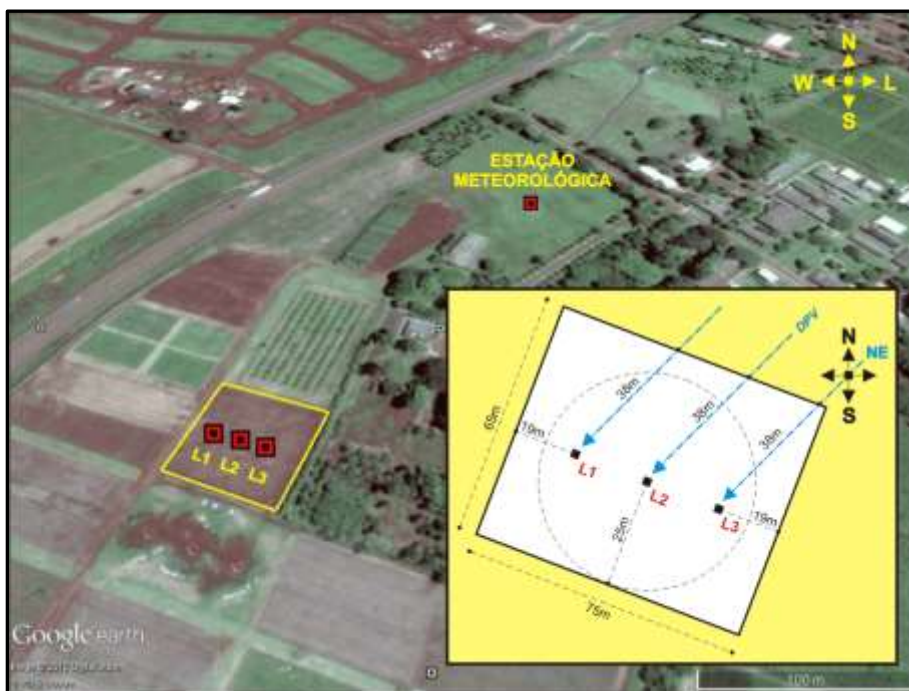


Figura 4.1 - Localização da área experimental e estação meteorológica utilizada. A posição dos lisímetros é indicada por L1 a L3. No detalhe são apresentadas as extensões das bordaduras e a direção predominante dos ventos (DPV) em azul

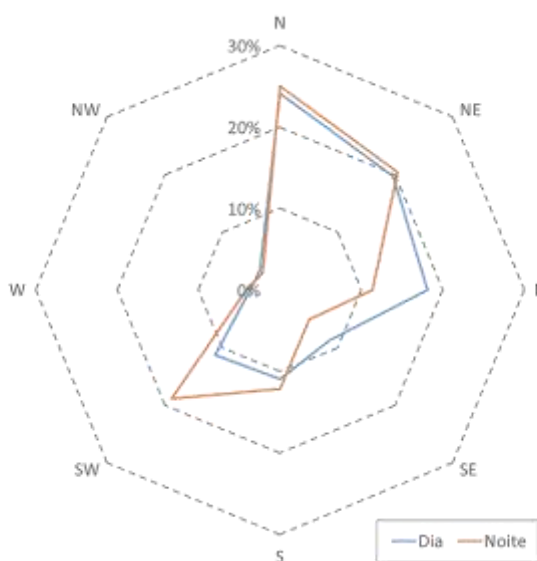


Figura 4.2 – Direção predominante dos ventos (DPV) com percentual de ocorrência calculado a partir dos valores horários observados durante o ciclo da cultura do milho outono-inverno, em Dourados, MS, safra 2014

Cada um dos três lisímetros utilizados foi construído em um fosso de alvenaria, onde alocou-se uma caixa interna de aço carbono com 3,18 mm de espessura. O lisímetro central tem dimensões ligeiramente diferentes dos demais. Enquanto o lisímetro central apresenta dimensões de 1,35 x 1,54 m, com área evapotranspirante de 2,08 m², os demais apresentam dimensões de 1,41 x 1,58 m, com área de 2,23 m². Embora essa diferença seja de apenas 7%, é importante considerá-la ao se avaliar o desempenho dos lisímetros na medida da ETc. Outra particularidade é que o lisímetro central possui uma profundidade menor, com 0,8 m frente a 1,0 m nos demais.

Apesar das pequenas diferenças listadas acima, os três lisímetros empregavam sistema de pesagem idêntico, sendo constituído de uma balança de fabricação comercial dotada de um sistema de alavancas com redução de peso (50:1) acoplado a uma célula de carga blindada tipo “S” com capacidade para 100 kgf de tensão. A construção e calibração desses equipamentos foi realizada de acordo com o estabelecido por Faria et al. (2006) e Fietz et al. (2003), e a automação do processo de coleta foi feita por um coletor automático de dados (*datalogger*) configurado para leituras a cada seis segundos e médias a cada dez minutos. O procedimento de calibração dessas unidades reportou erro absoluto médio (EAM) inferior a 0,1 mm dia⁻¹. Posteriormente, os dados foram compilados para obtenção de valores diários.

Além dos dados referentes à variação de carga dos dispositivos, foram ainda coletados os dados de precipitação, além dos demais dados meteorológicos necessários à estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo método Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). Para

tanto, utilizou-se a Estação Meteorológica da Embrapa Agropecuária Oeste, localizada a 400 m do experimento e também um pluviômetro instalado na área experimental.

Periodicamente, ao longo do ciclo da cultura, também foram realizadas coletas de plantas para determinação do Índice de Área Foliar (IAF). Nesse procedimento foram coletadas as plantas alocadas em um metro linear do cultivo para determinação planimétrica da área foliar através do *scanner* e integrador automático Li-Cor modelo LI 3100.

Na ocasião da colheita, foram tomadas diversas medidas biométricas do cultivo, dentre elas a altura de plantas, altura de inserção, diâmetro, comprimento e número de fileiras das espigas, peso seco de 100 grãos e produtividade em cada unidade lisimétrica e em três pontos amostrados na área de entorno. À exceção da produtividade avaliada nos lisímetros, que considerou a área total dos lisímetros, todas as demais estatísticas foram realizadas com base em uma amostra de seis plantas. Essas medidas foram tomadas com o intuito de verificar a homogeneidade e coerência das unidades lisimétricas em termos produtivos em relação à verdade de campo, nesse caso considerada como sendo seu entorno. A comparação entre as médias das variáveis biométricas obtidas nos lisímetros e no seu entorno foram avaliadas por meio do teste t, pressupondo grupos independentes.

Os dados coletados em cada lisímetro foram utilizados para o cômputo diário da evapotranspiração da cultura (ETc). Simultaneamente, a evapotranspiração de referência (ETo) foi estimada pelo método de Penman-Monteith empregando-se os dados meteorológicos provenientes da Estação da Embrapa. Posteriormente, esses dados foram utilizados para o cálculo dos coeficientes de cultura (Kc) da cultura do milho, na escala quinquidial. O uso da escala quinquidial possibilitou a suavização da curva de Kc, especialmente quando houve a ocorrência de chuvas e irrigações, o que gerava variações extremas.

As três séries de coeficientes de cultura obtidas foram por fim comparadas, visando determinar se as diferenças observadas entre as unidades lisimétricas eram significativas. Para tanto, as séries foram analisadas em pares, avaliando-se a correlação entre elas por meio do coeficiente de correlação de Pearson e realizando o teste t pareado entre observações. De modo a se avaliar se a média das séries poderia ser tomada como uma medida representativa dos três lisímetros, cada série foi testada de forma pareada contra a média novamente por meio do teste t.

4.3 Resultados e Discussão

As principais variáveis consideradas na avaliação biométrica do cultivo do milho safrinha são apresentadas na Tabela 4.2, onde são apresentados os dados obtidos

separadamente em cada lisímetro, além dos valores médios relativos às três unidades. De modo geral, é possível observar valores absolutos muito similares para as variáveis biométricas avaliadas, sendo que para todas as variáveis foi aceita a hipótese de igualdade de médias com base no teste t com nível de confiança de 99% ($p > 0,01$). Portanto, infere-se a homogeneidade de condições entre unidades lisimétricas, que são apresentadas em termos médios na Tabela 4.3.

Tabela 4.2 - Variáveis biométricas observadas na colheita da cultura do milho, cultivado no período de outono-inverno, em Dourados, MS, durante a safra 2014. As notações L1, L2 e L3 são respectivas aos dados individuais dos três lisímetros utilizados

Variável	L1	L2	L3	Média
Altura de plantas (cm)	185,3	193,8	182,2	187,1
Altura de inserção de espigas (cm)	93,9	95,3	92,7	93,9
Comprimento de espiga (cm)	44,5	43,5	46,0	44,7
Diâmetro de espiga (cm)	12,4	12,1	13,7	12,7
Número de fileiras de grãos (n)	12,3	12,4	13,1	12,6
Peso seco de 100 grãos (g)	27,7	25,8	26,2	26,6
Produtividade (kg ha ⁻¹)	7330,1	7602,6	8346,7	7759,8

Após a realização de novos testes t, também com nível de confiança de 99%, comparando as observações médias das variáveis obtidas nos lisímetros e em seu entorno, novamente concluiu-se não ser possível apontar diferenças entre as médias. O nível de probabilidade (valor p) associado à significância do teste é apresentado na Tabela 4.3. A igualdade entre médias foi aceita sempre que $p > 0,01$. Isso permite inferir que os dados coletados nos lisímetros foram representativos da condição real de campo, considerando-se que as áreas no interior dos lisímetros foram representativas do entorno.

Tabela 4.3 - Teste comparativo de médias (teste t) entre principais variáveis biométricas observadas nos lisímetros e nos seus entornos, na colheita do milho de outono-inverno em Dourados, MS, durante a safra 2014

Variável	Lisímetros	Entorno	Diferença (%)	Valor p (Teste t)*
Altura de plantas (cm)	187,11	191,00	-2,0%	0,40
Altura de inserção de espigas (cm)	93,94	98,86	-5,0%	0,03
Comprimento de espiga (cm)	44,69	44,14	1,2%	0,70
Diâmetro de espiga (cm)	12,73	12,04	5,7%	0,43
Número de fileiras de grãos (n)	12,63	11,86	6,5%	0,32
Peso seco de 100 grãos (g)	26,58	28,30	-6,1%	0,08
Produtividade (kg ha ⁻¹)	7759,78	7218,37	7,5%	0,53

*A igualdade entre médias é aceita sempre que $p > 0,01$ para o nível de confiança de 99%.

Uma vez que a análise das variáveis biométricas indicou homogeneidade de condições entre os dispositivos lisimétricos e seu entorno, o passo seguinte envolveu o cálculo dos coeficientes de cultura separadamente para cada lisímetro, na escala quinquidial. O uso da média de cinco dias foi preferido em relação à escala diária, por considerar que a segunda traria alguns inconvenientes, tais como um maior número de falhas, além de valores distorcidos nos dias subsequentes às chuvas e às irrigações, especialmente quando da ocorrência desses eventos após uma sequência de dias secos. O uso da escala quinquidial permitiu a suavização das séries, facilitando a interpretação visual dos dados. A Figura 4.3 apresenta os valores quinquidiais do Kc do milho safrinha, obtidos em cada uma das unidades lisimétricas.

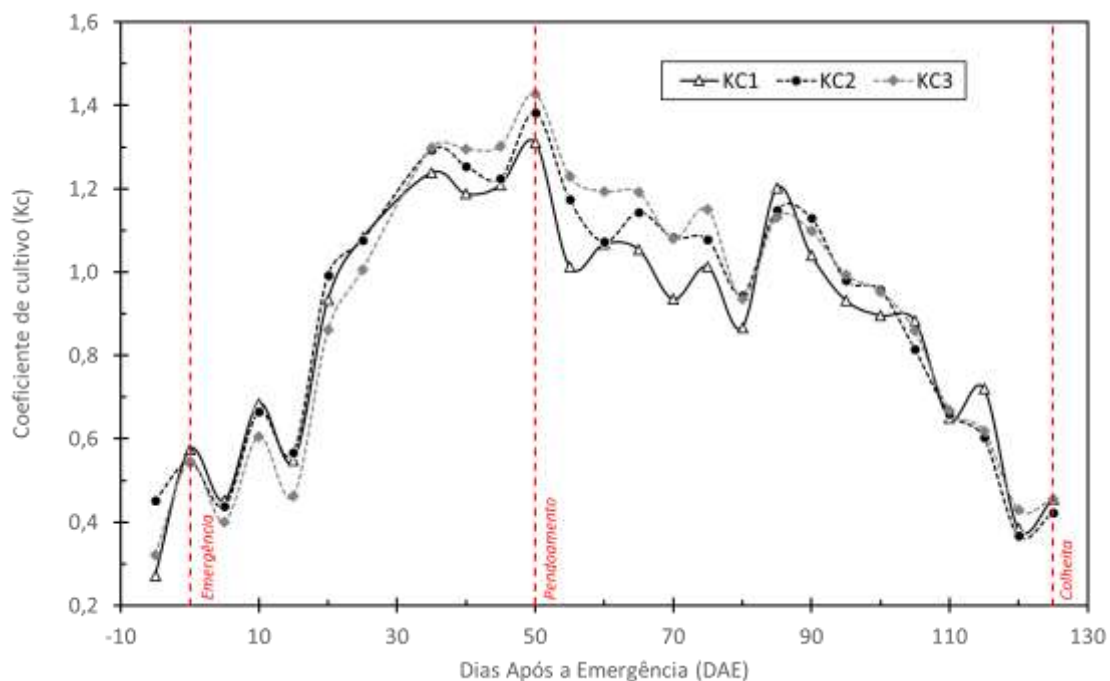


Figura 4.3 - Coeficientes de cultura (Kc) do milho cultivado no período de outono-inverno, na escala quinquidial, obtidos em cada uma das unidades lisimétricas em Dourados, MS

Na Figura 4.4 é possível notar uma grande correlação entre os valores de Kc obtidos a partir da evapotranspiração medida nos diferentes lisímetros (ETc). A alta correlação pode ser evidenciada pelos valores do coeficiente de correlação muito próximos da unidade ($r > 0.97$). Contudo, para evidenciar a similaridade entre os valores de Kc, aplicou-se o teste t para observações pareadas, avaliando-se as diferenças médias produzidas entre as observações. Muito embora existam estatísticas próprias para a análise de séries temporais, o uso do teste t pareado pode se mostrar efetivo quando se utiliza um número relativamente pequeno de observações, tal como nesta análise ($n = 26$).

Adotando-se o nível de confiança de 99%, foram avaliados os pares KC1-KC2, KC2-KC3 e KC1-KC3, decidindo-se pela não rejeição da hipótese de igualdade de médias em todos os casos, com valor $p > 0,01$.

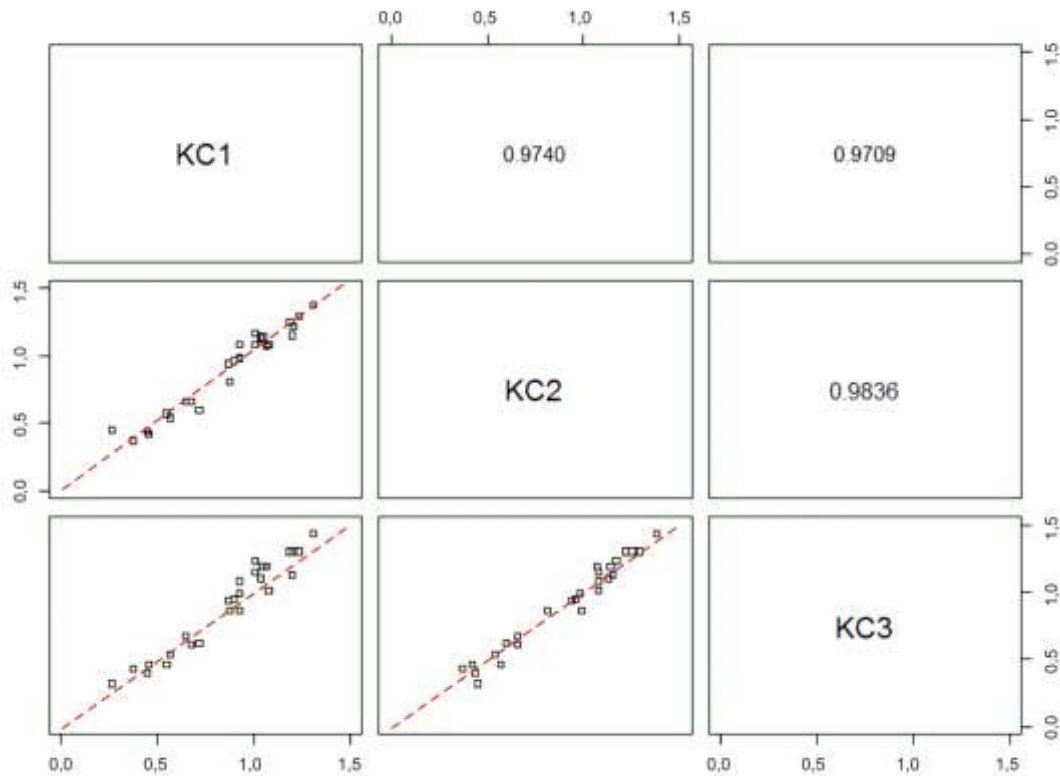


Figura 4.4 - Correlação entre os coeficientes de cultura (Kc) do milho cultivado no período de outono-inverno de 2014, em escala quinquidial, obtidas em três unidades lisimétricas, em Dourados, MS

Uma vez que não foi possível apontar diferenças entre as séries pareadas de Kc do milho safrinha, foi avaliado se os valores médios poderiam ser considerados representativos das três unidades lisimétricas. Para tanto, realizou-se novo teste t entre cada série individual e a série média das três unidades lisimétricas. Os três testes resultaram em $p > 0,01$, podendo-se inferir que a série média era de fato representativa das três séries coletadas. Em adição ao teste anterior, essa foi mais uma evidência de que as diferenças físicas e estruturais entre as unidades lisimétricas não foram suficientes para promover diferenças significativas nos valores de Kc do milho safrinha. Os valores das variáveis meteorológicas relacionadas ao cálculo do Kc médio são apresentados, em escala quinquidial, na Tabela 4.4. O comportamento da evapotranspiração de referência (ET_o) e da cultura (ET_c) ao longo do tempo é apresentado na Figura 4.5.

Tabela 4.4 – Saldo de radiação (Rn), temperatura do ar, evapotranspiração de referência (ETo) e da cultura (ETc) e coeficiente de cultura (Kc), na escala quinquidial, para a cultura do milho outono-inverno, cultivado em Dourados, MS, na safra 2014

Data	DAE	Rn (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	Temperatura Média (°C)	ETo (mm)	ETc Média (mm)	Kc Médio
14/03/2014	0	16,8	26,6	6,1	3,4	0,55
19/03/2014	5	14,2	26,3	5,2	2,2	0,43
24/03/2014	10	12,9	23,3	4,4	2,9	0,65
29/03/2014	15	11,2	24,7	4,1	2,2	0,53
03/04/2014	20	13,8	25,7	4,8	4,5	0,93
08/04/2014	25	13,9	27,3	5,2	5,5	1,05
13/04/2014	30	-	-	-	-	-
18/04/2014	35	11,7	22,9	4,0	5,1	1,28
23/04/2014	40	11,0	21,4	3,6	4,5	1,25
28/04/2014	45	11,3	21,0	3,9	4,9	1,25
03/05/2014	50	10,1	23,0	3,6	4,9	1,37
08/05/2014	55	10,9	20,1	3,6	4,1	1,14
13/05/2014	60	9,7	20,8	3,3	3,7	1,11
18/05/2014	65	9,9	21,7	3,2	3,7	1,13
23/05/2014	70	9,8	24,4	4,6	4,7	1,03
28/05/2014	75	9,4	15,4	2,8	3,0	1,08
02/06/2014	80	8,9	16,3	3,0	2,7	0,92
07/06/2014	85	6,2	25,6	3,8	4,4	1,16
12/06/2014	90	8,6	22,5	3,6	4,0	1,09
17/06/2014	95	8,4	20,8	3,0	2,8	0,97
22/06/2014	100	8,5	19,5	3,1	2,9	0,94
27/06/2014	105	8,8	20,6	3,6	3,1	0,85
02/07/2014	110	9,0	21,1	3,4	2,2	0,66
07/07/2014	115	9,2	22,7	4,8	3,1	0,65
12/07/2014	120	9,5	19,6	3,3	1,3	0,39
17/07/2014	125	9,4	21,2	3,7	1,6	0,44

DAE - dias após a emergência; Rn - saldo de radiação; ETo – evapotranspiração de referência; ETc – evapotranspiração da cultura (média de três lisímetros). OBS: (1) Data é relativa ao dia central de cada período de cinco dias; (2) Os valores médios consideraram apenas os dias, em cada período, com observações válidas da evapotranspiração da cultura nos lisímetros; (3) O quinquídio de 13/04/2014 correspondeu a um período de chuvas e drenagens onde foram perdidas todas as observações diárias.

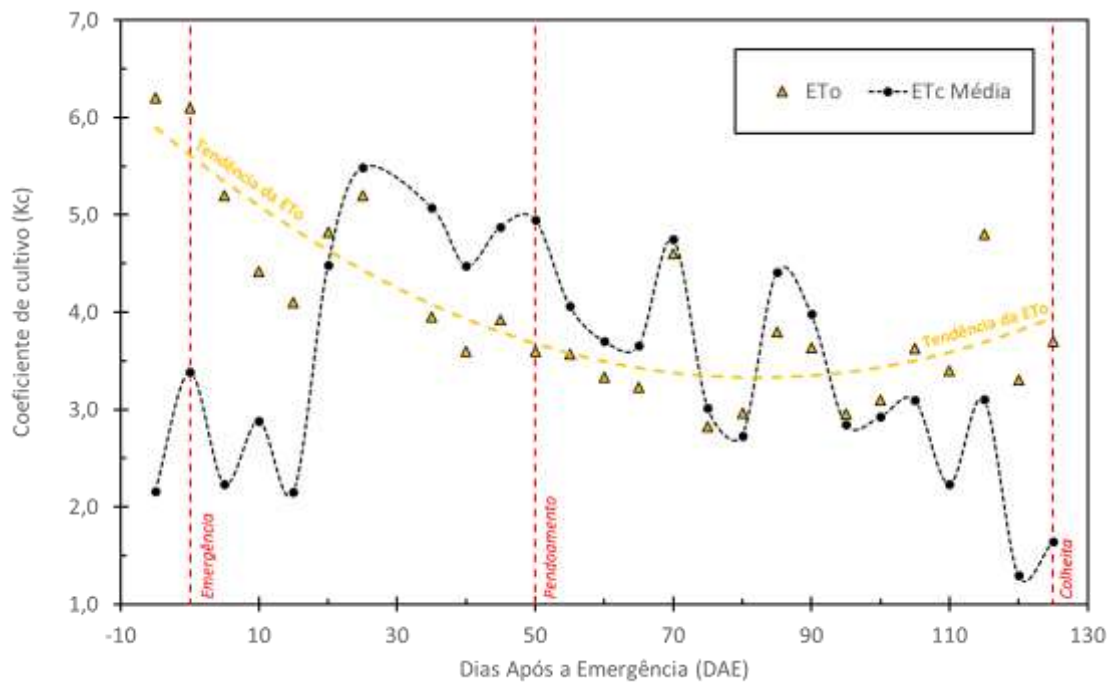


Figura 4.5 – Evapotranspiração de referência (ETo) e evapotranspiração da cultura do milho (ETc), durante o período de outono-inverno de 2014, em Dourados, MS. Os valores de ETo e ETc se referem às médias quinquidiais

Uma vez que as diferenças entre os lisímetros puderam ser desconsideradas, a etapa seguinte consistiu em avaliar a evolução dos coeficientes de cultura ao longo do ciclo da cultura. Nesse processo, os valores de Kc médios foram relacionados aos valores do índice de área foliar (IAF) da cultura do milho, obtidos em oito coletas ao longo do ciclo (Figura 4.6). Foi notável o decréscimo dos valores de Kc após o pendramento do milho, quando seria esperada a manutenção de altos valores frente à expressão do máximo IAF (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2009).

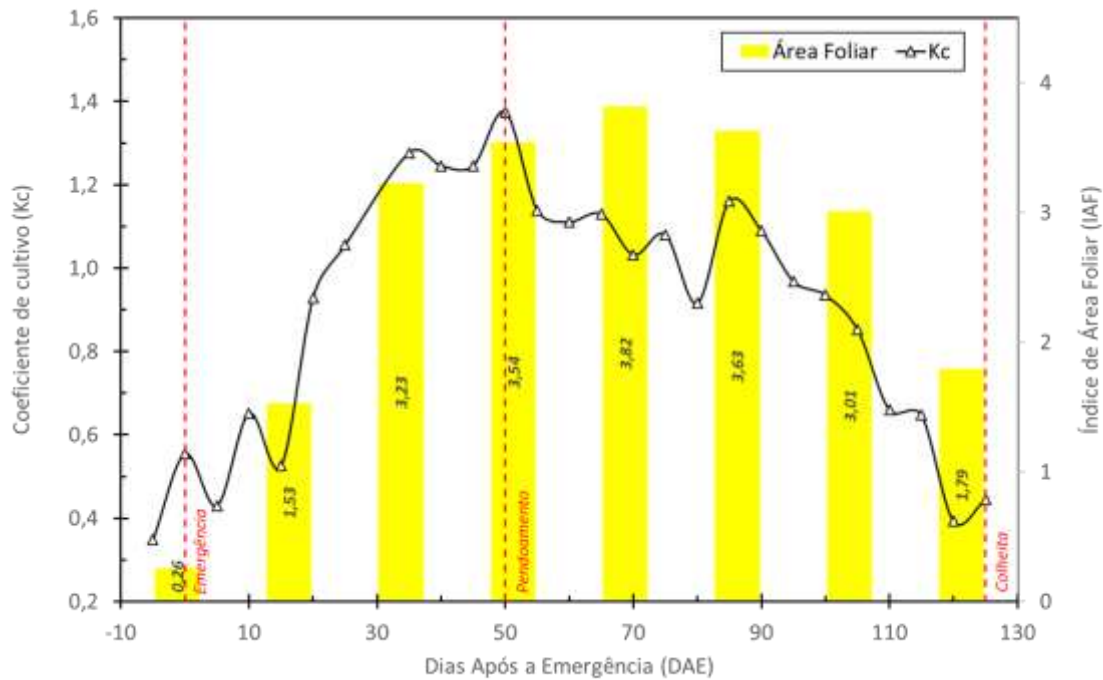


Figura 4.6 - Coeficiente de cultura (Kc) médio e índice de área foliar (IAF) do milho ao longo do ciclo, no período de outono-inverno de 2014, em Dourados, MS

Ao que tudo indica, o decréscimo observado nos valores de Kc na fase reprodutiva parece estar relacionado aos decréscimos de temperatura e a radiação líquida, o que é normal para o período de outono. É possível constatar que a sequência de queda só foi revertida justamente após o solstício de inverno, em 22 de junho, quando era esperado que os valores dessas variáveis voltassem a crescer. Nessa época, a cultura se encontrava com 99 DAE. Temperatura e a radiação líquida são variáveis que reconhecidamente interferem nos processos fisiológicos da cultura do milho, evapotranspiração e produção de biomassa (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2009). A Figura 4.7 relaciona a tendência de queda observada nos valores de Kc a partir do pendocimento, assim com a tendência de queda na temperatura do ar e no saldo de radiação, o que obviamente limitou a manutenção do índice de área foliar na faixa mais elevada, aproximadamente igual a 4, mesmo com a cultura sendo irrigada.

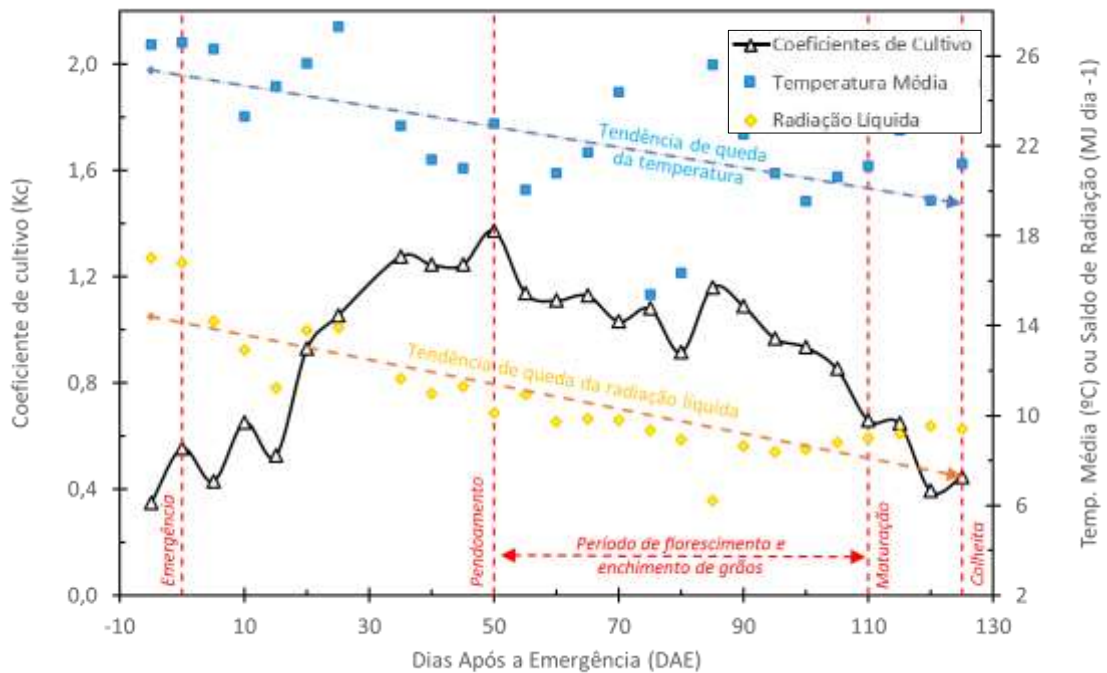


Figura 4.7 - Coeficientes de cultura (K_c) quinquidiais, saldo de radiação (R_n) e temperatura média do ar (T) observados ao longo do ciclo da cultura do milho cultivado no período de outono-inverno de 2014, em Dourados, MS

Os maiores valores de K_c seriam esperados por ocasião do pendoamento e na ocorrência do máximo IAF (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2009). Sendo assim, conforme aponta a literatura, deveria haver certa estabilidade nos valores de K_c durante a fase reprodutiva, decrescendo lentamente a partir daí, com a senescência das folhas inferiores. Contudo, é usual reportar um único valor de K_c para essa fase, presumindo, portanto, a manutenção de um patamar durante essa fase. Todavia, é necessário ressaltar que a grande maioria dos trabalhos disponíveis na literatura se referem ao milho cultivado no verão, período em que se poderia supor a ocorrência de temperaturas e de saldo de radiação estáveis ao longo do ciclo da cultura.

No caso do milho de outono-inverno, há uma situação distinta, como se pode observar na Figura 4.7. Embora fosse esperado que a demanda hídrica fosse potencialmente maior e estável na fase reprodutiva, foram observados valores decrescentes de K_c , podendo-se inferir que a necessidade hídrica da cultura não pode ser plenamente satisfeita, em alguns períodos, com o manejo de irrigação adotado.

A Figura 4.5 auxilia o entendimento do processo de queda dos coeficientes de cultura (K_c). Nela é possível verificar a queda concomitante tanto da evapotranspiração de referência (E_{To}) como da evapotranspiração da cultura (E_{Tc}). Todavia, a queda se mostra menos acentuada na E_{To} , enquanto que para a E_{Tc} a queda é mais expressiva, especialmente entre 55 e 80 DAE.

Apesar do comportamento reportado acima, os valores de iniciais de K_c estão coerentes com os valores reportados por Bergamaschi e Matzenauer (2009). Enquanto nesse trabalho foram obtidos valores de 0,54 na fase inicial do cultivo (0-15 DAE) e 1,37 na fase de pendoamento (50 DAE); os autores apresentam dados com valores de 0,50 na fase inicial e de 1,20 na fase de pendoamento, os quais evoluem para valores de até 1,4 na fase reprodutiva. Por outro lado, os valores de K_c de 0,80 e 0,40 obtidos na maturação fisiológica (110 DAE) e colheita (125 DAE) são notadamente inferiores aos reportados por esses autores.

Nas condições do presente estudo, o consumo hídrico potencial, calculado para esse cultivo durante todo seu ciclo, foi de 475 mm, estando dentro do intervalo apresentado por Doorenbos e Kassam (1994), que é de um consumo médio de 410 a 610 mm, dependendo da cultivar, do ciclo da cultura e das condições meteorológicas ao longo deste.

4.4 Conclusões

Apesar das diferenças apontadas entre os lisímetros, as unidades se equivalem, retornando medidas estatisticamente iguais na determinação dos coeficientes de cultura do milho. Isso permite inferir que os lisímetros não apresentam diferenças entre si em termos da determinação do consumo hídrico da cultura, viabilizando seu uso em estudos comparativos, já que eventuais discrepâncias serão decorrentes da fonte de variação considerada (genótipos, população de plantas e manejo) e não das diferenças físicas e estruturais das unidades.

A série média pode ser utilizada para representar os coeficientes de cultura mensurados pelas três unidades lisimétricas.

A demanda hídrica do milho outono-inverno (BRS 2223) apresentou-se com comportamento próprio e distinto do milho cultivado no verão, havendo decréscimo nos valores do coeficiente hídrico (K_c) na fase reprodutiva, o que pode estar associado tanto às condições meteorológicas vigentes ao longo do ciclo como ao manejo da irrigação adotado, em que a água só era repostada quando se atingia 50% da capacidade de água disponível.

Apesar da redução dos valores de K_c no período entre 55 e 80 DAE, os valores obtidos para as diferentes fases da cultura se mostraram compatíveis com o que seria esperado para o cultivo no verão, atingindo 0,54, 1,37, 0,80 e 0,40, respectivamente para as fases inicial do cultivo, pendoamento, maturação fisiológica e final do ciclo.

Referências

ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. **Lysimeters**. Rome: FAO, 1982. 68p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 39).

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (Irrigation and drainage paper, 56).

BERGAMASCHI, H. ;MATZENAUER, R. Milho. In: MONTEIRO, J.E.B.A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. p. 237-260.

CAMPECHE, L.F.M.S; AGUIAR NETTO, A.O.; SOUSA, I.F.; FACCIOLI, G.G.; SILVA, V.; P.R.; AZEVEDO, P.V. Lisímetro de pesagem de grande porte. Parte I: Desenvolvimento e calibração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.5, p.519–525, 2011.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33)

FARIA, R.T. de; CAMPECHE, F. de S.M.; CHIBANA, E.Y. Construção e calibragem de lisímetros de alta precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.1, p.237-242, 2006.

FIETZ, C.R.; SILVA, F.C. da; URCHEI, M.A. Instalação e calibração de lisímetros de pesagem para medida da evapotranspiração de culturas anuais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria, RS. Situação atual e perspectivas da agrometeorologia: **Anais...** Santa Maria, RS: UNIFRA: SBA: UFSM, 2003. p. 411-412.

FIETZ, R.C.; FISCH, G.F. **O Clima da Região de Dourados, MS**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 32p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 92).

HOWELL, T.A.; SCHNEIDER, A.D.; JENSEN, M.E. History of lysimeter design and use for evapotranspiration measurements. In: ALLEN, R.G.; HOWELL, T.A.; PRUITT, W.O.; WALTER, L.A.; JENSEN, M.E. (Ed.). INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LYSIMETRY: Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements, July 23-25, 199, Honolulu, Hawaii. **Proceedings...** New York City, NY: American Society of Civil Engineers, 1991. p 1-9.

IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. [Rio de Janeiro, 2009?]. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/brasil_2006/Brasil_censoagro2006.pdf>. Acesso em: 13 set. 2015.

IBGE. **Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA**: Banco de Dados Agregados: Produção Agrícola Municipal: Brasil e Mato Grosso do Sul. [Rio de Janeiro, 2014?]. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo9.asp>>. Acesso em: 03 nov. 2014.

WALTER, I.A.; SIEMER, E.; DIRKS, L.R.; QUINIAN, J.P.O.; BURMAN, R.D. Lysimeters vs. buffer areas: evapotranspiration and agronomic comparisons. In: ALLEN, R.G.; HOWELL, T.A.; PRUITT, W.O.; WALTER, L.A.; JENSEN, M.E. (Ed.). INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LYSIMETRY: Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements, July 23-25, 199, Honolulu, Hawaii. **Proceedings...** New York City: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 272-280.

WRIGHT, J.L. Using weighing lysimeters to develop evaporation crop coefficients. In: ALLEN, R.G.; HOWELL, T.A.; PRUITT, W.O.; WALTER, L.A.; JENSEN, M.E. (Ed.). INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LYSIMETRY: Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements, July 23-25, 199, Honolulu, Hawaii. **Proceedings...** New York City: American Society of Civil Engineers, 1991. P. 191-1999.

5 USO DE LISIMETRIA PARA DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE CULTURA DE CULTIVARES DE SOJA COM HÁBITOS DISTINTOS DE CRESCIMENTO

Resumo

A cultura da soja é principal cultura agrícola do estado de Mato Grosso do Sul, respondendo por mais da metade da área total destinada às lavouras temporárias no estado ao longo do ano. A quantificação da demanda hídrica ao longo do ciclo da cultura é de suma importância para o manejo das lavouras e fundamental para a produção dos zoneamentos agrícolas de risco climático (ZARC), tal qual o utilizado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil. Novas tecnologias e modificações no sistema de produção da soja têm suscitado dúvidas quanto à necessidade de revisão do método e dos parâmetros empregados pelo ZARC. A antecipação do cultivo da soja, com o emprego expressivo de cultivares mais produtivas e com hábito de crescimento indeterminado, justifica a necessidade de revisão dos coeficientes de cultura empregados no processo, já que os parâmetros utilizados atualmente foram obtidos da experimentação com genótipos e condições bastante distintas das encontradas atualmente. Sendo assim, o presente trabalho teve por objetivo fazer uso da estrutura de lisimetria da Embrapa Agropecuária Oeste para obter, nas condições locais, séries de coeficiente de cultura (K_c) de genótipos de soja com hábitos de crescimento distintos (determinado e indeterminado). Foram obtidas séries de K_c de dois cultivares com hábito de crescimento indeterminado (BMX Potência RR e BRS 284) e um cultivar com hábito determinado (BRS 317), em dois conjuntos lisimétricos distintos, com área superficial de 2,1 e 7,2 m², durante a safra 2014/2015, em Dourados, MS. Os genótipos apresentaram características de desenvolvimento similares, finalizando o ciclo com 108 e 113 dias após emergência, tendo sido feito o uso de dessecação. Os coeficientes de cultura (K_c) da soja, obtidos por lisimetria, se mostraram indiferentes ao tamanho dos lisímetros utilizados, mas demonstraram diferenças significativas ($p < 0,05$) quando considerado o hábito de crescimento dos cultivares. Houve também diferenças ($p < 0,05$) entre os valores de K_c usados pelo ZARC, os recomendados pela FAO e os encontrados neste estudo, especialmente quando se considerou as cultivares de hábito de crescimento indeterminado. Além disso, houve diferenças quanto a duração das fases, em especial no que tange ao período reprodutivo, o mais crítico em relação ao consumo de água.

Palavras-Chave: Coeficientes de cultura; Lisímetros de pesagem; Hábitos de crescimento determinado e indeterminado

Abstract

Soybean is the main agricultural crop in the State of Mato Grosso do Sul (MS), Brazil, representing more than half of the total area designated to annual crops in this state along the year. The water demand quantification during the crop cycle is crucial for defining crop management and climate risk agricultural zoning (ZARC), like that used by the Brazilian Ministry of Agriculture. New technologies and procedures adopted recently in the soybean production system suggest that the method and parameters used by ZARC should be revised. The sowing anticipation with wide use of more productive cultivars with indeterminate growth habit justifies the revision of the crop coefficients used in the process, since the values presently used were obtained from experiments with old genotypes and different conditions than those applied in the fields now a days. Therefore, this study aimed to use a lysimetry structure, available at Embrapa Agropecuária Oeste Research Center, to obtain crop coefficient series (K_c) for soybean genotypes with different growth habits. K_c series were obtained from two cultivars with indeterminate (BMX Potência RR and BRS 284) and one with determinate (BRS 317) growth habits in two distinct lysimetric structures, with

superficial area of 2.1 and 7.2 m², during 2014/2015 crop season, in Dourados, MS. The genotypes had similar development characteristics, ending the cycle at 108 and 113 days after emergence, when desiccated. The soybean crop coefficients (K_c) obtained by the lysimeters were not significantly different ($p < 0.05$) for the same cultivar, but significant differences ($p < 0.05$) were observed when considering the growth habit of the cultivars. Differences were also observed among the K_c values used by ZARC, those recommended by FAO and those obtained in this study. Moreover, differences were also observed for the crop phases duration, mainly for the reproductive period, considered the most critical in term of water consumption.

Keywords: Crop coefficients; Weighing lysimeters; Determinate and indeterminate growth habits

5.1 Introdução

A soja (*Glycine max*) é atualmente a principal cultura agrícola do estado de Mato Grosso do Sul, respondendo por mais da metade da área total cultivada com lavouras temporárias (IBGE, 2014). Durante a safra de verão, a cultura da soja chega a ocupar mais de 96% da área destinada aos cultivos anuais. Segundo dados da Federação de Agricultura e Pecuária de Mato Grosso do Sul (FAMASUL, 2015), na safra de verão referente ao ano 2013, dos 2,16 milhões de hectares disponíveis para lavouras temporárias, 2,12 milhões de hectares foram cultivados com soja, representando mais de 98% da área total. Além da importância da cultura da soja, evidenciada em termos de área cultivada, esta também pode ser avaliada em termos econômicos, já que a economia de Mato Grosso do Sul é eminentemente agrícola, sendo diretamente impactada pelos resultados obtidos com a cultura da soja (FAGUNDES et al., 2014).

A participação da cultura da soja em relação aos cultivos temporários de Mato Grosso do Sul é apresentada na Figura 5.1. Os dados foram compilados a partir do banco de dados de cultivos temporários da Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2014), dos quais se excluiu a cultura da cana-de-açúcar, visando restringir-se apenas aos cultivos temporários anuais, com ciclos de até seis meses.

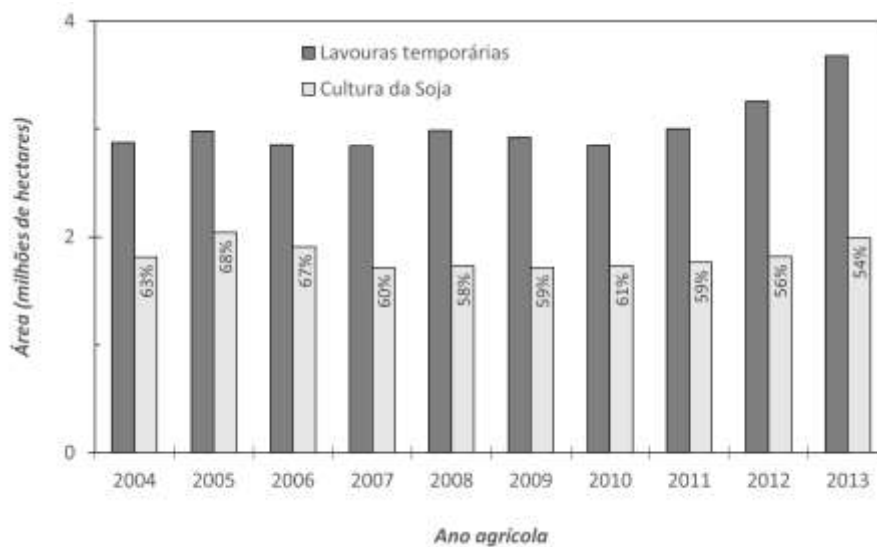


Figura 5.1 - Evolução da área cultivada com lavouras temporárias em Mato Grosso do Sul, à exceção da cana-de-açúcar, e participação relativa da cultura da soja. Fonte: IBGE (2014)

Conforme é possível se observar na Figura 5.2, o potencial produtivo da cultura da soja é condizente com os valores observados para o Brasil, chegando a superar esses em diversas situações. Contudo, são notados impactos mais intensos na produtividade da soja em Mato Grosso do Sul quando há adversidades climáticas, o que leva a quebras de produção, como observados especialmente nas safras de 2004 e 2005, quando foram observados grandes prejuízos à economia local. Sendo assim, o entendimento dos efeitos das adversidades climáticas na cultura da soja é fundamental para se definir as melhores estratégias de manejo, que visem a minimizar os efeitos negativos, minimizando, assim, instabilidades na produtividade e, conseqüentemente, na produção.

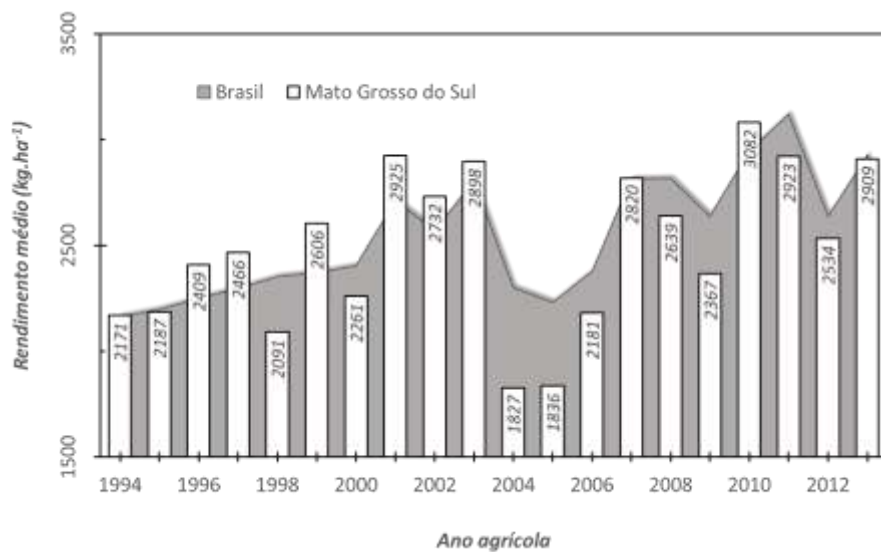


Figura 5.2 - Produtividade média da cultura da soja no estado de Mato Grosso do Sul e no Brasil
Fonte: IBGE (2014)

A quantificação da demanda hídrica ao longo do ciclo da cultura, quando confrontada com a oferta hídrica potencial (chuvas ou irrigações), é de suma importância para o manejo das lavouras, constituindo a base para a produção dos zoneamentos agrícola de risco climático (ZARC), tal qual o utilizado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil.

Embora o atual ZARC seja de reconhecida importância e de uso já consolidado, ajustes e aprimoramentos em seu método já se tornam necessários. De fato, esse processo de aprimoramento deveria ser dado de maneira contínua, uma vez que novas tecnologias são incorporadas ao sistema produtivo regularmente.

Considerando especificamente o ZARC para a cultura da soja, uma dúvida latente é concernente ao impacto que novos genótipos poderiam trazer à espacialização dos riscos. A ideia básica é que a maior parte dos materiais hoje utilizados possui o hábito de crescimento indeterminado, enquanto que na execução do ZARC da cultura da soja ainda são considerados os parâmetros estabelecidos para as cultivares de hábito de crescimento determinado, tomando-se por referência os trabalhos de Berlato et al. (1986) e Farias et al. (2009).

Aventa-se que as cultivares de hábito indeterminado têm maior resistência às estiagens, possibilitando inclusive produtividades superiores àquelas dos materiais de ciclo determinado (RIBEIRO; ROCHER, 2012; REUNIÃO..., 2010). Isto poderia ser proporcionado por diferenças no requerimento de água durante o ciclo, modificando a duração e o momento do período reprodutivo (crítico), além de maior eficiência ou capacidade de

recuperação deste material frente ao estresse hídrico, sobretudo no que se refere à floração (MELO, 2012). O setor produtivo reforça essa teoria com resultados práticos, em termos da produtividade alcançada nos últimos anos pelos materiais genéticos de soja com hábito de crescimento indeterminado.

Outro aspecto a ser considerado é que a intensificação da adoção dos materiais com hábito de crescimento indeterminado ocorreu simultaneamente à prática de antecipação da semeadura da soja, baseado, sobretudo, na crença de que esses materiais têm parâmetros culturais distintos das cultivares com hábito de crescimento determinado, o que lhes permitiria produções superiores mesmo sob restrições hídricas acentuadas. A principal motivação para a antecipação se deve ao fato de que em muitos locais, como em Mato Grosso do Sul, ao antecipar o cultivo de verão, viabiliza-se o cultivo do milho no período de outono-inverno, diminuindo o impacto potencial do frio durante a fase de floração e enchimento de grãos (FIETZ et al., 2013).

Esse novo cenário foi capaz de mobilizar o setor produtivo da soja em Mato Grosso do Sul, assim como nos estados do Sul do Brasil, levando recentemente à revisão do zoneamento vigente, validando-se a antecipação dos cultivos (BRASIL, 2009, 2011). Contudo, a argumentação utilizada nesse processo foi preponderantemente de ordem prática e empírica, persistindo uma série de dúvidas técnico-científicas acerca de sua validade. Um estudo que poderia elucidar muitas dessas dúvidas seria uma comparação entre os coeficientes de cultura (K_c) de genótipos de soja com hábitos de crescimento distintos. No entanto, não há ainda na literatura científica estudos que abordem tal tema.

A obtenção de parâmetros culturais de cultivares de soja, com hábito de crescimento determinado ou indeterminado, é fundamental para o aperfeiçoamento e a atualização do ZARC para a cultura soja em Mato Grosso do Sul. Sendo assim, o presente trabalho teve por objetivo determinar os coeficientes de cultura (K_c) de cultivares de soja com hábitos de crescimento distintos, comparando os resultados obtidos em duas estruturas lisimétricas diferentes, localizadas na Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados, MS.

5.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados, MS, utilizando-se dois conjuntos lisimétricos, cada qual constituído por três lisímetros dotados de caixa interna de aço carbono alocada em estruturas de alvenaria. Ambos os conjuntos estão localizados em áreas contíguas e homogêneas, cada uma com aproximadamente 0,5 ha e

separadas unicamente por um carreador com 3 m de largura (Figura 5.3). As coordenadas geográficas centrais da área experimental são 22°16'30"S e 54°49'00"W, com altitude aproximada de 408 m. Segundo Fietz e Fish (2008), o clima da região é classificado como Cwa de Köppen, por seu caráter mesotérmico úmido, com verão chuvoso e inverno seco. O solo de toda área experimental está inserido em uma mesma unidade de mapeamento, sendo classificado como um Latossolo Vermelho distroférico.



Figura 5.3 - Área experimental e estação meteorológica de referência. A posição dos lisímetros é indicada pelos números apresentados, sendo que 1 a 3 correspondem ao primeiro conjunto lisimétrico (CL1) e 4 a 6 correspondem ao segundo conjunto lisimétrico (CL2)

Em cada gleba, os lisímetros estão dispostos linearmente. Em ambos os casos, um lisímetro dispõe-se no meio da linha, com as outras duas unidades dispostas longitudinalmente a uma distância de 17 a 20 m (Figura 5.3). Muito embora as menores extensões de bordadura sejam da ordem de 19 m, se considerada a direção predominante dos ventos, nordeste durante todos os meses do ano, a bordadura nunca é inferior a 38 m. A avaliação dos ventos predominantes foi realizada com base em dados meteorológicos locais e corroborada por FIETZ E FISCH (2008).

Além de estarem posicionados em glebas diferentes, os dois conjuntos lisimétricos utilizados também são bastante distintos em termos de design e estrutura. As principais diferenças ficam por conta do porte das construções e do sistema de pesagem. No primeiro conjunto lisimétrico (CL1) cada uma das unidades possui área evapotranspirante de aproximadamente 2,1 m², ao passo que no segundo conjunto (CL2) as unidades têm área evapotranspirante de 7,2 m². O

tamanho das unidades está de acordo com Aboukhaled et al. (1982) que recomendam uma área mínima de 2 m². Quanto ao sistema de pesagem, o CL1 utiliza um sistema de redução (50:1) que tensiona uma única célula de carga tipo “S”, marca HBM®, modelo RSCB-C3/100kg em cada lisímetro, enquanto que no CL2 são utilizadas, em cada unidade, quatro células de pesagem direta marca HBM®, modelo RTN-C3/4.7T. Ambos os conjuntos foram monitorados continuamente, com leituras automáticas a cada 6 segundos e armazenamento das médias a cada 10 minutos em registradores automáticos (*dataloggers*). O método de construção de cada conjunto foi feito de acordo com Faria et al. (2006) e Flumignam (2011).

Os dois conjuntos lisimétricos, mesmo com características distintas, foram utilizados concomitantemente, cada qual com uma réplica do estudo proposto, buscando estabelecer um referencial de comparação entre os mesmos e avaliar a possibilidade de uso conjunto.

Calibração dos lisímetros

No intuito de inferir sobre a precisão e acurácia dos lisímetros, os dois conjuntos foram submetidos ao processo de calibração na entressafra. A base do procedimento é a carga e descarga de volumes com massa conhecida, registrando-se as leituras tomadas pela célula ou células de carga do sistema (CAMPECHE, 2002). Relacionando as medidas tomadas pelo sistema e a carga utilizada, foram estabelecidas equações lineares para o ajuste das observações, permitindo a obtenção de dados e conversão em unidade de massa (kg).

Para calibração do primeiro conjunto lisimétrico (CL1), utilizaram-se volumes de 400 g, 2, 4 e 20 kg, avaliando-se o intervalo entre zero e aproximadamente 150 kg (70 mm). No segundo conjunto (CL2) foram utilizados volumes de 1, 2, 40 e 60 kg, avaliando-se o intervalo entre 0 e aproximadamente 540 kg (75 mm). Em ambos os casos, após a adição de carga, registrou-se também o desempenho do sistema na retirada dos volumes.

O procedimento foi realizado durante um longo período de estiagem e sem vegetação nos lisímetros, de modo que as medidas iniciais estivessem muito próximas da massa de solo livre de água. Para minimizar potenciais efeitos erráticos dos elementos meteorológicos, os lisímetros permaneceram cobertos por lona plástica durante todo processo de aferição e a medição foi realizada com mínima movimentação do ar (velocidade do vento < 1,4 m s⁻¹).

Considerando-se as especificações do fabricante, a resolução dos conjuntos lisimétricos é de 200 e 700 g, respectivamente, para células do CL1 e CL2. Tal resolução equivale a valores de variação de massa inferiores a 0,1 mm nos dois conjuntos lisimétricos.

O ajuste linear das equações utilizadas foi inicialmente avaliado com base no coeficiente de determinação (r^2) e no índice de concordância de Willmott (d), com todos os índices retornando o valor unitário (Tabela 5.1). Tais resultados evidenciaram a linearidade do processo em ambos os conjuntos lisimétricos. A análise de acurácia de medida deu-se por meio do cálculo do Erro Absoluto Médio (EAM) das observações. Em todos os casos, os valores calculados foram inferiores à resolução das células de carga em cada unidade (Tabela 5.1), assumindo-se, portanto, que a acurácia da medida é restrita à resolução do sistema (0,1 mm). Uma vez que o foco da pesquisa realizada com essas unidades lisimétricas é a variação diária da evapotranspiração e que os valores médios dessa variável são sempre superiores a 1,0 mm por dia, mesmo nos períodos de maior restrição hídrica (Fietz e Fisch, 2008), o valor 0,1 mm é plenamente adequado ao estudo.

Tabela 5.1 - Parâmetros da calibração dos lisímetros (1 a 6) localizados na área experimental da Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados, MS

Lisímetro	Relação linear	r^2	d	EAM (kg)	EAA (mm)
1 (CL1)	2275,81x - 4348,24	1,00	1,00	0,161	0,08
2 (CL1)	1758,36x - 3136,79	1,00	1,00	0,165	0,08
3 (CL1)	2284,92x - 4325,33	1,00	1,00	0,116	0,06
4 (CL2)	6,659,08x - 13,121,13	1,00	1,00	0,359	0,05
5 (CL2)	6,651,45x - 13,179,05	1,00	1,00	0,485	0,07
6 (CL2)	6,655,20x - 13,664,52	1,00	1,00	0,266	0,04

r^2 - coeficiente de determinação; d - índice de Willmott; EAM - Erro Absoluto Médio

Instalação e condução do experimento

Para a implantação do experimento, cultivares de soja com hábitos de crescimento distintos foram selecionadas, porém com grupo de maturidade e ciclos similares. Dentre as opções encontradas foram priorizados os genótipos com maior expressão em termos de área cultivada no MS. Desse modo, definiram-se as cultivares BRS 317, BRS 284 e BMX Potência RR. As principais características de cada uma dessas cultivares são apresentadas na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Principais características das cultivares de soja empregadas no presente estudo

Cultivar	Classificação	Ciclo Médio (dias)	Grupo de Maturidade	Hábito de Crescimento
BRS 284	precoce	110	6.3	Indeterminado
BMX Potência RR	semiprecoce	115	6.6	Indeterminado
BRS 317	semiprecoce	120	6.6	Determinado

Por ocasião da semeadura, ocorrida em 22 de outubro de 2014, cada gleba foi dividida em três partes, tendo ao centro um dos lisímetros. Em cada lisímetro foram utilizadas sementes de uma das três cultivares, preenchendo a área do entorno com o mesmo genótipo. A semeadura da soja foi feita no espaçamento de 50 cm, visando melhor adequar as linhas de semeadura ao formato dos lisímetros. Após a emergência, ocorrida em 29 de outubro, determinou-se a população de plantas como sendo equivalente a 340.000 plantas por ha no caso das cultivares BRS 317 e BRS 284, e a 280.000 plantas por ha no caso da BMX Potência RR.

Toda área experimental dispunha de um sistema de irrigação por aspersão, acionado sempre que o balanço hídrico sequencial acusava reserva de água em níveis inferiores a 50% da capacidade de água disponível (CAD). Contudo, na margem norte da primeira gleba foi mantida uma pequena faixa de cultivo não irrigado, para fins de comparação. Essa faixa tinha 12 m de largura e se estendia ao longo da área ocupada pelas três cultivares.

O Índice de Área Foliar (IAF) dos cultivos foi determinado para cada cultivar por meio de coletas periódicas ao longo do ciclo da cultura e fazendo uso do scanner e integrador automático Li-Cor modelo LI 3100. Aos 103 DAE, após a maturação fisiológica (R7), realizou-se a dessecação da lavoura visando homogeneizar a maturação e antecipar a colheita. Por ocasião da colheita, foram feitas análises biométricas de cada uma das cultivares, nas áreas dos lisímetros (irrigada) e na faixa sem irrigação.

Determinação dos coeficientes de cultura (Kc)

As variações de massa de cada lisímetro foram monitoradas durante todo o ciclo da cultura da soja, com leituras a cada 6 s e armazenamento das médias a cada 10 min. Posteriormente, os dados foram utilizados para o cálculo da evapotranspiração da cultura em escala diária. Cada série diária foi avaliada individualmente, visando excluir dias com informações discrepantes. Via de regra, foram excluídos os dias com precipitação superior a 1 mm e determinação de massa com desvio padrão elevado. A evapotranspiração de referência (ET_o), necessária para o cálculo dos coeficientes de cultura, foi estimada pelo método Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), com dados meteorológicos provenientes de uma estação meteorológica automática da Embrapa Agropecuária Oeste, localizada à 400m da área de estudo, empregando-se os dados observados de saldo de radiação, temperaturas máxima e mínima do ar, umidades relativas máxima e mínima do ar e velocidade do vento.

Por fim, os coeficientes de cultura (Kc) foram calculados, em escala quinidial, para cada um dos seis lisímetros dos dois conjuntos lisimétricos. O uso da escala de cinco dias foi preferido

em relação à escala diária, por considerar que essa proporciona uma suavização desejável dos dados, suprimindo oscilações bruscas, normalmente apresentadas nas escalas diária e de três dias.

Comparação dos coeficientes de cultura (K_c)

Visando estabelecer relações entre os conjuntos lisimétricos, lisímetros e cultivares utilizados, todas as séries foram testadas individualmente ou em grupos contra seus pares visando determinar se as diferenças calculadas eram significativas ($p < 0,05$) ou não. Para esse fim, após avaliar a correlação de Pearson (r) entre as diferentes séries, empregou-se o teste t pareado entre observações, com nível de confiança de 95%, ou seja, não rejeição da hipótese nula com $p > 0,05$. Adicionalmente, também foram utilizados o teste de variância para avaliar a homogeneidade das séries e o de Shapiro-Wilks para avaliar a normalidade das diferenças. Por fim, também foi verificado o ajuste linear entre as séries, empregando-se a análise de regressão.

5.3 Resultados e Discussão

Os dados obtidos durante a experimentação foram sumarizados em escala quinquidial, tomando por referência o dia intermediário de cada período, e são apresentados na Tabela 5.3. A última linha apresenta a estimativa da demanda hídrica de cada lisímetro, considerando a evapotranspiração de referência média e o coeficiente de cultura representativo do intervalo de cinco dias.

Tabela 5.3 –Evapotranspiração de referência (ET_o), chuva acumulada em 5 dias (P_{5d}), irrigação (IRR) e coeficientes de cultura (Kc) de diferentes cultivares de soja, com hábitos de crescimento indeterminado (BMX Potencia e BRS 284) e determinado (BRS 317) obtidos em dois conjuntos lisimétricos (CL1 e CL2) localizados em Dourados, MS, na escala quinquidial, durante a safra 2014/2015

Data	DAE	ET _o (mm)	P _{5d} (mm)	n	IRR (mm)	n	Kc (CL1)			Kc (CL2)		
							BMX POT	BRS 284	BRS 317	BMX POT	BRS 284	BRS 317
24/10/2014	-5	4,37	38,40	2	22	1	0,61	0,60	0,56	0,52	0,54	0,49
29/10/2014	0	5,12	36,20	2	0	-	0,59	0,60	0,53	0,59	0,58	0,60
03/11/2014	5	4,14	9,60	2	0	-	0,73	0,69	0,72	0,74	0,71	0,73
08/11/2014	10	4,37	36,20	2	0	-	0,92	0,78	0,91	0,95	1,02	1,17
13/11/2014	15	4,84	28,80	2	0	-	0,88	0,76	0,86	0,92	1,04	1,14
18/11/2014	20	5,42	0,00	-	24	1	1,17	1,01	1,11	1,04	1,06	1,18
23/11/2014	25	3,77	96,60	4	20	1	1,26	1,16	1,26	1,28	1,30	1,31
28/11/2014	30	3,85	6,40	1	0	-	1,38	1,48	1,54	1,34	1,36	1,38
03/12/2014	35	3,33	13,00	2	0	-	1,39	1,55	1,57	1,40	1,38	1,50
08/12/2014	40	5,18	22,80	4	0	-	1,41	1,68	1,68	1,31	1,41	1,42
13/12/2014	45	4,62	28,80	3	0	-	1,40	1,62	1,59	1,42	1,58	1,62
18/12/2014	50	5,03	18,40	2	0	-	1,43	1,73	1,73	1,58	1,45	1,50
23/12/2014	55	3,78	30,20	3	0	-	1,50	1,70	1,83	1,60	1,55	1,62
28/12/2014	60	5,73	5,00	2	28	1	1,60	1,74	1,75	1,46	1,65	1,51
02/01/2015	65	5,22	5,80	3	0	-	1,64	1,69	1,68	1,47	1,52	1,52
07/01/2015	70	5,59	0,00	-	28	1	1,65	1,39	1,61	1,60	1,50	1,57
12/01/2015	75	5,25	8,60	3	63	2	1,69	1,41	1,64	1,67	1,51	1,66
17/01/2015	80	6,15	0,00	-	26	1	1,73	1,42	1,67	1,73	1,52	1,75
22/01/2015	85	5,11	12,40	2	26	1	1,63	1,35	1,66	1,71	1,44	1,71
27/01/2015	90	3,03	42,20	3	20	1	1,52	1,27	1,53	1,48	1,34	1,61
01/02/2015	95	5,25	59,20	4	0	-	1,42	1,18	1,41	1,25	1,25	1,52
06/02/2015	100	5,63	7,80	2	0	-	1,20	0,90	1,11	0,89	0,60	0,80
11/02/2015	105	5,23	30,80	1	0	-	0,56	0,40	0,46	0,53	0,39	0,69
16/02/2015	110	3,43	53,40	5	0	-	0,57	0,56	0,57	0,48	0,61	0,64
<i>Demanda hídrica (mm)*</i>		545	552	52	235	9	702	669	725	680	661	718

Data – dia intermediário da série de cinco dias; DAE – dias após a emergência; n – número de eventos; CL1 – coeficientes de cultura para o primeiro conjunto lisimétrico; CL2 - coeficientes de cultura para o segundo conjunto lisimétrico. * Demanda hídrica – equivale aos volumes totais acumulados pelas variáveis ao longo do ciclo e à estimativa da demanda hídrica no caso de cada cultivar.

As séries de dados foram comparadas graficamente, tomando-se por base as cultivares utilizadas (Figura 5.4 e Figura 5.5) e os conjuntos lisimétricos de origem (Figura 5.6). A análise gráfica permite uma visão geral acerca da variabilidade e relacionamento dos dados nas diferentes comparações propostas, auxiliando na interpretação dos resultados.

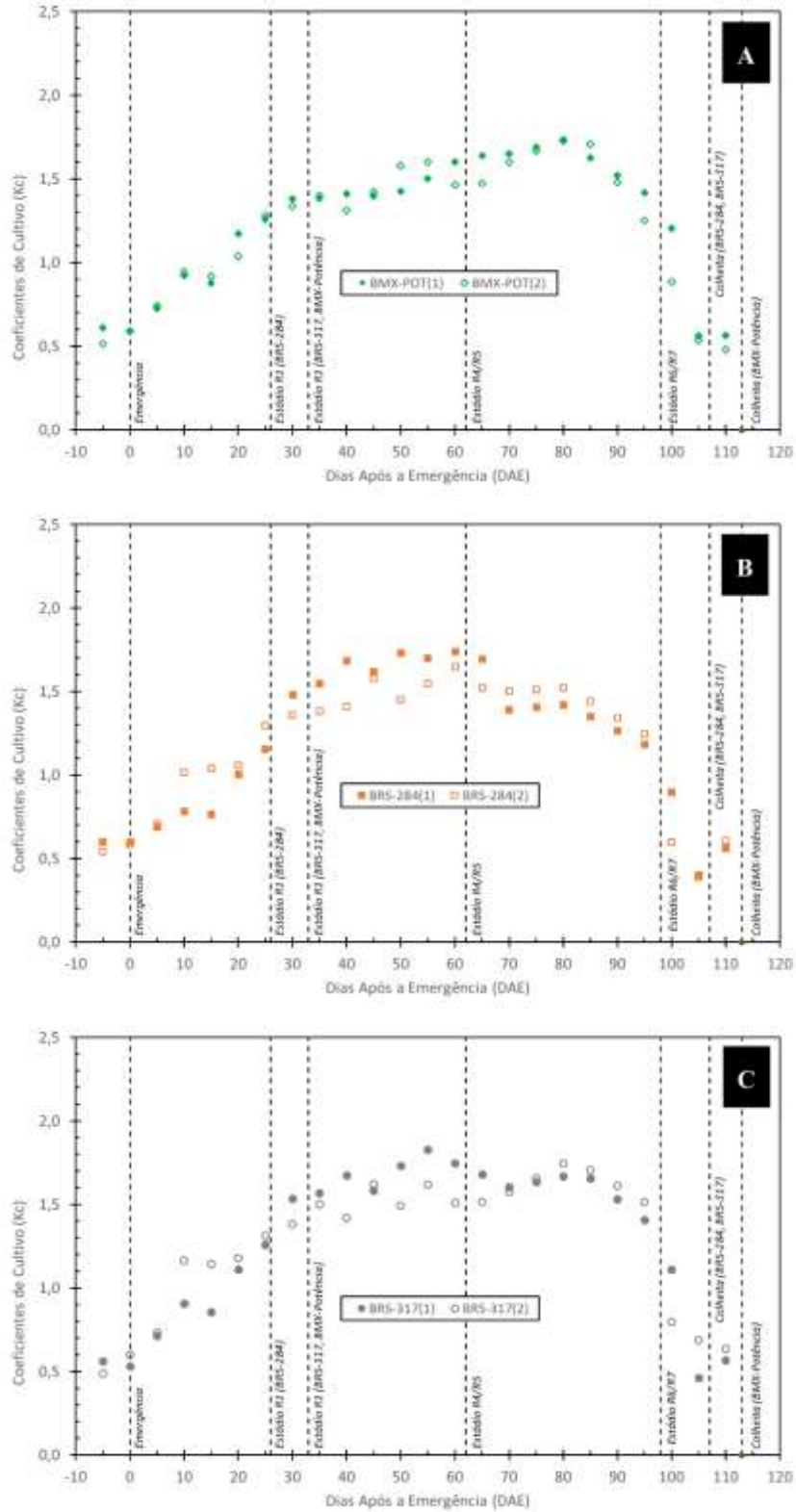


Figura 5.4 – Coeficientes de cultura (Kc) da cultura da soja agrupados de acordo com as cultivares BMX Potência (A), BRS 284 (B) e BRS 317 (C), obtidos em dois conjuntos lisimétricos distintos (1 ou 2) em Dourados, MS, na safra 2014/2015

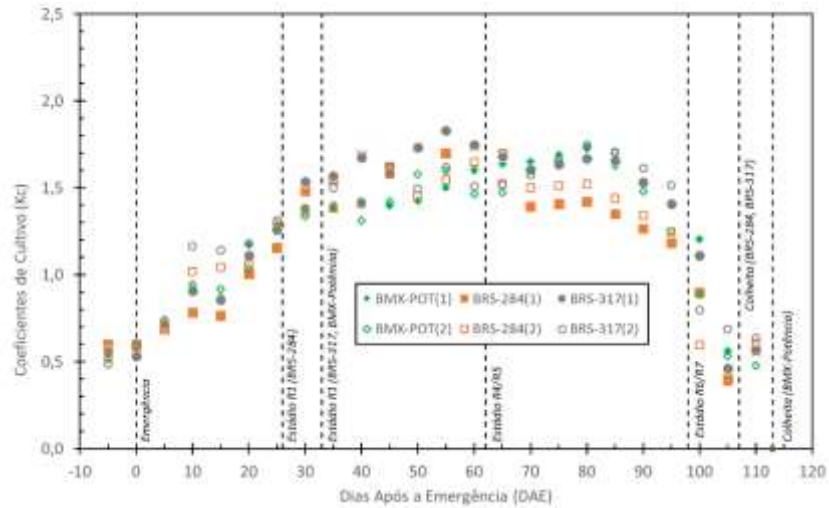


Figura 5.5 – Coeficientes de cultura (Kc) da cultura da soja para três cultivares obtidos em dois conjuntos lisimétricos (1 ou 2) em Dourados, MS, na safra 2014/2015

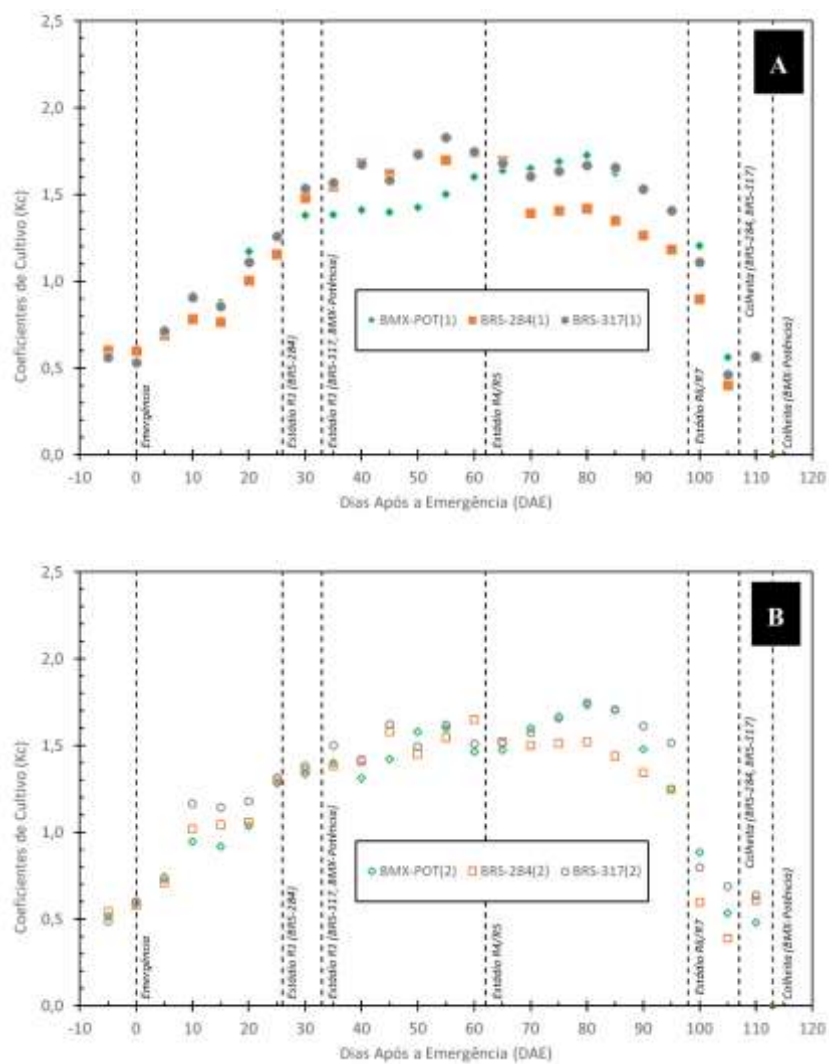


Figura 5.6 - Coeficientes de cultura (Kc) da cultura da soja agrupados de acordo com conjunto lisimétrico de origem. Em (A) agrupou-se os dados referentes ao conjunto lisimétrico 1 (2,1 m²) e em (B) os dados referentes ao conjunto lisimétrico 2 (7,2 m²)

A primeira comparação estabelecida entre os valores de Kc considerou os mesmos cultivares, buscando avaliar se os dados obtidos nos diferentes conjuntos lisimétricos poderiam ser tomados como equivalentes (Tabela 5.4). Todas as cultivares foram altamente correlacionadas, com índices de correlação superiores a 0,93. Após avaliar a normalidade das diferenças e homogeneidade da variância, o teste t pareado, considerando-se o nível de 95% de confiança, por sua vez, não permitiu rejeitar a hipótese de igualdade entre médias em nenhuma das comparações. Sendo assim, admite-se que as séries são equivalentes, apesar do ajuste linear indicar uma tendência sistemática do primeiro conjunto lisimétrico (CL1) superestimar os valores de CL2 em cerca de 3%.

Tabela 5.4 - Comparação entre as séries de coeficiente de cultura (Kc) da cultura da soja, obtidas em dois conjuntos lisimétricos diferentes, agrupadas por cultivar, durante a safra 2014/2015, em Dourados, MS

Comparação	r	Ajuste linear ¹		Valor p		
		Equação	r ²	SW	VAR	t
BMX Potência (1) vs. (2)	0,9696	0,9722x	0,9940	0,5156	0,8701	0,0736
BRS 284 (1) vs. (2)	0,9343	0,9720x	0,9857	0,5960	0,6555	0,6408
BRS 317 (1) vs. (2)	0,9359	0,9704x	0,9863	0,2589	0,5174	0,6767

r – coeficiente de correlação; r² - coeficiente de determinação; SW – teste de normalidade de Shapiro-Wilks aplicado às diferenças; VAR – teste de homogeneidade de variâncias; t – teste t pareado.

¹OBS: Admitindo-se os dados do primeiro conjunto lisimétrico como variável independente (x) e mesma origem (0).

A comparação seguinte avaliou o desempenho da série média de cada conjunto lisimétrico (CL1 e CL2) desconsiderando-se os cultivares. Os resultados são apresentados na Tabela 5.5, na qual é possível notar que, apesar das altas correlações obtidas, o teste t pareado com nível de confiança de 95% não permitiu aceitar a hipótese de igualdade de médias quando estabelecida a comparação com a cultivar BRS 284 no CL1 e com a cultivar BRS 317 nos dois conjuntos. Adicionalmente, os parâmetros do ajuste linear entre as observações permitiram evidenciar que, nos dois conjuntos lisimétricos, a cultivar BRS 317 tenderia a ser subestimada pela série média. Esses resultados evidenciam que os cultivares têm comportamentos distintos, não sendo possível, portanto, generalizar os coeficientes de cultura para a cultura da soja como um todo.

Tabela 5.5 - Comparação entre as séries de coeficiente de cultura (Kc) da cultura da soja, obtidas em dois conjuntos lisimétricos diferentes, considerando-se a série média de cada conjunto lisimétrico (CL1 e CL2), durante a safra 2014/2015, em Dourados, MS

Comparação	r	Ajuste linear ¹		Valor p		
		Equação	r ²	SW	VAR	t
<i>CL1 vs.</i>						
BMX Potência	0,9699	1,0020x	0,9940	0,0169	0,7567	0,9430
BRS 284	0,9750	1,0302x	0,9942	0,0591	0,8842	0,0211
BRS 317	0,9981	0,9583x	0,9994	0,9936	0,6887	0,0000
<i>CL2 vs.</i>						
BMX Potência	0,9557	0,9787x	0,9920	0,0022	0,9893	0,3279
BRS 284	0,9119	1,0005x	0,9810	0,1189	0,6586	0,4764
BRS 317	0,9625	0,9334x	0,9918	0,6154	0,4863	0,0167

r – coeficiente de correlação; r² - coeficiente de determinação; SW – teste de normalidade de Shapiro-Wilks aplicado às diferenças; VAR – teste de homogeneidade de variâncias; t – teste t pareado.

¹OBS: Admitindo-se os dados do primeiro conjunto lisimétrico como variável independente (x) e mesma origem (0).

Tendo-se estabelecido anteriormente que as séries de Kc poderiam ser representadas pela série média das cultivares, sem considerar o conjunto lisimétrico de origem, uma nova comparação buscou evidenciar o relacionamento entre genótipos. A Figura 5.7 apresenta a correlação e o resultado do teste t entre cultivares.

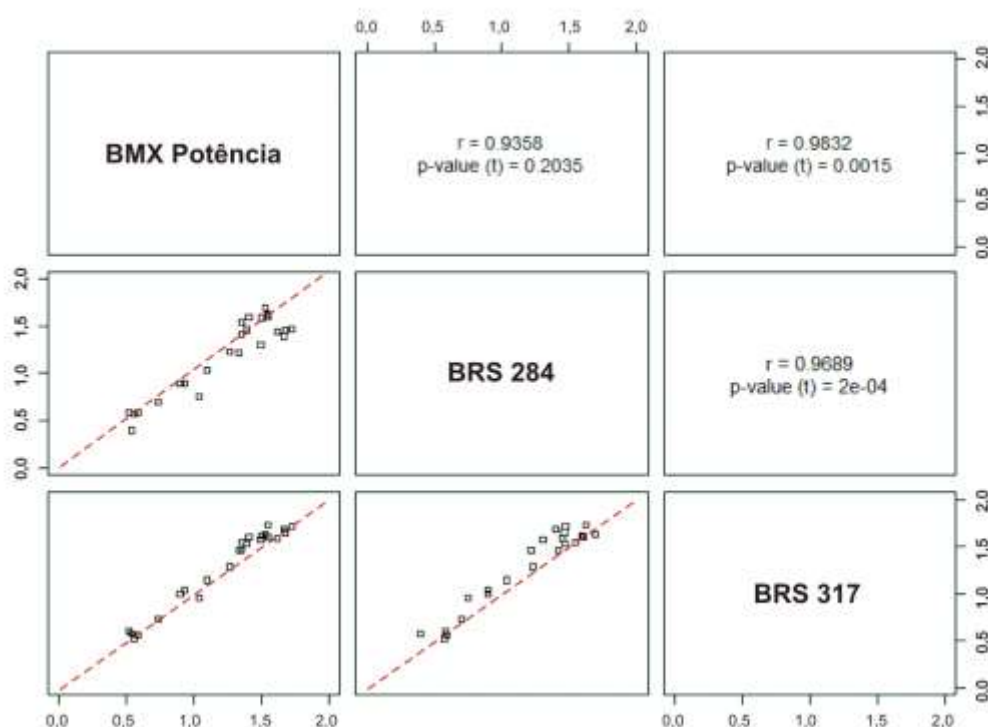


Figura 5.7 - Relação entre os valores de Kc da cultura da soja, considerando-se as diferentes cultivares estudadas, com os respectivos coeficientes de correlação e os valores probabilísticos obtidos no teste t pareado, durante a safra 2014/2015, em Dourados, MS

Como pode ser observado na Figura 5.7, as cultivares BMX Potência e BRS 284, de hábito de crescimento indeterminado, se relacionaram bem, enquanto ambas destoaram da cultivar BRS 317, com hábito de crescimento determinado. Presume-se, portanto, que o fator influente para associação ou diferenciação das séries de Kc seja justamente o hábito de crescimento das cultivares.

Ao se agrupar as séries de Kc por hábito de crescimento, novos testes evidenciaram a diferença dos Kc entre as cultivares com hábito de crescimento diferentes (Tabela 5.6). Complementarmente, o ajuste linear entre as séries de Kc das cultivares com distintos hábitos de crescimento demonstrou que a cultivar de crescimento determinado superou os valores de Kc das cultivares de hábito indeterminado, em cerca de 6%.

Tabela 5.6 - Comparação entre as séries de coeficiente de cultura (Kc) da cultura da soja, considerando-se os hábitos de crescimento determinado (DET) e indeterminado (IND), obtidos na safra 2014/2015, em Dourados, MS

Comparação	r	Ajuste linear ¹		Valor p		
		Equação	r ²	SW	VAR	t
DET vs. IND.	0,9921	1,0633	0,9985	0,9888	0,7677	0,0000

r – coeficiente de correlação; r² - coeficiente de determinação; SW – teste de normalidade de Shapiro-Wilks aplicado às diferenças; VAR – teste de homogeneidade de variâncias; t – teste t pareado.

¹OBS: Admitindo-se os dados do primeiro conjunto lisimétrico como variável independente (x) e mesma origem.

Os resultados obtidos levaram à proposição de coeficientes de cultura da soja específicos para cada hábito de crescimento (Figura 5.8), aos quais foi ajustada uma curva padrão, assim como apresentado em Allen et al. (1998). Devem-se destacar os altos valores de Kc alcançados neste estudo. As cultivares de hábito determinado e indeterminado atingiram, respectivamente, Kc iguais a 1,58 e 1,49 na fase reprodutiva do cultivo. De fato, muitas publicações veiculadas pela FAO, tais como o trabalho de Doorenbos e Pruitt (1997), estabelecem valores de Kc bem mais modestos para a cultura da soja, com um máximo de 1,15 na fase reprodutiva. Por outro lado, os coeficientes obtidos concordam com aqueles apresentados por Berlato et al. (1986) e os utilizados no ZARC da soja no Brasil (FARIAS et al., 2001, 2009), os quais são apresentados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Fases fenológicas das cultivares de soja com ciclo de 110 dias e respectivos coeficientes de cultura (Kc) utilizados no Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) dessa cultura no Brasil.

Fase	Crescimento Inicial	Desenvolvimento Vegetativo	Reprodutiva	Maturação
Estádios	S-V2	V2-R1	R1-R5/R6	R6-R8
Duração	10	35	35	30
Kc	0,56	1,21	1,50	0,90

Fonte: Farias et al (2001, 2009). Os estádios de desenvolvimento da soja proposta por Fehr e Caviness (1977), com detalhamento proposto por Ritchie et al. (1997), são descritos em Farias et al. (2009).

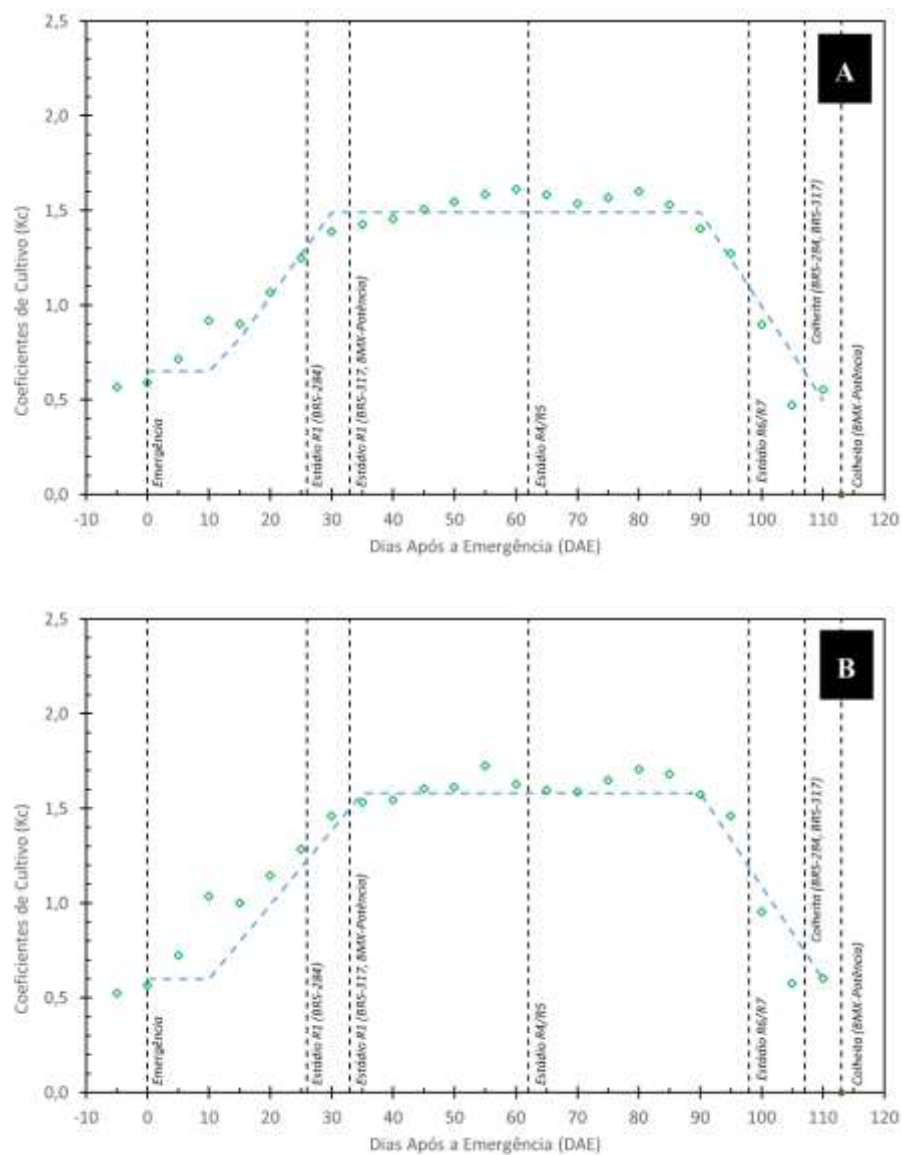


Figura 5.8 – Coeficientes de cultura (Kc) da cultura da soja, com ajuste de curva padrão em função dos hábitos de crescimento indeterminado (A) e determinado (B), considerando-se os dados obtidos na safra 2014/2015, em Dourados, MS

Embora os resultados obtidos neste estudo estejam coerentes com os valores máximos utilizados no ZARC da soja, deve-se ressaltar que o zoneamento não faz distinção entre genótipos com diferentes hábitos de crescimento. Além disso, as fases consideradas foram bastante divergentes, merecendo especial destaque a maior duração do período reprodutivo, justamente a fase mais crítica do cultivo (Tabela 5.8 e Figura 5.9).

As cultivares selecionadas para o estudo apresentaram grande precocidade, sendo que a BRS 284 iniciou o estágio reprodutivo (R1) aos 26 dias após emergência (DAE). BMX Potência e BRS 317, por sua vez, iniciaram o estágio R1 aos 33 DAE. Apesar da diferença inicial, os três materiais encerraram a fase crítica praticamente juntos, aos 90 DAE, quando todas as cultivares estavam com grão cheio (R6). Desse modo, considerando-se a média das cultivares de hábito indeterminado, a duração da fase crítica foi de 60 dias, ao passo que a cultivar de hábito de crescimento determinado teve essa fase com duração de 55 dias.

Tabela 5.8 – Evapotranspiração de referência (ET_o), chuva acumulada em 10 dias (P_{10d}) e coeficientes de cultura (Kc) da cultura da soja, na escala decencial, obtidos em dois conjuntos lisimétricos (CL1 e CL2) localizados em Dourados, MS, durante a safra 2014/2015, para cultivares de hábito de crescimento indeterminado (IND) e determinado (DET), e os valores correspondentes preconizados para a cultura pelo ZARC e pela FAO

DAE	ET _o (mm)	P _{10d} (mm)	Kc da cultura da soja			
			IND	DET	ZARC	FAO
0	4,54	45,80	0,65	0,60	0,56	0,40
10	4,45	65,00	0,65	0,60	0,56	0,40
20	4,68	96,60	1,07	0,96	0,89	0,60
30	3,65	19,40	1,49	1,27	1,21	0,80
40	4,38	51,60	1,49	1,58	1,50	0,98
50	4,47	48,60	1,49	1,58	1,50	1,15
60	4,91	10,80	1,49	1,58	1,50	1,15
70	5,35	8,60	1,49	1,58	1,50	1,15
80	5,50	12,40	1,49	1,58	1,50	1,15
90	4,46	101,40	1,49	1,58	1,20	0,93
100	5,37	38,60	1,00	1,09	0,90	0,71
110	4,33	53,40	0,50	0,60	0,60	0,50
Demanda hídrica (mm)*	561	552	671	689	633	470

DAE – dias após a emergência; ZARC - Zoneamento Agrícola de Risco Climático do Brasil; FAO - Doorenbos e Pruitt (1997); * Demanda Hídrica – equivale à estimativa dos volumes totais acumulados pelas variáveis ao longo do ciclo.

Buscando-se comparar os valores dos Kc da cultura da soja obtidos neste estudo com aqueles preconizados pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) e pela FAO, foi elaborada a Tabela 5.8, utilizando uma escala decencial, tal como utilizado no ZARC (BRASIL, 2012). Os mesmos dados podem ser comparados visualmente na Figura 5.9.

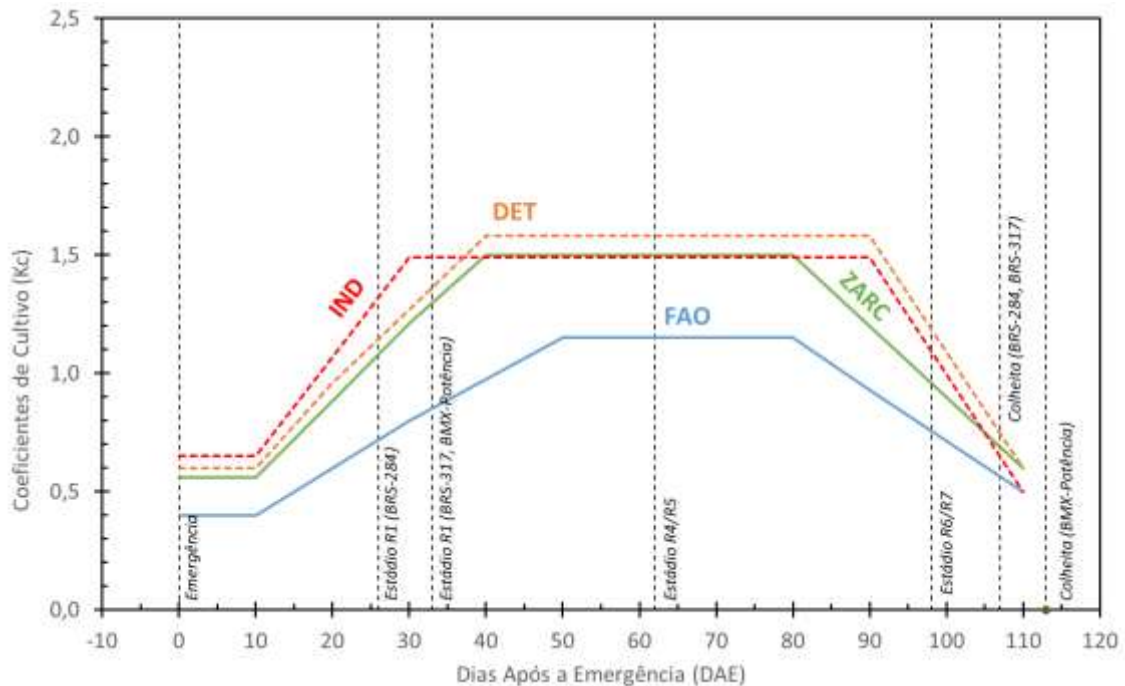


Figura 5.9 – Coeficientes de cultura (Kc) da cultura da soja, na escala decenal, considerando-se cultivares de hábito de crescimento determinado (DET) e indeterminado (IND), e os valores recomendados pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) do Brasil e pela FAO (Doorenbos e Pruitt, 1997)

Na Tabela 5.8 é possível observar diferentes estimativas da demanda hídrica da cultura da soja, as quais foram calculadas com base nos coeficientes de cultura recomendados por cada fonte. O emprego dos Kc recomendados por Doorenbos e Pruitt (1997) equivaleria a pressupor uma demanda hídrica de 470 mm para a cultura da soja de 110 dias de ciclo. Esse valor está bem abaixo da faixa sugerida por Farias et al. (2009) que é de 650 a 700 mm, sendo considerado pouco plausível. Mesmo quando utilizando os Kc ajustados com base nos valores preconizados pelo ZARC, a demanda hídrica ficou abaixo da faixa sugerida (633 mm). Com os coeficientes estimados por este estudo, todavia, a demanda hídrica foi coerente e atingiu 671 e 689 mm, respectivamente, para cultivares de hábito de crescimento indeterminado e determinado. Essa foi uma boa indicação da coerência dos dados obtidos, encorajando sua recomendação para estudos de risco climático.

Mesmo com a coerência dos dados de Kc em relação à demanda hídrica total da cultura da soja, poderiam persistir dúvidas quanto à superestimativa das leituras, em função dos altos valores alcançados. Uma possível explicação para valores de Kc relativamente altos na cultura da soja seria o aumento da evapotranspiração da cultura decorrente do grande número de eventos de chuva ou irrigação durante o ciclo. Esse tipo de efeito seria possível de ser contabilizado caso fosse empregado o Kc duplo inicialmente preconizado por Allen et al.

(1998) e mais recentemente recomendado por Allen et al. (2005) e Martins et al. (2013). Durante o ciclo da soja foram constatados 52 dias com chuva e 9 dias com irrigação. Esses eventos proporcionam água livre na superfície do solo e das plantas, potencializando, sobretudo, o processo de evaporação. Essas são condições peculiares, mas são de fato as mesmas condições experimentadas pelos cultivos na condição real de campo. A Figura 5.10 sumariza a disponibilidade hídrica, representada pelos eventos de chuva e irrigação, durante o ciclo da cultura da soja, em Dourados, MS, durante a safra 2014/2015.

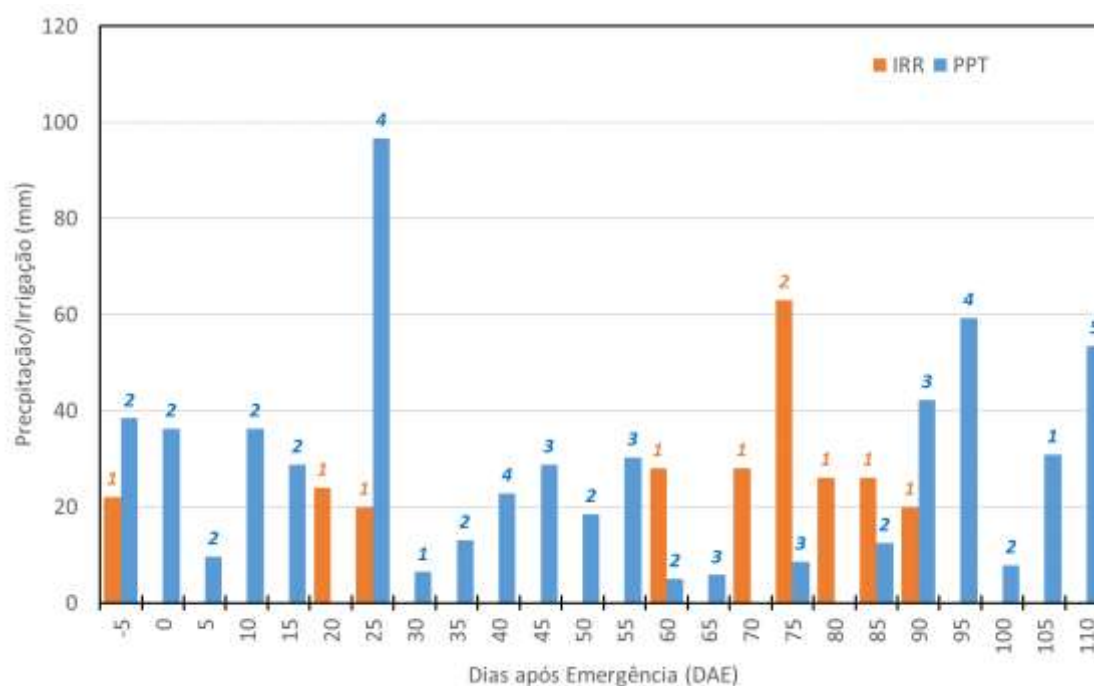


Figura 5.10 – Eventos de chuva (PPT) e de irrigação (IRR), com seus respectivos valores em mm, na escala quinquidial, durante o ciclo da cultura da soja, safra 2014/2015, em Dourados, MS. Os valores apresentados na extremidade das barras informam o número de eventos ocorridos durante cada quinquídio

Análise complementar

Buscando-se promover um melhor entendimento da variação dos coeficientes de cultura ao longo do ciclo da cultura da soja, foram avaliadas algumas variáveis biométricas, ligadas à produção de biomassa da cultura. A Figura 5.11 apresenta a variação do índice de área foliar (IAF), podendo ser observada uma falha na sequência de amostragens interrompida em função do ataque da lagarta *Chrysodeixis includens* (*Pseudoplusia includens*, falsa-medideira). A redução de área foliar foi diferenciada de acordo com a cultivar, ficando entre 3 e 4 % no caso da BMX-Potência, ao redor de 8% no caso da BRS 317 e entre 12 a 15% no

caso da BRS 284. Os danos foram considerados de pequena proporção e de baixo potencial de impacto na produtividade da cultura.

Embora tenha havido uma falha na série de dados apresentada, é possível se estimar o pico de IAF por volta dos 60 DAE, equivalendo à transição entre os estádios R4 e R5 (enchimento de grãos). O acúmulo de biomassa vegetativa levou ao incremento gradual dos coeficientes de cultura com pico na fase crítica. Mesmo com a redução da biomassa vegetativa, os valores de Kc permaneceram elevados nessa fase pela maior demanda hídrica causada pelo início do enchimento dos grãos. Somente no final da fase crítica, no período próximo à maturação, é que os valores de Kc começaram a decrescer.

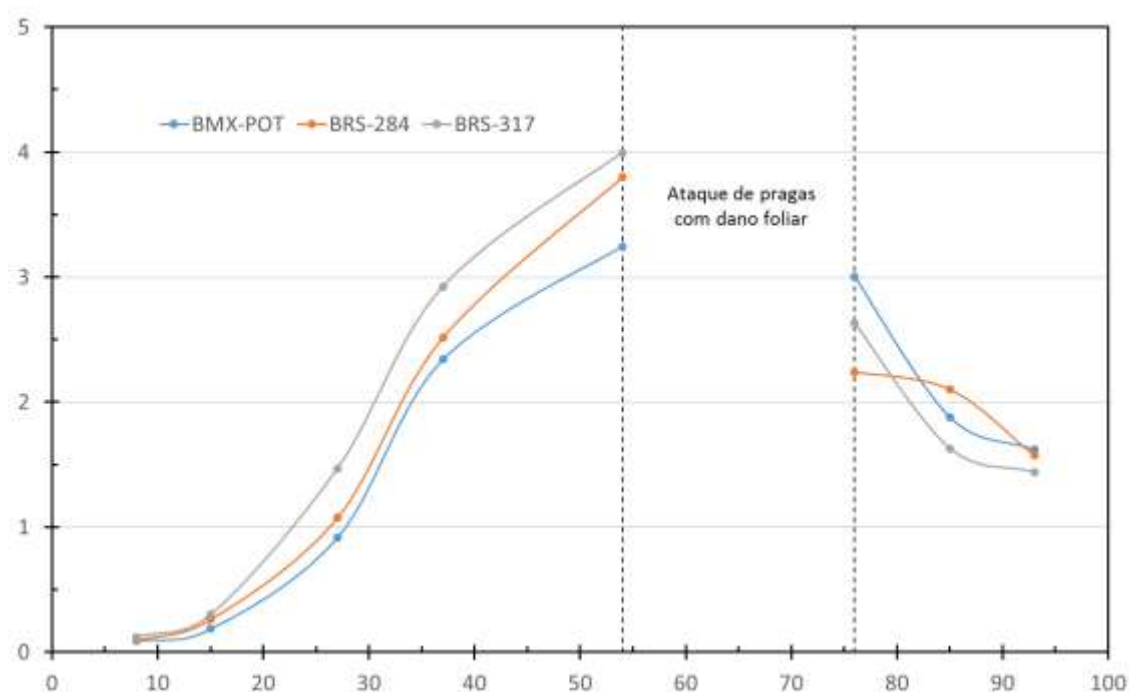


Figura 5.11 – Índices de área foliar (IAF) da cultura soja obtidos em Dourados, MS, na safra 2014/2015, para as cultivares: Brasmax Potência RR (BMX-POT); BRS 284; e BRS 317

Outra variável importante para auxiliar no entendimento da variação dos Kc é a produtividade de grãos. De fato, toda análise realizada até o momento presumiu produtividades equivalentes nos dois conjuntos lisimétricos utilizados. Essa premissa foi adotada pela impossibilidade de se observar diferenças significativas entre as produtividades obtidas em cada conjunto lisimétrico. Todavia, a comparação é válida como procedimento complementar às análises realizadas anteriormente e pode suscitar hipóteses a serem consideradas nas pesquisas futuras. A Tabela 5.9 apresenta as variáveis biométricas obtidas na ocasião da colheita da soja.

Tabela 5.9 – Variáveis biométricas da cultura da soja obtidas em Dourados, MS, na safra 2014/2015, admitindo-se plena satisfação hídrica para a cultura em ambos os conjuntos lisimétricos (CL1 e CL2)

Condição	Cultivar	NVP	NGV	M100 (g)	Altura (cm)	Produtividade (kg ha ⁻¹)
Sequeiro	BMX Potência	41,8	2,0	11,8	113,4	2728
	BRS 284	35,4	2,2	8,4	116,4	2262
	BRS 317	44,2	1,6	11,0	90,2	2659
Irrigado (CL1)	BMX Potência	64,1	1,9	15,0	119,3	5112
	BRS 284	67,0	1,8	15,9	112,3	6128
	BRS 317	71,0	1,3	13,9	109,0	4335
Irrigado (CL2)	BMX Potência	71,0	1,8	16,0	113,0	5740
	BRS 284	64,0	1,9	16,8	123,3	6648
	BRS 317	75,0	1,3	13,4	108,6	4592

NVP – Número de vagens por planta; NGV – Número de grãos por vagem; M100 – massa de cem grãos (13% umidade)

Considerando-se a produção de grãos avaliada nos lisímetros, o CL2 obteve produtividades 12, 8 e 6% maiores do que CL1, respectivamente para as cultivares BMX Potência, BRS 284 e BRS 317. Na média, CL2 produziu 9% a mais do que CL1. Essa informação se torna mais importante se considerado o fato de que o CL1 apresentou um consumo hídrico 3% maior do que no CL2, o que apesar de desprezível do ponto de vista prático suscita a ideia de superestimativa em lisímetros de menor área, presumindo que mediante uma mesma produtividade o consumo hídrico de CL1 poderia ser ainda maior. Contudo, essa ideia deverá ser futuramente avaliada já que o presente estudo não permite a diferenciação dos valores em termos significativos.

Informação relevante é também obtida da análise da produtividade de grãos na área de sequeiro. Ao observar a Figura 5.10 é possível notar um período de déficit de chuvas mais intenso entre 70 e 90 DAE. A água suplementada por irrigação, sobretudo nesse período, foi fundamental para manter a produção na área dos lisímetros, enquanto na área de sequeiro houve quebras de produtividade da ordem de 50, 65 e 40%, respectivamente, para as cultivares BMX Potência, BRS 284 e BRS 317. Isso é uma clara evidência da susceptibilidade da cultura da soja, em seu período crítico, ao déficit hídrico, mesmo que moderado. Outra observação interessante é que a cultivar mais produtiva foi ocasionalmente a mais susceptível aos efeitos do estresse hídrico, fato que também foi constatado por Battisti e Sentelhas (2015) ao avaliar a sensibilidade de 101 cultivares de soja cultivadas no Brasil.

5.4 Conclusões

Os coeficientes de cultura (Kc) da soja, obtidos por lisimetria, se mostraram indiferentes ao tamanho dos lisímetros utilizados, mas demonstraram diferenças significativas quando considerado o hábito de crescimento dos cultivares.

Ao utilizar os coeficientes de cultura obtidos a partir de genótipos com hábito de crescimento indeterminado (IND) foram obtidos valores de Kc elevados, mas condizentes com os valores utilizados pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) da cultura da soja no Brasil. Por outro lado, houve divergência quanto à duração das fases, em especial no que tange ao período crítico da cultura. Adicionalmente, deve ser considerado que tanto os parâmetros tomados do ZARC quanto da FAO não fazem distinção entre hábitos de crescimento.

Referências

ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. **Lysimeters**. Rome: FAO, 1982. 68p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 39).

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (Irrigation and drainage paper, 56).

ALLEN, R.; PEREIRA, L.; SMITH, M.; RAES, D.; WRIGHT, J. FAO-56 Dual Crop Coefficient Method for Estimating Evaporation from Soil and Application Extensions. Por extenso **J. Irrig. Drain Eng.**, International, v. 131, n. 1, p. 2-13, 2005.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C. Drought tolerance of Brazilian soybean cultivars simulated by a simple agrometeorological yield model. **Experimental Agriculture**, International, v. 51, p. 285-298, 2015.

BERLATO, M.A.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima da soja relações com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evaporação de tanque "classe A" e radiação solar global. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.22, n.2, p.243-259, 1986.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Zoneamento agrícola de risco climático**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola/>>. Acesso em: 12 ago. 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. Portaria nº 169/2009, de 04 de agosto de 2009. Aprova o Zoneamento Agrícola para a cultura de soja no Estado de Mato Grosso do Sul, ano-safra 2009/2010. **Diário Oficial da União**, Brasília, 05 ago. 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. Portaria nº 277/2011, de 28 de julho de 2011. Aprova o Zoneamento Agrícola para a cultura de soja no Estado de Mato Grosso do Sul, ano-safra 2009/2010. **Diário Oficial da União, Brasília**, 29 jul. 2011.

CÂMARA, G.M.S. **Fenologia da soja**. Piracicaba, SP: POTAFOS, 1998. 6p. (Informações Agronômicas).

CAMPECHE, L.F.S.M. **Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração da cultura da lima ácida “Tahiti” (Citrus latifolia Tan.)**. 2002. 67p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

DOORENBOS, J; PRUITT W.O. **Necessidade hídrica das culturas**. Campina Grande, UFPB, 1997. 204p.

FAGUNDES, M.B.B.; DIAS, D.T.; PEREIRA, M.W.G.; FIGUEIREDO NETO, L.F.; FRAINER, D.M. Impactos da produção de soja na economia de Mato Grosso do Sul. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 23, n. 4, p. 111-122, 2014.

FAMASUL. **Sistema de Informação Geográfica do Agronegócio – SIGA**: Consulta Tabular aos dados das Safras: Mato Grosso do Sul - abril de 2015. [Rio de Janeiro, 2015?]. Disponível em: < <http://www.sigaweb.org/ms/sistema/consulta.php>>. Acesso em: 28 abr. 2015.

FARIA, R.T.; DE SM CAMPECHE, F.; CHIBANA, E.Y. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, 237-242, 2006.

FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E.D.; ALMEIDA, I.R.; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001.

FARIAS, J.R.B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Soja. In: MONTEIRO, J.E.B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos**: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Instituto Nacional de meteorologia, 2009. cap. 8, p. 133-149.

FIETZ, C.R.; CECCON, G.; COMUNELLO, E.; FLUMIGNAN, D.L. **Época de semeadura do milho safrinha, com base na deficiência hídrica e no risco de geadas, na região sul de Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013. 4p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Circular Técnica, 24).

FIETZ, R.C.; FISCH, G.F. **O Clima da Região de Dourados, MS**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 32p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 92).

FLUMIGNAM, D.L. **Lisímetros de pesagem direta para o estudo do consumo hídrico do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.)** 2011. 200p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. [Rio de Janeiro, 2009?]. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/brasil_2006/Brasil_censoagro2006.pdf>. Acesso em: 13 set. 2015.

IBGE. **Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA**: Banco de Dados Agregados: Dados de previsão de safra: área colhida - hectare - unidade da federação: Mato Grosso do Sul - julho de 2014. [Rio de Janeiro, 2014?]. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp?t=3&z=t&o...>>. Acesso em: 03 jul. 2014.

MARTINS, J.D.; RODRIGUES G.C.; PAREDES P.; CARLESSO R.; OLIVEIRA Z.B.; KNIES, AE.; PETRY M.T.; PEREIRA, L.S. Dual crop coefficients for maize in southern Brazil: model testing for sprinkler and drip irrigation and mulched soil. **Biosystems Engineering**. International, n. 115, p. 291 – 310, 2013.

MELO, C.L.P. **Importância na escolha de cultivares de soja: Por que diversificá-las?**. Disponível: <<http://www.agrosoft.org.br/agropag/216180.htm>>. Acesso em: 20 ago. 2012.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 31. **Relatos por Estado sobre o comportamento da cultura de soja na safra 2010/2011**: Mato Grosso do Sul. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 325p (Série Documentos, 324).

RIBEIRO, C.; ROCHER, J. **Tecnologia argentina muda a safra no Brasil**. Gazeta do Povo, Curitiba, 07 fev. 2012, Caderno Agronegócio. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/agronegocio/conteudo.phtml?id=1220817>>. Acesso em: 20 ago. 2012.

ROSSETTI, L.A. Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e securidade rural no Brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, (No Especial: Zoneamento Agrícola), p. 386-399, 2001.

SCHMIDT, C.D.S., CARVALHO, P.F.A., FONSECA, G.J.J.; MELO, V.L. Design, installation and calibration of a weighing lysimeter for crop evapotranspiration studies. **Water Resources and Irrigation Management**, International, v. 2, n. 2, p.77-85, 2013.

6 ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO PARA A CULTURA DA SOJA EM MATO GROSSO DO SUL, CONSIDERANDO-SE NOVOS COEFICIENTES DE CULTURA E A AMPLIAÇÃO DA BASE DE DADOS METEOROLÓGICOS

Resumo

O Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) emprega dados climáticos históricos para simular o balanço hídrico de uma cultura, permitindo indicar, com grande margem de segurança, o local e o período mais apropriado para cultivar determinada cultura, nas diferentes regiões brasileiras, além de relacionar as cultivares mais adequadas para cada uma delas. Embora seja de reconhecida importância e de uso já consolidado, ainda são necessários aprimoramentos e ajustes neste método, especialmente no que tange o uso de novas tecnologias e disponibilidade de informações para novas regiões. Para a cultura da soja, principal lavoura temporária de Mato Grosso do Sul (MS), um exemplo de alteração no sistema produtivo é o atual predomínio da semeadura de cultivares com hábito de crescimento indeterminado em detrimento dos cultivares de hábito determinado, amplamente utilizados no passado recente. Outros efeitos que poderiam impactar o ZARC seriam a definição de uma capacidade de água disponível (CAD) mais coerente para os solos predominantes na região, além da atualização e ampliação da base de dados climáticos utilizada. Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar o impacto do uso de cultivares de hábito de crescimento indeterminado e da ampliação da base de dados climáticos, de 53 para 190 locais, no ZARC da cultura da soja em MS. Para tanto, foram realizadas 12 simulações, buscando-se comparar três datas de semeadura, duas bases de dados (corrente e atualizada) e dois conjuntos de coeficientes de cultura, K_c (corrente e proposto). As simulações foram comparadas considerando-se o Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA), o qual é representado pela evapotranspiração relativa da cultura. Os resultados obtidos indicaram que a atualização dos K_c e a expansão da base de dados climáticos teve grande efeito ZARC, sobretudo na região Sul de MS, com uma diminuição do risco climático para a cultura da soja nessas áreas, independentemente da época de semeadura. Outro aspecto a ser considerado é que a antecipação do cultivo implicou em aumento das restrições hídricas e, assim, do risco climático. Com a limitada base de dados climáticos empregada até então o sistema *Sarra* proporcionava resultados que indicavam o aumento do risco climático com o atraso da semeadura, ao passo que os novos resultados indicam o oposto, independentemente dos valores de K_c empregados. Os ajustes e atualizações propostas para o ZARC em MS estabelecem uma nova realidade para a cultura da soja no estado, já que a metodologia atualmente utilizada não se ajusta ao sistema praticado pelos produtores dessa região, que hoje empregam predominantemente materiais genéticos de hábito indeterminado.

Palavras-Chave: Zoneamento agrícola; Hábito de crescimento da soja; Coeficientes de cultura

Abstract

The Agricultural Climatic Risk Zoning (ZARC) uses historical climatic data to simulate the crop water balance along the cycle to indicate, with large confidence level, the best locations and most appropriate sowing periods for a given crop in different Brazilian regions, also indicating which the most suitable cultivars to each one are. Despite its major importance and current use, this methodology is constantly requiring improvements and adjustments, once growers frequently adopt new technologies and procedures in their cropping system. For soybean crop the major temporary crop in the State of Mato Grosso do Sul (MS), an example of a recent change in the

cropping system is the predominant use of cultivars with indeterminate growth habit in the detriment of determinate cultivars, widely used in the recent past. Other effects that could influence ZARC would be the soil water capacity as well as an update and expansion of the climate database used. Considering that the objective of this study was to assess the effect of the use of cultivars with indeterminate growing habit and the update and expansion of the climate database (from 53 to 190 weather stations) on ZARC for the soybean crop in MS. For that, 12 simulations were performed, comparing three sowing dates, two climate databases (current and updated) and two sets of crop coefficients, K_c (current and proposed). The simulations were compared by using the Water Requirements Satisfaction Index (WRSI), which is based on the relative crop evapotranspiration. The results indicated that the new K_c and the climate database expansion led to substantial changes in the ZARC, mainly in the southern region of MS, with less climatic risk for the soybean crop regardless the sowing date considered. Another important aspect showed by this study is that the sowing anticipation increased the climatic risks for the crop. By using the former climate database, the *Sarra* system was indicating an increasing climatic risk for soybean with the sowing delay. In contrast, the new approaches indicated that such risks increase in the early sowings, regardless the K_c employed. The adjustments and upgrades proposed for ZARC in MS bring a new reality for soybean crop in the state, once the methodology presently used does not represent the system employed by the farmers in this region, who uses predominantly indeterminate soybean cultivars.

Keywords: Agricultural zoning; Soybean growth habit; Crop coefficients

6.1 Introdução

Apesar dos avanços recentes, o estado de Mato Grosso do Sul (MS) ainda pode ser considerado como eminentemente agrícola, com o desempenho de sua economia estando fortemente atrelado ao sucesso da atividade agropecuária. Mesmo com a expansão da produção sucroalcooleira e florestal, a cultura da soja (*Glycine max*) ainda é a principal atividade agrícola praticada no Estado, respondendo por mais da metade da área total destinada às lavouras temporárias (IBGE, 2014). Segundo dados da Federação de Agricultura e Pecuária de Mato Grosso do Sul (FAMASUL, 2015), a cultura chega a ocupar 98% da área cultivada na safra de verão, o que significou 2,12 milhões de hectares em 2013.

O potencial produtivo da cultura da soja em MS é condizente com os valores observados para o Brasil, chegando a superar a média nacional em diversas situações. Na Figura 6.1 é possível notar a redução da produção em alguns anos, o que geralmente decorre de efeitos adversidades climáticas, especialmente a ocorrência de períodos com deficiências hídricas, mais conhecida como “veranico”.

O entendimento dos efeitos do clima na cultura da soja é fundamental para definir estratégias de manejo que visem minimizar os efeitos negativos, levando à estabilidade da produção, sobretudo em termos de produtividade média. Nesse sentido, uma ferramenta de grande

utilidade e importância nas condições brasileiras são os zoneamentos agrícolas de risco climático (ZARC), o qual vem sendo utilizado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil (BRASIL, 2012), desde a década de 90.

O ZARC é um modelo que utiliza dados climáticos históricos para simular como a variabilidade climática ao longo dos anos afeta o desempenho de uma determinada cultura, durante a estação de cultivo, permitindo indicar, com grande margem de segurança, o local e o período mais apropriado para a semeadura nas diferentes regiões brasileiras, além de relacionar as cultivares mais adequadas para cada situação (MITIDIERI; MEDEIROS, 2008; ROSSETTI, 2001).

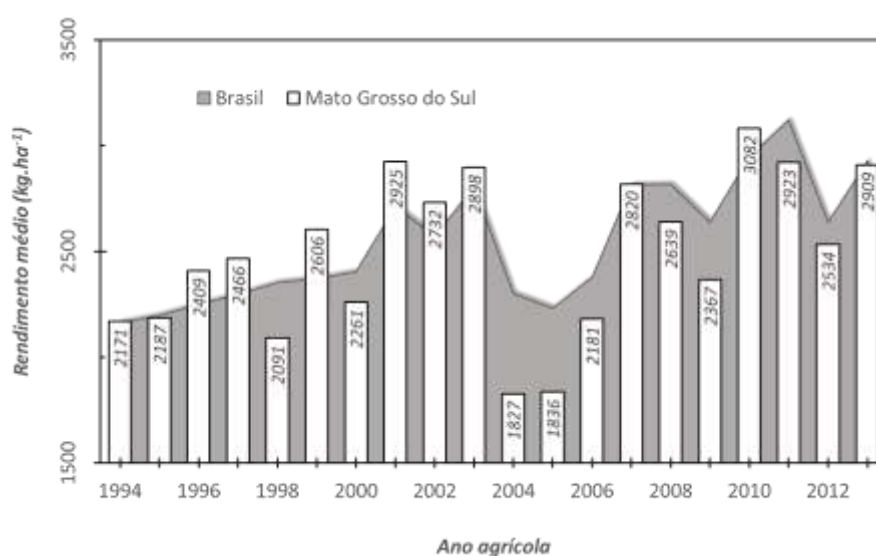


Figura 6.1 - Produtividade média da cultura da soja em Mato Grosso do Sul e no Brasil. Fonte: IBGE (2014)

Embora o ZARC seja de reconhecida importância e de uso já consolidado, ainda são necessários aprimoramentos e ajustes em seus procedimentos, uma vez que novas tecnologias são incorporadas ao sistema produtivo regularmente. Considerando-se especificamente o ZARC para a cultura da soja, uma possível melhoria seria o uso de novos valores de coeficiente de cultura (K_c), mais adequados aos genótipos atualmente empregados pelos produtores, já que a maior parte dos materiais genéticos hoje utilizados possuem hábito de crescimento indeterminado, enquanto para execução do ZARC da cultura da soja leva em consideração K_c referentes às cultivares de hábito determinado (Farias et al.; 2009), os quais foram obtidos do estudo de Berlato et al. (1986). Sendo assim, é muito provável que isso tenha implicações substanciais nos resultados, haja vista que esses valores de K_c foram estabelecidos há quase 30 anos.

Outro aspecto importante é a verificação, atualização e ampliação das séries de dados climáticos utilizados para confecção do ZARC. Segundo a Portaria Nº 173 de 4 de agosto de

2015 (BRASIL, 2015), emitida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que descreve e aprova o ZARC para a cultura da soja em MS, são utilizadas para realização da modelagem apenas séries históricas de precipitação pluvial de 50 localidades, enquanto que as séries históricas para a determinação da evapotranspiração de referência (ET_o) e da cultura (ET_c) são de apenas cinco estações meteorológicas, o que mostra claramente as deficiências inerentes ao ZARC desse estado, já que esse é um número de estações bastante modesto para a extensão territorial de MS (mais de 365 mil km²), o que com certeza leva a generalizações incoerentes em muitas regiões do Estado.

Assim, há uma grande necessidade de se revisar os procedimentos e bases de dados utilizados pelo ZARC. Para tanto, dados de K_c obtidos experimentalmente com o uso de lisimetria poderão auxiliar na definição de novos valores de K_c, específicos para os genótipos de soja com hábitos de crescimento indeterminado, atualmente utilizados, assim como a atualização e ampliação da base de dados climáticos poderão trazer uma melhor definição do ZARC para a cultura da soja no estado de MS, por meio de um melhor detalhamento das áreas de risco, auxiliando, assim, na definição de políticas públicas mais acuradas.

Sendo assim, os objetivos deste estudo foram avaliar os impactos do uso de novos valores de K_c para cultivares de hábito de crescimento indeterminado e da atualização e expansão das séries históricas de dados climáticos no ZARC da cultura da soja no MS, pressupondo a semeadura de um genótipo de ciclo precoce (110 dias) em um solo argiloso, em três datas distintas de semeadura. Além disso, foi objetivo deste estudo avaliar o efeito da variação da época de semeadura no risco climático para a cultura da soja no MS.

6.2 Material e Métodos

O Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) é realizado para as principais culturas brasileiras, empregando-se um modelo que avalia a satisfação das necessidades hídricas das plantas por meio da evolução de um balanço hídrico, o qual permite se determinar evapotranspiração relativa das culturas em diferentes fases de seus desenvolvimentos, utilizando para isso os coeficientes de cultura (BRASIL, 2012; MONTEIRO, 2009). A implementação do modelo é realizada pelo programa *Sarra* (Sistema de Análise Regional dos Riscos Agroclimáticos), desenvolvido por Baron e Clopes (1996).

Para a modelagem são utilizados como dados de entrada a precipitação diária, a evapotranspiração de referência decendial, coeficientes de cultura (K_c) decendiais, ciclo da

cultura e duração de quatro fases fenológicas: (1) germinação/emergência, (2) desenvolvimento vegetativo, (3) florescimento/enchimento de grãos e (4) maturação.

A base de dados empregadas no ZARC do estado do MS, obtida junto à equipe responsável pelo desenvolvimento do ZARC, possuía séries históricas de precipitação pluviométrica de 53 localidades, com pelo menos 15 anos de dados diários e atualizadas até o ano de 2007. Essas séries estavam associadas a séries de evapotranspiração potencial de dez localidades, sendo que apenas seis delas localizadas em MS. Esses números diferem ligeiramente da descrição encontrada nas portarias do zoneamento (BRASIL, 2009, 2011, 2015) uma vez que representa a série utilizada pela Embrapa para desenvolvimento e acompanhamento dos resultados do ZARC, podendo haver pequenas diferenças em relação à base utilizada pela empresa executora do atual zoneamento. O método de associação utilizado era o do vizinho mais próximo, o que em muitos casos fez com que a distância entre as estações pluviométrica e a meteorológica chegasse a centenas de quilômetros.

Para atualização da base de dados foram obtidas séries pluviométricas disponibilizadas digitalmente pela Agência Nacional de Águas (ANA), na página do Sistema de Informações Hidrológicas, conhecido como *Hidroweb* (ANA, 2014). Foram selecionadas 190 estações com dados entre 1983 e 2013, admitindo-se uma série mínima de 20 anos e no máximo 20% de falhas, com exceção feita à região do Pantanal, onde pela carência de dados foram admitidas falhas de até 33% na série histórica. Considerada conjuntamente, as séries selecionadas totalizaram 14,3% de falhas no período comum considerado, sendo que 70% dos dias tinham observações em pelo menos 150 das 190 estações.

Para estimativa dos valores faltantes foi utilizado o software R for Windows para aplicação de um procedimento de preenchimento de falhas baseado na interpolação diária dos valores observados. Foi utilizado um algoritmo de interpolação ponderado pelo inverso do quadrado da distância (IDW) implementado pela função *krige (idw)* do pacote *gstat* (PEBESMA, 2004). Um total de 2804 observações presentes na série foram propositadamente retirado a fim de comparar esses valores à estimativa proporcionada pelo método proposto. Os dados de teste revelaram que a estimativa obteve um erro absoluto médio (EAM) de 3,75 mm e um índice de concordância de Willmott (d) de 0,74, sendo que as piores estimativas ocorreram na região do Pantanal, justamente onde há uma maior carência de dados. Desse modo, o procedimento de preenchimento de falhas foi considerado satisfatório.

As séries de evapotranspiração potencial decendial, disponíveis para todo o Brasil na base do ZARC, também foram interpoladas pelo método IDW, utilizando o software

estatístico R. Após o procedimento foram obtidas 190 séries interpoladas correspondendo a cada uma das estações pluviométricas selecionadas.

A metodologia padrão do ZARC classifica os solos brasileiros em três grupos de acordo com a textura: Tipo 1 (arenoso), Tipo 2 (textura média) e Tipo 3 (argiloso). A diferença textural implica principalmente em diferentes capacidades de água disponível (CAD). O ZARC para a cultura da soja em MS estabelece para os três solos os valores de CAD iguais a 40, 50 e 75 mm, contudo esses valores não condizem com a realidade encontrada a campo, principalmente quando se considera os solos argilosos (Tipo3) de MS. Dada a constituição argilo-mineral desses solos, caracterizada pelo predomínio de caulinita e presença de sesquióxidos de ferro, os solos apresentam naturalmente baixa capacidade de retenção hídrica (URCHEI et al.; 1997; FIETZ; URCHEI; 2002), em padrões similares aos solos Tipo 1 ou 2 de outras regiões. Com base nisso, a comparação proposta neste estudo irá considerar apenas o solo Tipo 3, admitindo-se uma CAD de 60 mm.

Embora tenham sido obtidos parâmetros culturais para cultivares com hábito de crescimento diferentes, o presente estudo realizará a comparação considerando-se apenas os valores de coeficiente de cultura (Kc) das cultivares com hábito de crescimento indeterminado, obtidos pela experimentação local, em relação aos Kc atualmente empregados no ZARC, obtidos de Farias et al. (2001, 2009). As Tabelas 6.1 e 6.2 apresentam, respectivamente, as durações das fases fenológicas da cultura da soja com ciclo de 110 dias, propostas neste estudo e pelo ZARC, e os valores de Kc utilizados, na escala decendial.

Tabela 6.1 - Fases fenológicas da cultura da soja com ciclo de 110 dias propostas neste estudo e utilizadas pelo Zoneamento de Risco Climático (ZARC) da cultura da soja

Fase	Crescimento Inicial	Desenvolvimento Vegetativo	Reprodutiva	Maturação
Estádios	S-V2	V2-R1	R1-R5/R6	R6-R8
ZARC ¹ (dias)	10	35	35	30
Proposto (dias)	10	20	60	20

¹ Conforme Farias et al (2001, 2009). Os estádios de desenvolvimento da soja proposta por Fehr e Caviness (1977), com detalhamento proposto por Ritchie et al. (1997) são descritos em Farias et al. (2009) e Câmara (1998).

Tabela 6.2 – Coeficientes de cultura (Kc) da cultura da soja propostos por este estudo (Proposto) e utilizados pelo Zoneamento de Risco Climático (ZARC), a cada decêndio do ciclo

Decêndio	Proposto	ZARC¹
1	0.65	0.56
2	1.07	0.89
3	1.49	1.21
4	1.49	1.50
5	1.49	1.50
6	1.49	1.50
7	1.49	1.50
8	1.49	1.50
9	1.49	1.20
10	1.00	0.90
11	0.50	0.60

¹ Considerando o ajuste dos valores apresentados por Farias et al. (2001, 2009) para as quatro fases da Tabela 6.1, a saber: 0,56; 1,21; 1,5 e 0,9.

O processo padrão de modelagem no ZARC considera simulações subsequentes com intervalos de dez dias entre datas de semeadura durante toda a janela de semeadura da cultura em questão. Todavia para esse estudo serão testadas apenas três datas de semeadura com intervalo de um mês: 05/out; 05/nov e 05/dez. Sendo assim, foram inicialmente realizadas 12 simulações nesse estudo, equivalendo a três datas de semeadura, duas bases de dados (corrente e atualizada) e dois conjuntos de valores de Kc (corrente e proposto).

Como já referido anteriormente, o modelo *Sarra* é baseado na evolução de um balanço hídrico do solo que considera como principal entrada a chuva provável em um nível frequencial pré-estabelecido, definido em 80% para execução do ZARC. A reserva útil de água no solo considera a integração de dois reservatórios, um primeiro fixo, superficial (20cm) e outro dinâmico, que varia de acordo com o crescimento radicular. O consumo hídrico do modelo é estimado em função das variáveis evapotranspiração máxima da cultura (ETc) e real (ETr). A ETm do cultivo é obtida simplesmente pela multiplicação dos valores de evapotranspiração de referência (ETo) pelos Kc informados. A ETr, por sua vez, é calculada com base em uma equação polinomial empírica proposta por Eagleman (1971) e citada por Baron e Clopes (1996), a qual relaciona a ETc (mm) com a umidade disponível no solo (US, g m⁻³), conforme as equações que seguem:

$$ETr = ETm \times E \quad (1)$$

$$E = a + (b \times US) + (c \times US^2) + (d \times US^3) \quad (2)$$

$$a = 0,732 - 0,05 ET_0 \quad (3)$$

$$b = 4,97 ET_0 - 0,661 ET_0^2 \quad (4)$$

$$c = 8,57 ET_0 + 1,56* ET_0^2 \quad (5)$$

$$d = 4,35 ET_0 - 0,880* ET_0^2 \quad (6)$$

A relação entre as evapotranspirações real e máxima da cultura (ET_r/ET_c) origina o Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA), e se constitui na variável chave para definição do risco no ZARC. O ISNA pode ser entendido como a relação entre o conteúdo de água que a planta consumiu e o que seria necessário para atingir sua produtividade máxima. O índice varia entre 0 a 1, com valores máximos representando maior disponibilidade hídrica. Calcula-se um valor de ISNA para cada estação e para cada fase fenológica da cultura, considerando-se as diferentes datas de semeadura e a chuva provável em 80% dos anos. Para definição do risco consideram-se os valores de ISNA da fase ou fases definidas como críticas.

De acordo com Farias et al. (2001), a soja tem dois períodos de maior sensibilidade à falta de água: (1) da semeadura à emergência e (2) na floração - enchimento dos grãos. Na germinação, tanto o excesso como a falta de água são prejudiciais ao estabelecimento da cultura. A ocorrência de déficit hídrico durante o período reprodutivo é considerada crítica para a cultura da soja. Desse modo, para determinação do risco climático são considerados os resultados obtidos na terceira fase da simulação (período reprodutivo), que corresponde aos estádios R1-R5/R6 da Tabela 6.1. Consideram-se desfavoráveis ou inaptas as localidades com ISNA inferior a 0,5 na fase crítica, intermediárias ou marginais as localidades com ISNA entre 0,50 e 0,59 e favoráveis ou aptas as localidades com ISNA igual ou superior a 0,6 (BRASIL, 2012, 2015).

Com o objetivo de visualizar a distribuição espacial do risco climático, os resultados obtidos nas simulações, considerando 53 localidades na condição corrente e 190 para a condição de expansão, foram espacializados no Sistema de Informações Geográficas (SIG) Spring 5.3. Os pontos foram interpolados utilizando a ponderação pelo inverso do quadrado da distância (IDW ou simplesmente média ponderada no Spring) de modo a se obter uma grade de igual resolução recobrando toda a extensão do Estado de Mato Grosso do Sul. Finalmente a grade foi classificada, de modo a obter o mapa temático com classes de risco.

Complementarmente, foi selecionada uma localidade para se proceder as análises mais detalhadas do modelo *Sarra*, utilizando a saída de variáveis em escala quinquidial. Esse

procedimento visou evidenciar comportamentos que poderiam ser mascarados ao avaliar o desempenho médio de períodos muito longos, tais como as fases.

É importante ressaltar que o modelo *Sarra* se baseia exclusivamente no balanço hídrico da cultura, não estimando valores de produtividade e nem contabilizando os efeitos limitantes impostos pela fertilidade do solo e/ou ocorrência de pragas e doenças.

6.3 Resultados e Discussão

Os resultados obtidos nas simulações realizadas pelo programa *Sarra*, são apresentados na Tabela 6.3 e na Figura 6.2. O primeiro aspecto que deve ser destacado é a condição mais restritiva para a cultura da soja no sul do Estado de MS, independente da base de dados e dos valores de Kc empregados (Figura 6.2). Acredita-se que esse cenário restritivo é explicado em grande parte pelo estabelecimento da CAD em 60 mm, antes que em 75 mm, como previsto pelo ZARC (BRASIL, 2015).

O segundo aspecto a ser destacado é referente à base utilizada. A atualização da base de dados climáticos do ZARC proporcionou uma percepção diferente do processo de antecipação das semeaduras. Quando foi utilizada a base do ZARC, no cenário (A) da Figura 6.2, as diferenças entre as três datas de semeadura foram muito sutis, mas ficaram evidentes que no cenário (B) as condições eram menos restritivas para as semeaduras antecipadas. Todavia, o uso da base atualizada mostrou um comportamento contrário, em especial para o sul do estado, havendo diminuição do risco em semeaduras mais tardias, tanto no cenário (C) quanto (D). Isso pode ser evidenciado com a redução das áreas com alto risco nas semeaduras mais tardias conforme demonstrado na Tabela 6.3.

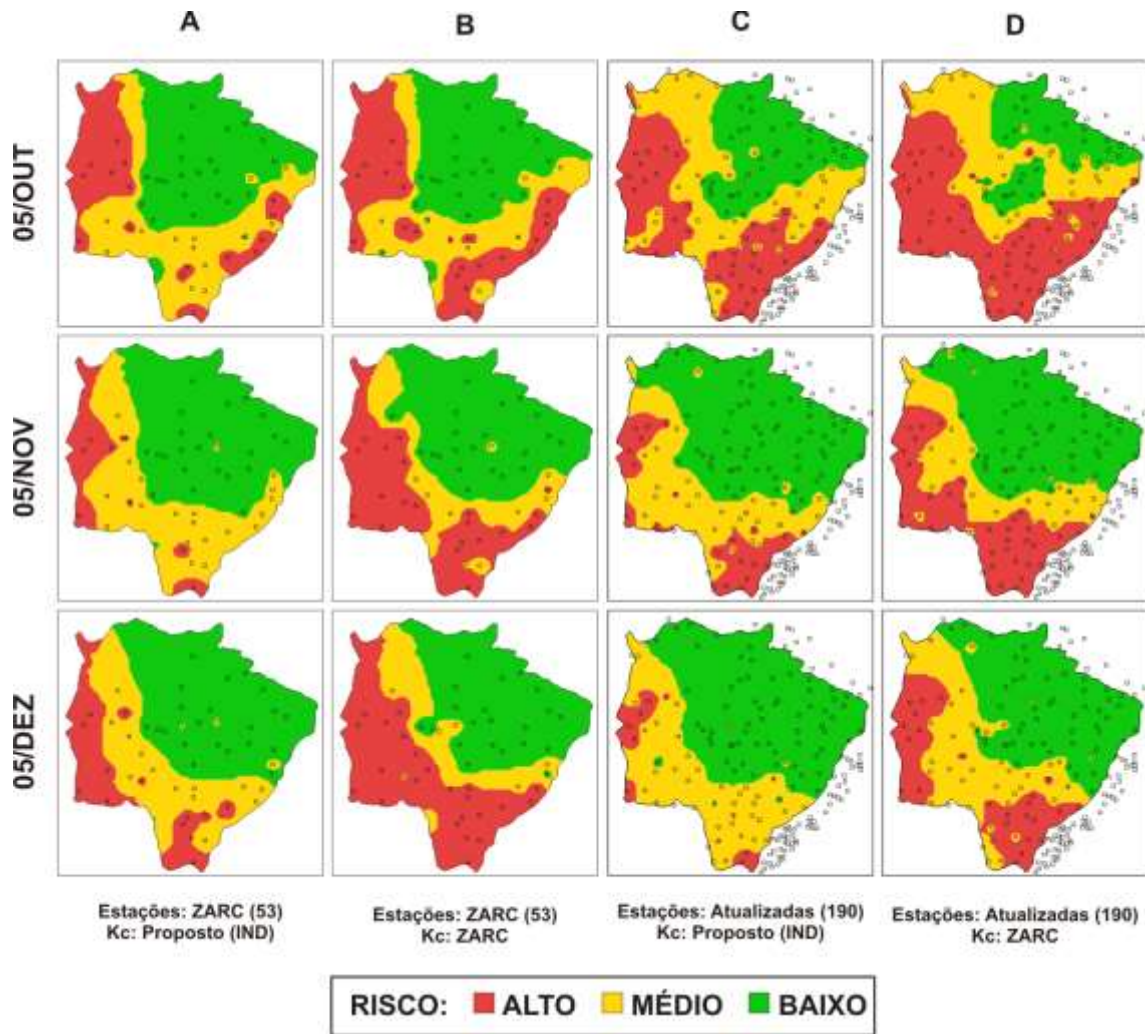


Figura 6.2 – Risco climático na fase crítica da cultura da soja no estado de Mato Grosso do Sul, em diferentes épocas de semeadura e considerando-se diferentes cenários em termos dos valores de Kc empregados (ZARC ou Proposto) e base de dados climáticos (ZARC ou Atualizadas)

Possíveis explicações para a mudança na classificação do risco podem estar relacionadas à atualização das séries de dados climáticos, que passaram a retratar alterações climáticas recentes pela inserção de dados entre 2008 a 2013, e também pelo fato de que as séries atualizadas representam melhor o sul do Estado por considerarem os dados de localidades no entorno do MS, nos estados do Paraná, São Paulo, Goiás e Mato Grosso, o que não ocorre na base de dados do ZARC.

Tabela 6.3 – Quantificação do risco climático para a cultura da soja no estado de Mato Grosso do Sul, obtidos pela frequência do Índice de Satisfação da Necessidade de Água (ISNA) para diferentes classes de risco, considerando-se diferentes bases de dados climáticos (ZARC e Atualização) e de coeficientes de cultura (Kc) (Proposto e ZARC), para três épocas de semeadura

Cenário	Base de dados climáticos	Kc	Semeadura	Risco Climático		
				Alto	Intermediário	Baixo
A	ZARC (53)	Proposto	05/out	23%	32%	45%
			05/nov	11%	35%	54%
			05/dez	18%	30%	52%
B	ZARC (53)	ZARC	05/out	32%	28%	40%
			05/nov	32%	18%	50%
			05/dez	40%	18%	42%
C	Atualização (190)	Proposto	05/out	35%	35%	30%
			05/nov	13%	30%	57%
			05/dez	5%	36%	59%
D	Atualização (190)	ZARC	05/out	47%	30%	23%
			05/nov	28%	23%	49%
			05/dez	22%	31%	47%

Proposto - coeficientes de cultura para soja com hábito de crescimento indeterminado; ZARC - coeficientes de cultura para a soja empregados pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático.

Em relação aos valores de Kc testados (e duração de fases), os resultados divergiram do que se esperava. Como o período proposto tem maior duração da fase crítica em relação ao ZARC (Tabela 6.1), era esperado que isso levasse a uma maior restrição à cultura. Todavia, pode ser observado que o uso dos valores de Kc propostos nos cenários (A) e (C) diminuiu o risco quando estes foram comparados aos seus pares.

Para uma melhor percepção dos resultados, foi selecionada uma estação para análise das variáveis de saída do modelo *Sarra* em escala quinquidial. A estação de Itahum (MS225504), distrito de Dourados, localizada nas coordenadas 22°05'10" S e 55°21'11" W, foi eleita para representar a região sul do estado. A localização da estação Itahum é apresentada na Figura 6.3.

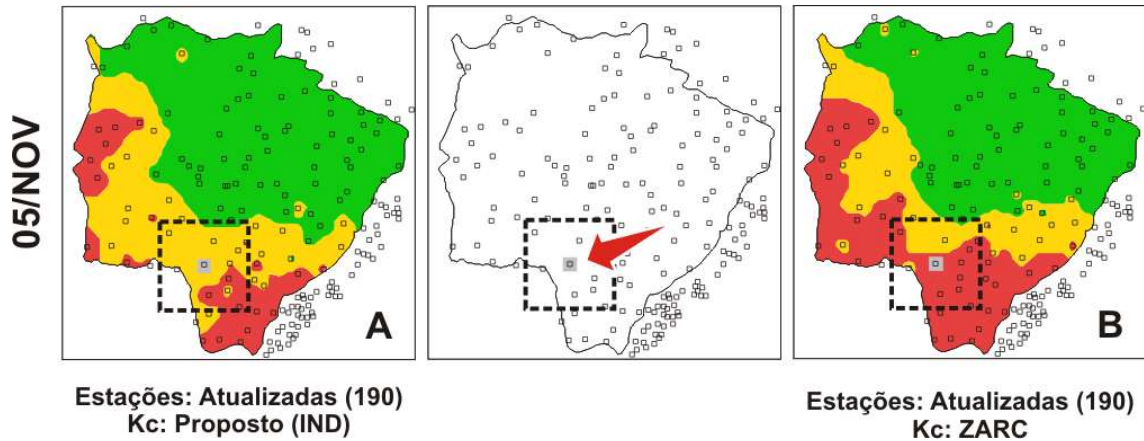


Figura 6.3 – Localização da estação Itahum (MS225504) e risco climático na fase crítica da cultura da soja no estado de Mato Grosso do Sul, considerando-se a semeadura em 05/nov, dados atualizados e séries de Kc diferenciadas (ZARC e proposto)

A Tabela 6.4 apresenta os resultados da simulação do *Sarra*, com saídas em escala quinquidial, considerando a semeadura em 05 de novembro, valores de Kc para a soja com hábito de crescimento indeterminado ou utilizados pelo ZARC e dados climáticos atualizados. Ao avaliar os valores quinquidiais do ISNA foi possível verificar que o uso dos Kc propostos tende a produzir valores menores (diferença média de -0,04), sendo, portanto, mais restritivo do que quando utilizando os valores do ZARC. Todavia ao considerar a saída por fases, o resultado se inverte, com o método proposto sendo menos restritivo. Isso indica que a simulação por fases pode levar à interpretação errônea dos resultados, particularmente quando da definição de fases muito longas. Outro ponto negativo da simulação por fases é que ela não é sensível à ocorrência de veranicos que poderiam comprometer seriamente a produção. Na simulação com saída em escala quinquidial (Tabela 6.4) é possível observar diversas ocorrências, inclusive contínuas, de períodos com grande restrição hídrica ($ISNA < 0,5$). Contudo, ao considerar os valores modelados pela fase crítica como um todo, na última linha da Tabela 6.4, essa informação é mascarada e a média do período não evidencia adequadamente o risco.

Tabela 6.4 – Índices de Satisfação da Necessidade de Água (ISNA) obtidos pela simulação do desenvolvimento da cultura da soja na estação de Itahum (MS2255004) considerando a semeadura em 05 de novembro e valores de Kc: (A) propostos para hábito de crescimento indeterminado e (B) utilizados pelo ZARC. Os valores consideram uma análise frequencial da precipitação de 80%

DAE	A	B	A - B
5	0,77	0,75	0,02
10	0,77	0,81	-0,04
15	0,83	0,85	-0,02
20	0,71	0,77	-0,06
25	0,65	0,74	-0,09
30	0,51	0,62	-0,11
5	0,34	0,47	-0,13
40	0,34	0,41	-0,06
45	0,35	0,37	-0,01
50	0,40	0,43	-0,03
55	0,35	0,35	-0,01
60	0,39	0,38	0,01
65	0,54	0,54	0,00
70	0,52	0,52	0,00
75	0,50	0,50	0,00
80	0,42	0,41	0,01
85	0,33	0,33	0,00
90	0,24	0,26	-0,02
95	0,35	0,39	-0,04
100	0,47	0,60	-0,12
105	0,60	0,71	-0,11
110	0,71	0,77	-0,06
Fase Crítica**	0,55	0,48	0,07 (-0,04*)

DAE – dias após emergência; Fase Crítica – valor de ISNA obtido da simulação por fases, estabelecendo como crítica a fase reprodutiva da soja (Tabela 6.1). *Diferença média das observações. **Resultado da simulação no Sarra considerando 4 fases, sendo considerada crítica a terceira fase (floração/enchimento de grãos).

6.4 Conclusões

A atualização e expansão da base de dados teve grande impacto no ZARC da cultura da soja no estado de MS, especialmente na região sul deste, mudando a interpretação dos resultados do zoneamento em relação à antecipação dos cultivos. O uso da base atualizada evidencia uma tendência geral de aumento do risco com a antecipação da semeadura, mesmo utilizando os novos Kc.

Não foi possível testar adequadamente o efeito da adoção de valores de Kc diferenciados para a cultura da soja de hábito de crescimento indeterminado, uma vez que a metodologia padrão do zoneamento, que avalia os resultados sumarizados por fases, não permitiu caracterizar adequadamente o risco evidenciado pela análise da modelagem em escala quinidial.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). **Hidroweb: sistemas de informações hidrológicas**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 13 dez. 2014
- BERLATO, M.A.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima da soja relações com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evaporação de tanque "classe A" e radiação solar global. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 22, n. 2, p. 243-259, 1986.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Zoneamento agrícola de risco climático**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola/>>. Acesso em: 12 ago. 2012.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. Portaria nº 169/2009, de 04 de agosto de 2009. Aprova o Zoneamento Agrícola para a cultura de soja no Estado de Mato Grosso do Sul, ano-safra 2009/2010. **Diário Oficial da União**, Brasília, 05 ago. 2009.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. Portaria nº 277/2011, de 28 de julho de 2011. Aprova o Zoneamento Agrícola para a cultura de soja no Estado de Mato Grosso do Sul, ano-safra 2009/2010. **Diário Oficial da União, Brasília**, 29 jul. 2011.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. Portaria nº 173/2015, de 04 de agosto de 2015. Aprova o Zoneamento Agrícola para a cultura de soja no Estado de Mato Grosso do Sul, ano-safra 2015/2016. **Diário Oficial da União, Brasília**, 05 ago. 2015.
- BARON, C.; CLOPES, A. **Sistema de Análise Regional dos Riscos Agroclimáticos (SARRA)**. CIRAD. Paris, 1996. 37p.
- CÂMARA, G.M.S. **Fenologia da soja**. Piracicaba, SP: POTAFOS, 1998 (Artigo Técnico).
- EAGLEMAN, J. An experimental derived model for actual evapotranspiration. **Agricultural Meteorological, International**, v. 8, p. 385-394, 1971.
- FAMASUL. **Sistema de Informação Geográfica do Agronegócio – SIGA**: Consulta Tabular aos dados das Safras: Mato Grosso do Sul - abril de 2015. [Rio de Janeiro, 2015?]. Disponível em: <<http://www.sigaweb.org/ms/sistema/consulta.php>>. Acesso em: 28 abr. 2015.
- FARIAS, J.R.B.; ASSAD, E.D.; ALMEIDA, IR.; EVANGELISTA, B.A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001.

FARIAS, J.R.B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Soja. In: MONTEIRO, J.E.B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Instituto Nacional de meteorologia, 2009. cap. 8, p. 133-149.

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University. Department of Science and Technology, 1977. 11p. (Special report, 80).

FIETZ, C.R.; GARCIA, R.A.; COMUNELLO, E.; FLUMIGNAN, D.L. **Semeadura antecipada da soja na região sul de Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013. 5p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Circular Técnica, 22).

FIETZ, C.R.; COMUNELLO, E. **Probabilidade de ocorrência de chuva em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 184p.

FIETZ, C.R.; URCHER, M.A. Deficiência hídrica da cultura da soja na região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n. 2, p.262-265, 2002.

FRANQUIN, P.; FOREST, F. Des programmes d'évaluation et analyse fréquentielles des termes du bilan hydrique. **L'Agronomie Tropicale**, Paris, v. 32, n. 1, p. 1-22, 1977.

IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. [Rio de Janeiro, 2009?]. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/brasil_2006/Brasil_censoagro2006.pdf>. Acesso em: 13 set. 2015.

IBGE. **Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA: Banco de Dados Agregados: Dados de previsão de safra: área colhida - hectare - unidade da federação: Mato Grosso do Sul - julho de 2015**. [Rio de Janeiro, 2015?]. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp?t=3&z=t&o...>>. Acesso em: 03 jul. 2015.

MITIDIERI, F.J.; MEDEIROS, J.X. de. Zoneamento agrícola de risco climático: ferramenta de auxílio ao seguro rural. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v.17, n. 4, p 36-46, out./nov./dez. 2008.

PEBESMA, E.J. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. **Computers & Geosciences, International**, n. 30, p. 683-691, 2004

ROSSETTI, L.A. Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e securidade rural no Brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, p. 386-399, 2001.

URCHEI, M.A.; HERNANI, L.C.; LAZAROTTO, C.; FIETZ, C.R. **Atributos físicos de Latossolos em dois sistemas de manejo, visando a irrigação em Mato Grosso do Sul**. Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1997. 5p.