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

**Cálculo das vazões de outorga na irrigação de cana-de-açúcar:
Influência do critério de irrigação e dos níveis de probabilidade de
evapotranspiração e precipitação**

Rafael Maschio

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

**Piracicaba
2015**

Rafael Maschio
Engenheiro Agrônomo

Cálculo das vazões de outorga na irrigação de cana-de-açúcar: Influência do critério de irrigação e dos níveis de probabilidade de evapotranspiração e precipitação
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **RUBENS DUARTE COELHO**

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

Piracicaba
2015

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

Maschio, Rafael

Cálculo das vazões de outorga na irrigação de cana-de-açúcar: Influência do critério de irrigação e dos níveis de probabilidade de evapotranspiração e precipitação / Rafael Maschio. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2015.

262 p. : il.

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

1. Necessidade hídrica da cultura 2. Necessidade de irrigação 3. Irrigação suplementar
4. Irrigação com déficit 5. CROPWAT 6. ANA I. Título

CDD 633.61
M395c

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

Aos meus pais, Valdocir Maschio e Lorzete Perera Maschio.

DEDICO

Aos meus irmãos, Vinícius e Débora, pela amizade.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus.

Ao meu pai e à minha mãe, pelo apoio e incentivo de cada dia. Sei que posso contar com vocês todos os dias da minha vida.

Aos meus irmãos e à minha companheira e namorada, principalmente pelo apoio para que eu superasse todas as dificuldades.

Aos amigos e colegas de departamento, pela interação e troca de experiências e pelos bons momentos de descontração.

A todos os professores desta instituição, aos quais tive o prazer de ser aluno, e devo grande parte de tudo o que aprendi.

Ao Prof. Dr. Rubens Duarte Coelho, por acreditar e confiar na minha pessoa para o desenvolvimento deste trabalho, assim como pelos conselhos, orientações e todo o conhecimento que me foi transferido durante esse período.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP e à Empresa Odebrecht Agroindustrial, que através do Projeto PITE 2012/50083-7 (BIOEN - Programa de Pesquisa FAPESP em Bioenergia) disponibilizaram as informações e recursos necessários para a realização deste projeto de pesquisa.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	25
1 INTRODUÇÃO.....	31
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	35
2.1 Necessidades hídricas das culturas e necessidades de irrigação.....	35
2.1.1 Estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc)	35
2.1.1.1 Evapotranspiração de referência (ETo)	36
2.1.1.1.1 Método FAO Penman-Monteith para a estimativa da ETo	37
2.1.1.2 O coeficiente de cultura (kc)	38
2.1.2 Evapotranspiração real (ETr ou ETc adj)	40
2.1.2.1 O coeficiente de estresse hídrico	41
2.1.3 Balanço hídrico de cultura e necessidades de irrigação	43
2.1.4 Resposta da cultura à água: Metodologia FAO	44
2.1.5 O modelo <i>CROPWAT</i> 8.0 (FAO)	46
2.1.5.1 Módulo “ <i>Climate/ETo</i> ” (Clima/ETo)	48
2.1.5.2 Módulo “ <i>Rain</i> ” (Precipitação pluvial - PPT).....	49
2.1.5.3 Módulo “ <i>Crop</i> ” (Cultura)	51
2.1.5.4 Módulo “ <i>Soil</i> ” (Solo).....	52
2.1.5.5 Módulo “ <i>CWR</i> ” - <i>Crop Water Requirement</i> (Necessidade hídrica da cultura)	53
2.1.5.6 Módulo “ <i>Schedule</i> ” (Planejamento/programação do manejo da irrigação)	53
2.1.5.7 Módulo “ <i>Crop Pattern</i> ” (Cultivos/culturas).....	56
2.1.5.8 Módulo “ <i>Scheme</i> ” (Planejamento)	57
2.1.6 A cultura da cana de açúcar	57
2.1.6.1 Aspectos gerais / descrição geral.....	57
2.1.6.2 Crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar	59
2.1.6.3 Necessidade hídrica da cultura, produtividade e principais práticas de irrigação	60
2.1.6.4 Respostas ao estresse	62
2.1.6.5 Deficiência hídrica em cana-de-açúcar.....	63
2.1.7 Manejo racional da irrigação	65

2.1.8 Outorga de direito de uso de recursos hídrico.....	67
2.1.8.1 Finalidade Irrigação	68
2.1.9 Exigências de projeto	72
3 MATERIAL E MÉTODOS	75
3.1 Localização e caracterização da área de estudo	75
3.2 Características Básicas das Unidades Agroindustriais.....	77
3.3 Área representativa “média” para o cálculo das vazões de outorga (estudo de caso - Unidade Rio Claro, Caçu, Goiás).....	79
3.4 Variáveis meteorológicas - composição da série histórica	79
3.5 Correção de falhas - dados faltantes	81
3.6 Análise previa da série histórica	81
3.7 Entrada de dados das variáveis meteorológicas (módulo “ <i>Clima/ETo</i> ”).....	83
3.8 Entrada de dados das variáveis meteorológicas (módulo “ <i>Rain</i> ”).....	84
3.9 Entrada de dados dos parâmetros de cultura (módulo “ <i>Crop</i> ”)	89
3.10 Entrada de dados dos parâmetros de solo (módulo “ <i>Soil</i> ”).....	90
3.11 Cálculo das Necessidades hídricas da cultura e necessidades de irrigação (módulo “ <i>CWR</i> ”)	91
3.12 Cálculo do BHC diário em função do critério/enfoque do manejo da irrigação (módulo “ <i>Schedule</i> ”)	93
3.13 Cálculo da redução de produtividade relativa em função do critério/enfoque do manejo da irrigação (módulo “ <i>Schedule</i> ”).....	97
3.14 Cálculo das vazões mensais de outorga	98
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	101
4.1 Variáveis meteorológicas - Módulo “ <i>Clima/ETo</i> ” e módulo “ <i>Rain</i> ”.....	101
4.2 Necessidades hídricas da cultura e necessidades de irrigação - Módulo “ <i>CWR</i> ”	106
4.3 Balanço hídrico diário da cultura - Módulo “ <i>Schedule</i> ”	129
4.4 Déficit de evapotranspiração e redução da produtividade - Módulo “ <i>Schedule</i> ”	190
4.5 Vazões de outorga: Módulo “ <i>Scheme</i> ” do <i>CROPWAT</i> e Planilha-ANA	229
5 CONCLUSÕES	257
REFERÊNCIAS	259

RESUMO

Cálculo das vazões de outorga na irrigação de cana-de-açúcar: Influência do critério de irrigação e dos níveis de probabilidade de evapotranspiração e precipitação

Fatores ambientais adversos, dos quais o déficit hídrico constitui a restrição mais severa à agricultura, representam cerca de 70% das perdas de produtividade em todo o mundo. A irrigação da cana-de-açúcar é hoje, uma das principais alternativas tecnológicas para o aumento da produtividade do setor sucroenergético, melhorando não só a eficiência no campo como, também, reduzindo a ociosidade industrial das usinas. Contudo, havendo-se disponibilidade hídrica para irrigação, implica-se na necessidade de outorga de direito de uso para captação. A outorga é um dos seis instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997). Esse instrumento tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso aos recursos hídricos. O cálculo das vazões mensais de outorga para captação em corpos hídricos de domínio federal é atualmente obtido através de dados estimados de precipitação pluvial efetiva provável e evapotranspiração de referência do local, fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA), de parâmetros da cultura (época de plantio e coeficientes de cultura - kc), área irrigada e eficiência da irrigação, fornecidos pelo requerente da outorga. Assim, como hipótese primária deste estudo de que a metodologia de cálculo das vazões mensais de outorga proposta pela ANA não fornece segurança operacional para grandes empreendimentos, uma vez que esta não possui um caráter probabilístico adequado, que leve em consideração as variações anuais de precipitação pluvial e evapotranspiração e, ainda, como hipótese secundária de que na determinação das vazões através da metodologia recomendada pela FAO (*CROPWAT 8.0*) ocorram vulnerabilidades diante dos critérios de escolha dos anos representativos (anos secos, médios e úmidos), ambas podendo restringir as vazões de captação. Este trabalho teve como objetivo comparar tais metodologias com um estudo de caso mais detalhado, levando-se em consideração a variabilidade temporal destas estimativas (séries históricas), bem como, buscando-se determinar a influência do critério de irrigação e dos níveis de probabilidade de ocorrência da evapotranspiração de referência (ET_o) e precipitação (PPT) na determinação das vazões mensais de outorga para irrigação de cana-de-açúcar. Evidenciou-se que, durante o período compreendido entre os meses de abril a setembro (período “seco”), a metodologia de cálculo proposta pela ANA atendeu as necessidades de projeto. Contudo, no período onde se concentram as precipitações pluviais (outubro a março), esta tendeu a subestimar os valores mensais das vazões outorgáveis, uma vez que não dispõe de um critério adequado que considere as variações anuais deste elemento meteorológico, limitando a outorga a uma condição média provável. Entretanto, diante da morosidade da análise de séries históricas, ano-a-ano, é compreensível que se busque facilitar estas estimativas. Assim, a metodologia proposta pela FAO (simulações de anos com diferentes probabilidades teóricas de valores “atingíveis” de PPT acumulada anual), bem como, a metodologia alternativa proposta neste estudo (PPT acumulada no período seco) aproximaram-se ou, até mesmo, superaram a condição “ideal”, porém, devido à determinação destes anos não levar em consideração a distribuição dos acumulados (dentro do período considerado), a metodologia apresentou limitações.

Palavras-chave: Necessidade hídrica da cultura; Necessidade de irrigação; Irrigação suplementar; Irrigação com déficit; CROPWAT; ANA

ABSTRACT

Water rights flows rate calculation applied to sugarcane irrigation: Influence of irrigation criterion and the probability levels of evapotranspiration and precipitation

The adverse environmental factors, of which drought is the most severe agriculture limitation, account for about 70% of yield losses worldwide. The irrigation of sugarcane is today one of the main technological alternatives to increase the productivity, improving not only the field efficiency but also reducing the idleness of industrial plants. However, having up water availability for irrigation implies on the need of water rights for its catchment. The water right is one of six instruments of the Brazilian National Water Resources Policy (Federal Law nº 9.433, January 08, 1997). This instrument aims to ensure the quantitative and qualitative control of water use and the effective exercise of the access rights to water resources. The calculation of the monthly flows to water rights for catchment in rivers of federal domain is currently obtained through estimated local data of probable effective rainfall and reference evapotranspiration, provided by the National Water Agency (ANA), crop parameters (time planting and crop coefficients - k_c), irrigated area and irrigation efficiency, in turn provided by the claimant of water right. Thus, as the primary hypothesis of this study that the calculation methodology of monthly flows of water right proposed by the ANA does not provide operational safety for large enterprises, since it does not have a suitable probabilistic character that takes into account the annual variation of rainfall and evapotranspiration, and also, as a secondary hypothesis that in determining the water rights flows through the methodology proposed by FAO (*CROPWAT* 8.0) is subject to vulnerabilities on the selecting criteria for the representative years (dry, average and wet year), both methodologies may be restricted the flow of catchment. This study aimed to compare these methodologies with a more detailed study of case, that takes into account the temporal variability of these estimates (time series), seeking to determine the influence of irrigation criterion and probability levels of occurrence of the reference evapotranspiration (ET_o) and precipitation (PPT) in the determination of monthly flows rate of water right applied to sugarcane irrigation practices. It was evident that during the period between the months from April to September ("dry" period), the calculation methodology proposed by ANA supplied the project requirements. However, the period which are concentrated rainfall (October to March), this tended to underestimate the monthly values of water rights flows rate, as it does not provide an appropriate criterion to consider the annual weather variations of this element, limiting the water rights to an average probable condition. Though, given the difficulty of working with data time series analysis, year-on-year, it is understandable the use of simplified methodologies that facilitate these estimatives. Thus, the methodology proposed by FAO (years simulations with different theoretical probability "attainable" values of PPT annual accumulated), as well as the alternative method proposed in this study (PPT accumulated in dry period) approached or even exceeded the "ideal" condition, however, the determination of these years did not take into account the distribution of rainfall accumulated (within the period considered) and thus, the methodology presented limitations.

Keywords: Crop water requirement; Irrigation requirement; Supplementary irrigation; Deficit irrigation; *CROPWAT*; ANA

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - representação gráfica do coeficiente de estresse hídrico (ks). Fonte: ALLEN et al., (1998)	42
Figura 2 - Visão geral da interface do modelo <i>CROPWAT</i> , menus da barra superior e seus módulos	47
Figura 3 - Módulo “ <i>Climate/ETo</i> ”; exemplo para dados diários	48
Figura 4 - Aba “ <i>Climate/ETo</i> ” (clima/ <i>ETo</i>) para definição das opções de cálculo da <i>ETo</i> e das unidades dos elementos meteorológicos (variáveis climáticas)	49
Figura 5 - Módulo “ <i>Rain</i> ”; exemplo para dados diários	49
Figura 6 - Aba “ <i>Rainfall</i> ” (precipitação pluvial) para definições de cálculo da precipitação pluvial efetiva (<i>Peff</i>)	50
Figura 7 - Módulo “ <i>Crop</i> ”	51
Figura 8 - Módulo “ <i>Soil</i> ” e seus parâmetros de entrada	52
Figura 9 - Aba “ <i>Non-rice crop scheduling</i> ” (planejamento e programação da irrigação) para definições dos critérios/enfoques do manejo da irrigação	54
Figura 10 - Planilha eletrônica para definição dos dados de entrada no CNARH. Fonte: ANA (2013)	69
Figura 11 - Representação gráfica da determinação da precipitação pluvial mensal efetiva provável a partir de dados mensais médios de precipitação pluvial e pelo uso de equações empíricas da FAO/AGLW e SCS/USDA. Fonte: ANA (2013)	71
Figura 12 - Distribuição da evapotranspiração de referência, calculada em base diária, ao longo de um período de 20 anos e linhas de tendências para diferentes probabilidades de “não superação”; Kimberly, Idaho (EUA). Fonte: ALLEN et al., (2007)	73
Figura 13 - Localização dos Polos e Unidades Agroindustriais; Unidade Rio Claro, Caçu - GO (Fonte: Odebrecht Agroindustrial, Relatório Anual Safra 2012-2013, Versão Completa)	75
Figura 14 - Município de Caçu, GO (Fonte: IBGE)	76
Figura 15 - Distribuição de frequência da <i>ETo</i> (mm.dia ⁻¹). Série histórica de 31 anos, 365 dias.ano ⁻¹	82
Figura 16 - Distribuição de frequência da PPT (mm.ano ⁻¹) (A) e PPT (mm.período seco ⁻¹) (B). Série histórica de 31 anos	83
Figura 17 - Precipitação pluvial, PPT (mm.mes ⁻¹), para a média da série histórica (A), para o “ano médio” considerando o período total (B) e seco (C)	88

Figura 18 - Módulo “Crop”. Dados para cana-de-açúcar, ciclo soca (soqueira) (DOORENBOS e KASSAM, 1979; ALLEN et al., 1998); exemplo para a “Época 1- (01/04) - Início de safra”	90
Figura 19 - Módulo “Soil” CROPWAT; exemplo para o solo TIPO1(CAD50)	91
Figura 20 - Aba “Rainfall” para definições de cálculo da precipitação pluvial efetiva (Peff)	92
Figura 21 - “Non-rice crop scheduling” (planejamento e programação da irrigação da cultura) para definições do critério/enfoque do manejo da irrigação, irrigação suplementar	94
Figura 22 - Aba “Non-rice crop scheduling” (planejamento e programação da irrigação da cultura) para definições do critério/enfoque do manejo da irrigação, irrigação com déficit ...	94
Figura 23 - Aba “Non-rice crop scheduling” (planejamento e programação da irrigação da cultura) para sequeiro	95
Figura 24 - Representação gráfica do coeficiente de estresse hídrico (Ks). Fonte: ALLEN et al., (1998)	96
Figura 25 - Planilha ANA preenchida para o estudo de caso (Unidade Rio Claro), Caçu - GO	99
Figura 26 - Valores mensais de precipitação efetiva provável (Pp%) e evapotranspiração de referência (ET _o) fornecidos pelos técnicos da ANA	99
Figura 27 - Tendência central e dispersão dos valores diários de temperatura máxima (T _{max} , °C) (A) e temperatura mínima (T _{min} , °C) (B)	102
Figura 28 - Tendência central e dispersão dos valores médios diários de umidade relativa do ar (UR, %) (A) e velocidade do vento (VV, m.s ⁻¹) (B)	103
Figura 29 - Tendência central e dispersão dos valores diários de insolação (INS, h) (A) e radiação solar global (Rs, MJ.m ⁻² .d ⁻¹) (B)	104
Figura 30 - Tendência central e dispersão dos valores diários de evapotranspiração de referência (ET _o , mm.d ⁻¹) (A) e dispersão dos valores diários de precipitação pluvial (PPT, mm.d ⁻¹) (B)	105
Figura 31 - Valores de ET _o (mm.dia ⁻¹) com probabilidade P(%) de “não-superação”	106
Figura 32 - Valores médios e desvios padrões amostrais da ET _c (mm.dec ⁻¹); Valores médios acumulados da ET _c (mm.mês ⁻¹); (A) - 01/04; (B) - 01/07; (C) - 01/10	111
Figura 33 - Valores médios e desvios padrões amostrais da PPT _{ef} (mm.dec ⁻¹)	112
Figura 34 - Valores médios e desvios padrões amostrais da NI (mm.dec ⁻¹); Valores médios acumulados da NI (mm.mês ⁻¹); (A) - 01/04; (B) - 01/07; (C) - 01/10	113
Figura 35 - Dispersão da evapotranspiração da cultura - ET _c (mm.dec ⁻¹), calculada para a série histórica de 31 anos, em função das diferentes épocas de início do ciclo	114

Figura 36 - Dispersão da precipitação pluvial efetiva - PPTef (mm.dec ⁻¹), para a série histórica de 31 anos, em função das diferentes épocas de início do ciclo.....	114
Figura 37 - Dispersão das necessidades de irrigação - NI (mm.dec ⁻¹), calculada para a série histórica de 31 anos, em função das diferentes épocas de início do ciclo.....	115
Figura 38 - Evapotranspiração da cultura (ETc) em função das diferentes épocas de início do ciclo e da probabilidade teórica de “não-superação” da ETo (50 e 80%)	122
Figura 39 - Precipitação pluvial efetiva (PPTef = 80% PPT) em função da determinação dos anos normais (médios, AN), secos (AS) e úmidos (AU) para o período total de chuvas (ano, PT) e para o período seco (Abril a Setembro, PS); * mudança na escala (0 a 350)	123
Figura 40 - Necessidade de irrigação (NI), na ÉPOCA 1 (01/04), em função da determinação dos anos normais (médios, AN), secos (AS) e úmidos (AU) para o período total de chuvas (ano, PT) e para o período seco (Abril a Setembro, PS), e ETo-50 e 80%	124
Figura 41 - Necessidade de irrigação (NI), na ÉPOCA 2 (01/07), em função da determinação dos anos normais (médios, AN), secos (AS) e úmidos (AU) para o período total de chuvas (ano, PT) e para o período seco (Abril a Setembro, PS), e ETo-50 e 80%	125
Figura 42 - Necessidade de irrigação (NI), na ÉPOCA 3 (01/10), em função da determinação dos anos normais (médios, AN), secos (AS) e úmidos (AU) para o período total de chuvas (ano, PT) e para o período seco (Abril a Setembro, PS), e ETo-50 e 80%	126
Figura 43 - “Perfis” de evapotranspiração da cultura - ETc (mm.dec ⁻¹), calculada para as diferentes probabilidades teóricas de “não-superação” da ETo (50 e 80%), em função das diferentes épocas de início do ciclo.....	127
Figura 44 - Precipitação pluvial efetiva - PPTef (mm.dec ⁻¹) em função da determinação dos anos normais (médios, AN), secos (AS) e úmidos (AU), para o período total de chuvas (ano, PT) e para o período seco (Abril a Setembro, PS)	127
Figura 45 - Dispersão da necessidade de irrigação - NI (mm.dec ⁻¹) para dos níveis de probabilidade de “não-superação” da ETo (50 e 80%), em função dos anos normais (AN), secos (AS) e úmidos (AU); período total de chuvas (PT - ano) e período seco (PS - abril a setembro); ÉPOCA 1 - 01/04	128
Figura 46 - Dispersão da necessidade de irrigação - NI (mm.dec-1) para dos níveis de probabilidade de “não-superação” da ETo (50 e 80%), em função dos anos normais (AN), secos (AS) e úmidos (AU); período total de chuvas (PT - ano) e período seco (PS - abril a setembro); ÉPOCA 2 - 01/07	128
Figura 47 - Dispersão da necessidade de irrigação - NI (mm.dec-1) para dois níveis de probabilidade de “não-superação” da ETo (50 e 80%), em função dos anos normais (AN),	

secos (AS) e úmidos (AU); período total de chuvas (PT - ano) e período seco (PS - abril a setembro); ÉPOCA 3 - 01/10	129
Figura 48 - Dispersão dos valores de evapotranspiração - ETc ou ETr (mm.ciclo^{-1}), 1983 a 2013.....	135
Figura 49 - Dispersão das razões entre a evapotranspiração real e da cultura - ETr/ETc (Adm.), 1983 a 2013	136
Figura 50 - Dispersão dos valores de precipitação pluvial efetiva - PPTef (mm.ciclo^{-1}), 1983 a 2013.....	136
Figura 51 - Dispersão das razões entre a precipitação pluvial efetiva e total - PPTef/PPT (Adm.), 1983 a 2013	137
Figura 52 - Dispersão dos valores de perdas de precipitação pluvial - P_PPT (mm.ciclo^{-1}), 1983 a 2013.....	137
Figura 53 - Dispersão dos valores de lâmina líquida de irrigação - LL (mm.ciclo^{-1}), 1983 a 2013.....	138
Figura 54 - Dispersão dos valores de lâmina bruta de irrigação - LB (mm.ciclo^{-1}), 1983 a 2013	138
Figura 55 - Dispersão dos valores de precipitação pluvial - PPT (mm.d^{-1}), 1983 a 2013	139
Figura 56 - Comportamento e dispersão do coeficiente de estresse hídrico - ks (Adm.) ao longo do ciclo; ÉPOCA 1 (01/04).....	140
Figura 57 - Comportamento e dispersão do coeficiente de estresse hídrico - ks (Adm.) ao longo do ciclo; ÉPOCA 2 (01/07).....	140
Figura 58 - Comportamento e dispersão do coeficiente de estresse hídrico - ks (Adm.) ao longo do ciclo; ÉPOCA 3 (01/10).....	141
Figura 59 - Comportamento e dispersão da depleção de água no solo - Depl. (% , $p*100$); ÉPOCA 1 (01/04).....	141
Figura 60 - Comportamento e dispersão da depleção de água no solo - Depl. (% , $p*100$); ÉPOCA 2 (01/07).....	142
Figura 61 - Comportamento e dispersão da depleção de água no solo - Depl. (% , $p*100$); ÉPOCA 3 (01/10).....	142
Figura 62 - Comportamento e dispersão do déficit hídrico no solo (mm) ao longo do ciclo; ÉPOCA 1 (01/04).....	143
Figura 63 - Comportamento e dispersão do déficit hídrico no solo (mm) ao longo do ciclo; ÉPOCA 2 (01/07).....	143

Figura 64 - Comportamento e dispersão do déficit hídrico no solo (mm) ao longo do ciclo; ÉPOCA 3 (01/10)	144
Figura 65 - “Perfis” de evapotranspiração (ETc ou ETr, mm.d ⁻¹), ao longo do ciclo, para a ÉPOCA 1 (01/04)	144
Figura 66 - “Perfis” de evapotranspiração (ETc ou ETr, mm.d ⁻¹), ao longo do ciclo, para a ÉPOCA 2 (01/07)	145
Figura 67 - “Perfis” de evapotranspiração (ETc ou ETr, mm.d ⁻¹), ao longo do ciclo, para a ÉPOCA 3 (01/10)	145
Figura 68 - Dispersão dos valores do coeficiente de estresse hídrico - ks (Adm.) no momento da irrigação; ÉPOCA 1 (01/04)	146
Figura 69 - Dispersão dos valores do coeficiente de estresse hídrico - ks (Adm.) no momento da irrigação; ÉPOCA 2 (01/07)	147
Figura 70 - Dispersão dos valores do coeficiente de estresse hídrico - ks (Adm.) no momento da irrigação; ÉPOCA 3 (01/10)	147
Figura 71 - Dispersão dos valores da depleção de água no solo - Depl. (% , p*100) no momento da irrigação; ÉPOCA 1 (01/04)	148
Figura 72 - Dispersão dos valores da depleção de água no solo - Depl. (% , p*100) no momento da irrigação; ÉPOCA 2 (01/07)	148
Figura 73 - Dispersão dos valores da depleção de água no solo - Depl. (% , p*100) no momento da irrigação; ÉPOCA 3 (01/10)	149
Figura 74 - Dispersão da evapotranspiração em relação à ETc (% da ETc) no momento da irrigação; ÉPOCA 1 (01/04)	149
Figura 75 - Dispersão da evapotranspiração em relação à ETc (% da ETc) no momento da irrigação; ÉPOCA 2 (01/07)	150
Figura 76 - Dispersão da evapotranspiração em relação à ETc (% da ETc) no momento da irrigação; ÉPOCA 3 (01/10)	150
Figura 77 - Dispersão dos valores de lâminas de irrigação bruta - LB (mm). ÉPOCA 1 (01/04)	151
Figura 78 - Dispersão dos valores de lâminas de irrigação bruta - LB (mm). ÉPOCA 2 (01/07)	151
Figura 79 - Dispersão dos valores de lâminas de irrigação bruta - LB (mm). ÉPOCA 3 (01/10)	152
Figura 80 - Dispersão dos valores de vazão específica necessária ao longo do ciclo - Qe (l.s ⁻¹ .ha ⁻¹); ÉPOCA 1 (01/04)	152

Figura 81 - Dispersão dos valores de vazão específica necessária ao longo do ciclo - Q_e ($l.s^{-1}.ha^{-1}$); ÉPOCA 2 (01/07)	153
Figura 82 - Dispersão dos valores de vazão específica necessária ao longo do ciclo - Q_e ($l.s^{-1}.ha^{-1}$); ÉPOCA 3 (01/10)	153
Figura 83 - Vazões específicas - Q_e ($l.s^{-1}.ha^{-1}$) calculadas em função da Planilha da ANA .	154
Figura 84 - Dispersão dos valores de evapotranspiração - ET_c ou ET_r ($mm.ciclo^{-1}$), anos contrastantes, (A) $ET_o-50\%$ e (B) $ET_o-80\%$	167
Figura 85 - Dispersão da razão entre a evapotranspiração real e da cultura - ET_r/ET_c (Adm.), anos contrastantes, (A) $ET_o-50\%$ e (B) $ET_o-80\%$	168
Figura 86 - Dispersão dos valores de precipitação pluvial efetiva - PPT_{ef} ($mm.ciclo^{-1}$), anos contrastantes, (A) $ET_o-50\%$ e (B) $ET_o-80\%$	169
Figura 87 - Dispersão da razão entre a precipitação pluvial efetiva e total - PPT_{ef}/PPT (Adm.), anos contrastantes, (A) $ET_o-50\%$ e (B) $ET_o-80\%$	170
Figura 88 - Dispersão dos valores de perdas de precipitação pluvial - P_{PPT} ($mm.ciclo^{-1}$), anos contrastantes, (A) $ET_o-50\%$ e (B) $ET_o-80\%$	171
Figura 89 - Dispersão dos valores de lâmina líquida de irrigação - LL ($mm.ciclo^{-1}$), anos contrastantes, (A) $ET_o-50\%$ e (B) $ET_o-80\%$	172
Figura 90 - Dispersão dos valores de lâmina bruta de irrigação - LB ($mm.ciclo^{-1}$), anos contrastantes, (A) $ET_o-50\%$ e (B) $ET_o-80\%$	173
Figura 91 - Valores de precipitação pluvial - PPT ($mm.d^{-1}$) em função da determinação dos anos contrastantes (AN, AS e AU) para o PS e PT, na ÉPOCA 1 - 01/04	174
Figura 92 - Valores de precipitação pluvial - PPT ($mm.d^{-1}$) em função da determinação dos anos contrastantes (AN, AS e AU) para o PS e PT, na ÉPOCA 2 - 01/07	175
Figura 93 - Valores de precipitação pluvial - PPT ($mm.d^{-1}$) em função da determinação dos anos contrastantes (AN, AS e AU) para o PS e PT, na ÉPOCA 3 - 01/10	175
Figura 94 - Comportamento e dispersão dos valores do coeficiente de estresse hídrico - ks (Adm.) ao longo do ciclo; ÉPOCA 1 (01/04)	176
Figura 95 - Comportamento e dispersão dos valores do coeficiente de estresse hídrico - ks (Adm.) ao longo do ciclo; ÉPOCA 2 (01/07)	176
Figura 96 - Comportamento e dispersão dos valores do coeficiente de estresse hídrico - ks (Adm.) ao longo do ciclo; ÉPOCA 3 (01/10)	177
Figura 97 - Comportamento e dispersão da depleção de água no solo - $Depl.$ ($\%$, $p*100$) ao longo do ciclo; ÉPOCA 1 (01/04).....	177

Figura 98 - Comportamento e dispersão da depleção de água no solo - Depl. (% , $p*100$) ao longo do ciclo; ÉPOCA 2 (01/07)	178
Figura 99 - Comportamento e dispersão da depleção de água no solo - Depl. (% , $p*100$) ao longo do ciclo; ÉPOCA 3 (01/10)	178
Figura 100 - Comportamento e dispersão do déficit hídrico no solo (mm) ao longo do ciclo; ÉPOCA 1 (01/04)	179
Figura 101 - Comportamento e dispersão do déficit hídrico no solo (mm) ao longo do ciclo; ÉPOCA 2 (01/07)	179
Figura 102 - Comportamento e dispersão do déficit hídrico no solo (mm) ao longo do ciclo; ÉPOCA 3 (01/10)	180
Figura 103 - “Perfis” de evapotranspiração (ET_c ou ET_r , $mm.d^{-1}$) ao longo do ciclo; ÉPOCA 1 (01/04)	180
Figura 104 - “Perfis” de evapotranspiração (ET_c ou ET_r , $mm.d^{-1}$) ao longo do ciclo; ÉPOCA 2 (01/07)	181
Figura 105 - “Perfis” de evapotranspiração (ET_c ou ET_r , $mm.d^{-1}$) ao longo do ciclo; ÉPOCA 3 (01/10)	181
Figura 106 - Dispersão dos valores do coeficiente de estresse hídrico - k_s (Adm.) no momento da irrigação; ÉPOCA 1 (01/04)	182
Figura 107 - Dispersão dos valores do coeficiente de estresse hídrico - k_s (Adm.) no momento da irrigação; ÉPOCA 2 (01/07)	183
Figura 108 - Dispersão dos valores do coeficiente de estresse hídrico - k_s (Adm.) no momento da irrigação; ÉPOCA 3 (01/10)	183
Figura 109 - Dispersão dos valores da depleção de água no solo - Depl. (% , $p*100$) no momento da irrigação; ÉPOCA 1 (01/04)	184
Figura 110 - Dispersão dos valores da depleção de água no solo - Depl. (% , $p*100$) no momento da irrigação; ÉPOCA 2 (01/07)	184
Figura 111 - Dispersão dos valores da depleção de água no solo - Depl. (% , $p*100$) no momento da irrigação; ÉPOCA 3 (01/10)	185
Figura 112 - Dispersão da evapotranspiração em relação à ET_c (% da ET_c) no momento da irrigação; ÉPOCA 1 (01/04)	185
Figura 113 - Dispersão da evapotranspiração em relação à ET_c (% da ET_c) no momento da irrigação; ÉPOCA 2 (01/07)	186
Figura 114 - Dispersão da evapotranspiração em relação à ET_c (% da ET_c) no momento da irrigação; ÉPOCA 3 (01/10)	186

Figura 115 - Dispersão dos valores de lâminas de irrigação bruta - LB (mm); ÉPOCA 1 (01/04).....	187
Figura 116 - Dispersão dos valores de lâminas de irrigação bruta - LB (mm); ÉPOCA 2 (01/07).....	187
Figura 117 - Dispersão dos valores de lâminas de irrigação bruta - LB (mm); ÉPOCA 3 (01/10).....	188
Figura 118 - Dispersão dos valores de vazão específica necessária ao longo do ciclo - Q_e ($l.s^{-1}.ha^{-1}$); ÉPOCA 1.....	188
Figura 119 - Dispersão dos valores de vazão específica necessária ao longo do ciclo - Q_e ($l.s^{-1}.ha^{-1}$); ÉPOCA 2.....	189
Figura 120 - Dispersão dos valores de vazão específica necessária ao longo do ciclo - Q_e ($l.s^{-1}.ha^{-1}$); ÉPOCA 3.....	189
Figura 121 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) na fase inicial (A)	199
Figura 122 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) na fase de desenvolvimento (B).....	200
Figura 123 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) na fase intermediária (C).....	200
Figura 124 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) na fase final (D)	201
Figura 125 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) no ciclo total (T)	201
Figura 126 - Redução da produtividade na fase inicial (A)	202
Figura 127 - Redução da produtividade na fase de desenvolvimento (B)	202
Figura 128 - Redução da produtividade na fase intermediária (C)	203
Figura 129 - Redução da produtividade na fase final (D).....	203
Figura 130 - Redução da produtividade no ciclo total (T).....	204
Figura 131 - Redução da produtividade acumulada na fase inicial (A).....	204
Figura 132 - Redução da produtividade acumulada na fase de desenvolvimento (B).....	205
Figura 133 - Redução da produtividade acumulada na fase intermediária (C).....	205
Figura 134 - Redução da produtividade acumulada na fase final (D)	206
Figura 135 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) na fase inicial (A), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%	215

Figura 136 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) na fase de desenvolvimento (B), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%	216
Figura 137 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) na fase intermediária (C), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%	217
Figura 138 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) na fase final (D), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%	218
Figura 139 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) no ciclo total (T), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%	219
Figura 140 - Redução da produtividade na fase inicial (A), (1) ETo-50% e (2) ETo-80% ...	220
Figura 141 - Redução da produtividade na fase de desenvolvimento (B), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%	221
Figura 142 - Redução da produtividade na fase intermediária (C), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%	222
Figura 143 - Redução da produtividade na fase final (D), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%	223
Figura 144 - Redução da produtividade no ciclo total (T), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%	224
Figura 145 - Redução da produtividade acumulada na fase inicial (A), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%	225
Figura 146 - Redução da produtividade acumulada na fase de desenvolvimento (B), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%	226
Figura 147 - Redução da produtividade acumulada na fase intermediária (C), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%	227
Figura 148 - Redução da produtividade acumulada na fase final (D), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%	228
Figura 149 - Dispersão dos valores das vazões mensais de outorga ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), simulações ano-a-ano (31 anos), ÉPOCA 1 (10 mil ha); I. SUP	229
Figura 150 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) com diferentes probabilidades teóricas de “não-superação”, ÉPOCA 1 (10 mil ha); I. SUP	229
Figura 151 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) para os anos contrastantes, ÉPOCA 1 (10 mil ha); I. SUP	230
Figura 152 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), Planilha-ANA, ÉPOCA 1 (10 mil ha); I. SUP	230
Figura 153 - Dispersão dos valores das vazões mensais de outorga ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), simulações ano-a-ano (31 anos), ÉPOCA 2 (10 mil ha); I. SUP	233

Figura 154 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) com diferentes probabilidades teóricas de “não-superação”, ÉPOCA 2 (10 mil ha); I. SUP	233
Figura 155 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) para os anos contrastantes, ÉPOCA 2 (10 mil ha); I. SUP.....	234
Figura 156 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), Planilha-ANA, ÉPOCA 2 (10 mil ha); I. SUP	234
Figura 157 - Dispersão dos valores das vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), simulações ano-a-ano (31 anos), ÉPOCA 3 (10 mil ha); I. SUP	236
Figura 158 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) com diferentes probabilidades teóricas de “não-superação”, ÉPOCA 3 (10 mil ha); I. SUP	236
Figura 159 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) para os anos contrastantes, ÉPOCA 3 (10 mil ha); I. SUP.....	237
Figura 160 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), Planilha-ANA, ÉPOCA 3 (10 mil ha); I. SUP	237
Figura 161 - Dispersão dos valores das vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), simulações ano-a-ano (31 anos), área total cultivada (30 mil ha); I. SUP	239
Figura 162 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) com diferentes probabilidades teóricas de “não-superação”, área total cultivada (30 mil ha); I. SUP	239
Figura 163 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) para os anos contrastantes, área total (30 mil ha); I. SUP.....	240
Figura 164 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), Planilha-ANA, área total cultivada (30 mil ha); I. SUP.....	240
Figura 165 - Dispersão dos valores das vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), simulações ano-a-ano (31 anos), ÉPOCA 1 (10 mil ha); I. DEF.....	243
Figura 166 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) com diferentes probabilidades teóricas de “não-superação”, ÉPOCA 1 (10 mil ha); I. DEF	243
Figura 167 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) para os anos contrastantes, ÉPOCA 1 (10 mil ha); I. DEF.....	244
Figura 168 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), Planilha-ANA, ÉPOCA 1 (10 mil ha); I. DEF	244
Figura 169 - Dispersão dos valores das vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), simulações ano-a-ano (31 anos), ÉPOCA 2 (10 mil ha); I. DEF	246
Figura 170 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) com diferentes probabilidades teóricas de “não-superação”, ÉPOCA 2 (10 mil ha); I. DEF	246

Figura 171 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) para os anos contrastantes, ÉPOCA 2 (10 mil ha); I. DEF	247
Figura 172 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), Planilha-ANA, ÉPOCA 2 (10 mil ha); I. DEF.....	247
Figura 173 - Dispersão dos valores das vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), simulações ano-a-ano (31 anos), ÉPOCA 3 (10 mil ha); I. DEF.....	249
Figura 174 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) com diferentes probabilidades teóricas de “não-superação”, ÉPOCA 3 (10 mil ha); I. DEF.....	249
Figura 175 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) para os anos contrastantes, ÉPOCA 3 (10 mil ha); I. DEF	250
Figura 176 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), Planilha-ANA, ÉPOCA 3 (10 mil ha); I. DEF.....	250
Figura 177 - Dispersão dos valores das vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), simulações ano-a-ano (31 anos), área total cultivada (30 mil ha); I. DEF	252
Figura 178 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) com diferentes probabilidades teóricas de “não-superação”, área total cultivada (30 mil ha); I. DEF	252
Figura 179 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) para os anos contrastantes, área total (30 mil ha); I. DEF	253
Figura 180 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), Planilha-ANA, área total cultivada (30 mil ha); I. DEF	253

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Capacidade de moagem, capacidade de produção de etanol, capacidade de produção de energia e capacidade de produção de açúcar das Unidades da Odebrecht Agroindustrial.....	77
Tabela 2 - Moagem de cana, produção de etanol, produção de energia e produção de açúcar das Unidades da Odebrecht Agroindustrial	78
Tabela 3 - Divisão da área considerada representativa nas três épocas de início do ciclo e nos três tipos de solo	79
Tabela 4 - Municípios e estações meteorológicas de coleta de dados (BDMEP/INEMET)	80
Tabela 5 - Município da estação pluvial de coleta de dados (SIH, Versão Web 3.0/ANA)	81
Tabela 6 - Determinação dos fatores para ano úmido (Fu) e ano seco (Fs) em função da PPT anual acumulada	86
Tabela 7 - Determinação dos fatores para ano úmido (Fu) e ano seco (Fs) em função da PPT acumulada no período “seco”	87
Tabela 8 - Valores de referência para o coeficiente de cultura (kc), profundidade efetiva do sistema radicular (Z), fator de disponibilidade de água no solo (p) e coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico (Ky) ao longo das fases de crescimento e desenvolvimento da cultura (DOORENBOS e KASSAM, 1979; ALLEN et al., 1998)	89
Tabela 9 - Valores médios (M) e desvios padrões amostrais (DPA) da evapotranspiração da cultura (ETc), precipitação pluvial efetiva (PPTef) e necessidades de irrigação, Época 1, em função das simulações ano-a-ano (31 anos); Módulo “CWR” do <i>CROPWAT 8.0</i>	108
Tabela 10 - Valores médios (M) e desvios padrões amostrais (DPA) da evapotranspiração da cultura (ETc), precipitação pluvial efetiva (PPTef) e necessidades de irrigação, Época 2, em função das simulações ano-a-ano (31 anos); Módulo “CWR” do <i>CROPWAT 8.0</i>	109
Tabela 11 - Valores médios (M) e desvios padrões amostrais (DPA) da evapotranspiração da cultura (ETc), precipitação pluvial efetiva (PPTef) e necessidades de irrigação, Época 3, em função das simulações ano-a-ano (31 anos); Módulo “CWR” do <i>CROPWAT 8.0</i>	110
Tabela 12 - Valores da evapotranspiração da cultura (ETc), para ETo-50%; Valores médios (M) e desvios padrões amostrais (DPA) da precipitação pluvial efetiva (PPTef) e necessidades de irrigação, Época 1, em função das simulações dos anos contrastantes (AN, AU e AS; PT e PS)	116
Tabela 13 - Valores da evapotranspiração da cultura (ETc), para ETo-80%; Valores médios (M) e desvios padrões amostrais (DPA) da precipitação pluvial efetiva (PPTef) e necessidades	

de irrigação, Época 1, em função das simulações dos anos contrastantes (AN, AU e AS; PT e PS).....	117
Tabela 14 - Valores da evapotranspiração da cultura (ETc), para ETo-50%; Valores médios (M) e desvios padrões amostrais (DPA) da precipitação pluvial efetiva (PPTef) e necessidades de irrigação, Época 2, em função das simulações dos anos contrastantes (AN, AU e AS; PT e PS).....	118
Tabela 15 - Valores da evapotranspiração da cultura (ETc), para ETo-80%; Valores médios (M) e desvios padrões amostrais (DPA) da precipitação pluvial efetiva (PPTef) e necessidades de irrigação, Época 2, em função das simulações dos anos contrastantes (AN, AU e AS; PT e PS).....	119
Tabela 16 - Valores da evapotranspiração da cultura (ETc), para ETo-50%; Valores médios (M) e desvios padrões amostrais (DPA) da precipitação pluvial efetiva (PPTef) e necessidades de irrigação, Época 3, em função das simulações dos anos contrastantes (AN, AU e AS; PT e PS).....	120
Tabela 17 - Valores da evapotranspiração da cultura (ETc), para ETo-80%; Valores médios (M) e desvios padrões amostrais (DPA) da precipitação pluvial efetiva (PPTef) e necessidades de irrigação, Época 3, em função das simulações dos anos contrastantes (AN, AU e AS; PT e PS).....	121
Tabela 18 - Valores mínimos, 1º quartis, médios, 3º quartis, máximos, desvio padrão, assimetria e amplitude para: lâmina bruta (LB), evapotranspiração da cultura (ETc), precipitação pluvial total e efetiva (PPT e PPTef) e razão entre PPTef e PPT (PPTef/PPT), Irrigação Suplementar, para as simulações ano-a-ano (31 anos)	131
Tabela 19 - Valores mínimos, 1º quartis, médios, 3º quartis, máximos, desvio padrão, assimetria e amplitude para: lâmina bruta (LB), evapotranspiração real (ETr), precipitação pluvial efetiva (PPTef), razão entre ETr e ETc (ETr/ETc), Irrigação com Déficit, para as simulações ano-a-ano (31 anos).....	132
Tabela 20 - Valores mínimos, 1º quartis, médios, 3º quartis, máximos, desvio padrão, assimetria e amplitude para: evapotranspiração real (ETr), precipitação pluvial efetiva (PPTef), razão entre ETr e ETc (ETr/ETc) e razão entre PPTef e PPT (PPTef/PPT), Sequeiro, para as simulações ano-a-ano (31 anos).....	134
Tabela 21 - Valores de lâmina bruta (LB), lâmina líquida (LL), evapotranspiração real e da cultura (ETr e ETc) e razão entre evapotranspiração real e da cultura (ETr/ETc), precipitação pluvial total e efetiva (PPT e PPTef) e razão entre precipitação pluvial efetiva e total	

(PPTef/PPT), irrigação suplementar, para as simulações dos anos contrastantes (AN, AS e AU; PS e PT), com ETo-50%	155
Tabela 22 - Valores de lâmina bruta (LB), lâmina líquida (LL), evapotranspiração real e da cultura (ETr e ETc) e razão entre evapotranspiração real e da cultura (ETr/ETc), precipitação pluvial total e efetiva (PPT e PPTef) e razão entre precipitação pluvial efetiva e total (PPTef/PPT), irrigação suplementar, para as simulações dos anos contrastantes (AN, AS e AU; PS e PT), com ETo-80%	157
Tabela 23 - Valores de lâmina bruta (LB), lâmina líquida (LL), evapotranspiração real e da cultura (ETr e ETc) e razão entre evapotranspiração real e da cultura (ETr/ETc), precipitação pluvial total e efetiva (PPT e PPTef) e razão entre precipitação pluvial efetiva e total (PPTef/PPT), irrigação com déficit, para as simulações dos anos contrastantes (AN, AS e AU; PS e PT), com ETo-50%	159
Tabela 24 - Valores de lâmina bruta (LB), lâmina líquida (LL), evapotranspiração real e da cultura (ETr e ETc) e razão entre evapotranspiração real e da cultura (ETr/ETc), precipitação pluvial total e efetiva (PPT e PPTef) e razão entre precipitação pluvial efetiva e total (PPTef/PPT), irrigação com déficit, para as simulações dos anos contrastantes (AN, AS e AU; PS e PT), com ETo-80%	161
Tabela 25 - Valores de lâmina bruta (LB), lâmina líquida (LL), evapotranspiração real e da cultura (ETr e ETc) e razão entre evapotranspiração real e da cultura (ETr/ETc), precipitação pluvial total e efetiva (PPT e PPTef) e razão entre precipitação pluvial efetiva e total (PPTef/PPT), sequeiro, para as simulações dos anos contrastantes (AN, AS e AU; PS e PT), com ETo-50%	163
Tabela 26 - Valores de lâmina bruta (LB), lâmina líquida (LL), evapotranspiração real e da cultura (ETr e ETc) e razão entre evapotranspiração real e da cultura (ETr/ETc), precipitação pluvial total e efetiva (PPT e PPTef) e razão entre precipitação pluvial efetiva e total (PPTef/PPT), sequeiro, para as simulações dos anos contrastantes (AN, AS e AU; PS e PT), com ETo-80%	165
Tabela 27 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) (RETc, %), I. DEF, para as simulações ano-a-ano (31 anos)	190
Tabela 28 - Redução da produtividade (RP, %), I. DEF, para as simulações ano-a-ano (31 anos)	192
Tabela 29 - Redução da produtividade acumulada (RPA, %), I. DEF, para as simulações ano-a-ano (31 anos)	193

Tabela 30 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) (RETc, %), SEQ., para as simulações ano-a-ano (31 anos).....	195
Tabela 31 - Redução da produtividade (RP, %), SEQ., para as simulações ano-a-ano (31 anos).....	196
Tabela 32 - Redução da produtividade acumulada (RPA, %), SEQ., para as simulações ano-a-ano (31 anos).....	198
Tabela 33 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) (RETc, %), redução da produtividade (RP, %) e redução da produtividade acumulada (RPA, %), I. DEF, para as simulações dos anos contrastantes, ETo-50%.....	207
Tabela 34 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) (RETc, %), redução da produtividade (RP, %) e redução da produtividade acumulada (RPA, %), I. DEF, para as simulações dos anos contrastantes, ETo-80%.....	209
Tabela 35 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) (RETc, %), redução da produtividade (RP, %) e redução da produtividade acumulada (RPA, %), SEQ., para as simulações dos anos contrastantes, ETo-50%.....	211
Tabela 36 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) (RETc, %), redução da produtividade (RP, %) e redução da produtividade acumulada (RPA, %), SEQ., para as simulações dos anos contrastantes, ETo-80%.....	213
Tabela 37 - Vazões outorgáveis calculadas pela Planilha-ANA, ano-a-ano com probabilidade teórica de “não-superação” de 80%, ano seco período total (anual) e ano seco período seco (abril a setembro) com nível de ETo de 80% de probabilidade teórica de “não-superação”; Razões percentuais entre “Planilha-ANA” e metodologias propostas; Irrigação Suplementar; Época 1.....	231
Tabela 38 - Vazões outorgáveis calculadas pela Planilha-ANA, ano-a-ano com probabilidade teórica de “não-superação” de 80%, ano seco período total (anual) e ano seco período seco (abril a setembro) com nível de ETo de 80% de probabilidade teórica de “não-superação”; Razões percentuais entre “Planilha-ANA” e metodologias propostas; Irrigação Suplementar; Época 2.....	235
Tabela 39 - Vazões outorgáveis calculadas pela Planilha-ANA, ano-a-ano com probabilidade teórica de “não-superação” de 80%, ano seco período total (anual) e ano seco período seco (abril a setembro) com nível de ETo de 80% de probabilidade teórica de “não-superação”; Razões percentuais entre “Planilha-ANA” e metodologias propostas; Irrigação Suplementar; Época 3.....	238

Tabela 40 - Vazões outorgáveis calculadas pela Planilha-ANA, ano-a-ano com probabilidade teórica de “não-superação” de 80%, ano seco período total (anual) e ano seco período seco (abril a setembro) com nível de ETo de 80% de probabilidade teórica de “não-superação”; Razões percentuais entre “Planilha-ANA” e metodologias propostas; Irrigação Suplementar; Área total	241
Tabela 41 - Vazões outorgáveis calculadas pela Planilha-ANA, ano-a-ano com probabilidade teórica de “não-superação” de 80%, ano seco período total (anual) e ano seco período seco (abril a setembro) com nível de ETo de 80% de probabilidade teórica de “não-superação”; Razões percentuais entre “Planilha-ANA” e metodologias propostas; Irrigação com Déficit; Época 1	245
Tabela 42 - Vazões outorgáveis calculadas pela Planilha-ANA, ano-a-ano com probabilidade teórica de “não-superação” de 80%, ano seco período total (anual) e ano seco período seco (abril a setembro) com nível de ETo de 80% de probabilidade teórica de “não-superação”; Razões percentuais entre “Planilha-ANA” e metodologias propostas; Irrigação com Déficit; Época 2	248
Tabela 43 - Vazões outorgáveis calculadas pela Planilha-ANA, ano-a-ano com probabilidade teórica de “não-superação” de 80%, ano seco período total (anual) e ano seco período seco (abril a setembro) com nível de ETo de 80% de probabilidade teórica de “não-superação”; Razões percentuais entre “Planilha-ANA” e metodologias propostas; Irrigação com Déficit; Época 3	251
Tabela 44 - Vazões outorgáveis calculadas pela Planilha-ANA, ano-a-ano com probabilidade teórica de “não-superação” de 80%, ano seco período total (anual) e ano seco período seco (abril a setembro) com nível de ETo de 80% de probabilidade teórica de “não-superação”; Razões percentuais entre “Planilha-ANA” e metodologias propostas; Irrigação com Déficit; Área total	254

1 INTRODUÇÃO

A produtividade dos sistemas agrícolas de cana-de-açúcar, semelhante a outros cultivos, é dependente, basicamente, da interação de três principais fatores: a planta (variedades/cultivares, ciclo), o ambiente de produção (notadamente as condições climáticas - temperatura, radiação, precipitação pluvial; e o solo - tipo, características químicas e físico-hídricas;). Além disso, devido às práticas e ao manejo da cultura, tais como: época de plantio, densidade de plantio, tratos culturais, rotação de cultura, dentre outros (INMAN-BAMBER, 1994; INMAN-BAMBER, 1995; PARK et al., 2005; BONNET et al., 2006; GILBERT et al., 2006;).

Os sistemas de produção de cana-de-açúcar visam três objetivos principais: (1) produtividade; (2) qualidade da matéria-prima e (3) longevidade do canavial (CÂMARA, 1993). Todos estes objetivos, com maior ou menor grau de sensibilidade, estão intimamente relacionados com a disponibilidade hídrica à cultura.

Fatores ambientais adversos, dos quais o déficit hídrico constitui a restrição mais severa à agricultura, representam cerca de 70 % das perdas de produtividade em todo o mundo (BOYER, 1982). A água vem sendo o principal fator limitante da produção agrícola em grande parte do mundo, onde as precipitações são insuficientes e/ou irregulares para atender a demanda hídrica das culturas (STEDUTO et al., 2012). Ainda segundo estes autores, em função da crescente competição por recursos hídricos limitados em boa parte do mundo e o constante aumento da demanda por *commodities* agrícolas, nunca foi tão importante enfatizar a atenção para a melhoria na eficiência do uso e na produtividade da água dos sistemas agrícolas, visando assim garantir a segurança alimentar e energética no futuro e o convívio com as incertezas associadas às mudanças nos padrões climáticos.

Sabe-se que o déficit hídrico, afeta vários aspectos do crescimento vegetal; os efeitos mais óbvios se referem à redução do tamanho/crescimento das plantas, de sua área foliar e da produtividade da cultura. Além disto, o déficit hídrico não é limitado apenas às regiões áridas e semiáridas do mundo, uma vez que mesmo em regiões consideradas climaticamente úmidas, a distribuição irregular das chuvas pode, em alguns períodos, limitar o crescimento (TAIZ e ZEIGER, 2004). Sistemas de produção de cana-de-açúcar e suas indústrias, a nível mundial, estão localizados em regiões com incertezas e variabilidades climáticas. Lidar com estes fatores é importante para a produção rentável e sustentável da cana-de-açúcar, uma vez que a instabilidade de renda, ano após ano, pode afetar as operações agrícolas e industriais.

No Brasil, a precipitação pluvial contribui substancialmente para atendimento da necessidade hídrica da cultura em boa parte das regiões tradicionalmente produtoras de cana-de-açúcar e, em algumas regiões específicas, há disponibilidade de água para irrigação suplementar, atendendo-se plenamente às necessidades hídricas da cultura. Entretanto, em muitas outras regiões, a disponibilidade de água para irrigação não é suficiente para atender plenamente a demanda hídrica da cultura, porém pode-se praticar irrigação com déficit, melhorando-se assim a disponibilidade hídrica à cultura e os níveis de produtividade.

A irrigação da cana-de-açúcar é, hoje, uma das alternativas tecnológicas para a verticalização da produção dessa cultura no Brasil. O aumento da produtividade da cultura é questão vital ao setor, melhorando não só a eficiência no campo como, também, reduzindo a ociosidade industrial das usinas de forma a satisfazer a capacidade de moagem das mesmas. Obviamente, é de fundamental importância o conhecimento da necessidade hídrica da cultura ao longo do seu ciclo de crescimento e desenvolvimento, bem como de suas especificidades fisiológicas, visando assim à adequação do manejo da água na cana-de-açúcar.

Contudo, a prática da irrigação é restrita a áreas que apresentam potencial para isto, seja na disponibilidade e concorrência por recursos hídricos e, ou por energia, seja nas questões que envolvam o êxito na viabilidade técnica e econômica do projeto. Ademais, em se havendo disponibilidade hídrica para irrigação, implica-se na necessidade de outorga de direito de uso de recursos hídricos para sua captação. A outorga é um dos seis instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecidos no inciso III, do art. 5º da Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Esse instrumento tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso aos recursos hídricos. Sendo os demais instrumentos: os Planos de Recursos Hídricos (I); o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água (II); a cobrança pelo uso de recursos hídricos (IV); a compensação a municípios (V); o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (VI).

As estimativas das vazões de captação mensais para outorga são atualmente calculadas através de dados estimados de precipitação pluvial efetiva provável e evapotranspiração de referência - fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA), para o local - e de parâmetros da cultura (época de plantio e coeficientes de cultivo - k_c), área irrigada e eficiência da irrigação, que devem ser fornecidos pelo requerente da outorga de direito de uso de recursos hídricos.

No caso em que se têm limitações para captação de água para irrigação (outorga limitada), uma abordagem importante para o setor refere-se na melhoria da estratégia de uso

desta fonte limitada de água através da adequação dos critérios/enfoques do manejo da irrigação, garantindo-se assim, níveis ajustados de disponibilidade hídrica no solo principalmente nas fases onde a planta apresenta maior sensibilidade ao déficit hídrico. Desta forma, é possível minimizar-se as perdas relativas de produtividade. Segundo Salassier et al., (2006), no que se refere a prática da irrigação e fontes de água, em regiões onde a água é fator limitante, o objetivo deve ser a obtenção de rendimentos máximos por unidade de água aplicada (máxima produtividade da água). Noutras condições, o propósito pode ser a obtenção de rendimento máximo por unidade de área cultivada (máxima produtividade da cultura) ou ainda, de maneira mais racional, por unidade de custo (máxima produtividade econômica da cultura).

Desta forma, faz-se necessário uma análise criteriosa das condições das áreas de cultivo da cana-de-açúcar, principalmente suas características climáticas (temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar, velocidade dos ventos e, consequentemente, evapotranspiração de referência; a precipitação pluvial) e de solo (tipo, profundidade e propriedades físico-hídricas), caracterizando-se assim os ambientes de produção. Com base nestas informações e, nas informações da cultura (espécie/variedade cultivada, fenologia, sistema de cultivo, coeficientes de cultura) é possível o estudo do balanço hídrico da cultura (BHC), verificando-se assim, à que níveis de atendimento da demanda hídrica estão sujeitos estes ambientes, bem como, as necessidades de irrigação para o desenvolvimento favorável da cultura. Para tanto, faz-se necessário o conhecimento das inter-relações entre os componentes do sistema água-solo-planta-atmosfera.

Este estudo tem como hipótese primária de que, a metodologia de cálculo das vazões de outorga proposta pela ANA, não fornece segurança operacional para grandes empreendimentos, uma vez que esta não possui um caráter probabilístico adequado que leve em consideração as variações anuais de precipitação e evapotranspiração. Ainda, como hipótese secundária, à determinação das vazões de outorga por meio da metodologia proposta pela FAO (*CROPWAT 8.0*) é passível de vulnerabilidades diante dos critérios de escolha dos anos representativos (ano seco, médio e úmido), limitando as vazões de captação/outorga em anos de eventos extremos.

Desta forma, uma comparação das diferentes metodologias para determinação das vazões de outorga, como a praticada pela ANA ou como a maneira proposta e recomendada pela FAO, com um estudo de caso mais detalhado e que demonstre a variabilidade temporal desta variável, tem como objetivo validar ou não a hipótese apresentada anteriormente, visando assim à otimização e o uso racional deste recurso nos sistemas agrícolas de cana-de-

açúcar. Assim, este trabalho tem como objetivo principal determinar a influência do critério/enfoque do manejo da irrigação e dos níveis de probabilidade de ocorrência da evapotranspiração de referência (ET_o) e precipitação (PPT) na determinação das vazões mensais outorgáveis para irrigação de cana-de-açúcar. Ainda, como objetivos secundários, estimar as necessidades hídricas e de irrigação da cana-de-açúcar para a região de estudo, em função de diferentes épocas de início do ciclo e características físico-hídricas do solo (capacidade relativa total de água disponível); quantificar as reduções relativas da produtividade em função do manejo de irrigação com déficit e condição de sequeiro.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Necessidades hídricas das culturas e necessidades de irrigação

A quantidade de água necessária para repor a perda por evapotranspiração de um cultivo é definida como necessidade hídrica da cultura. Embora os valores de evapotranspiração da cultura (ETc) e da necessidade hídrica sejam próximos, necessidade hídrica da cultura refere-se à quantidade de água que precisa ser fornecida, enquanto ETc refere-se à quantidade de água que é perdida através da evapotranspiração.

Assim, as necessidades hídricas são normalmente expressas mediante a quantificação da densidade de fluxo de evapotranspiração da cultura (ETc, $V.L^{-2}.T^{-1}$, geralmente expressa em $mm.dia^{-1}$ ou $mm.período^{-1}$). A estimativa da necessidade hídrica da cultura é um elemento fundamental para o manejo da água nos sistemas agrícolas cultivado, haja vista a necessidade de se dimensionar, planejar e programar a dinâmica da água nestes sistemas.

As necessidades de irrigação são calculadas, resumidamente, em função da diferença entre a evapotranspiração da cultura (ETc) e a precipitação pluvial efetiva. Porém, vale ressaltar que para o cálculo da lâmina líquida de irrigação são necessários acréscimos, quando for o caso, em função de outros usos benéficos da água, como a lixiviação do excesso de sais, por exemplo; ainda, no cálculo da lâmina bruta de irrigação, devem-se prever as perdas inerentes à aplicação de água (eficiência de aplicação).

2.1.1 Estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc)

A evapotranspiração da cultura (ETc), também denominada evapotranspiração máxima (ETm) por alguns autores (DOORENBOS e KASSAM, 1979), representa a evapotranspiração de uma cultura, em seu sistema de cultivo, submetida às condições ótimas de fertilidade, livre de pragas e doenças, cultivada em grandes campos e sem restrição hídrica, sendo esta denominada de “condição-padrão” (condição potencial) e, assim, atingindo plena produtividade sob as dadas condições climáticas.

A evapotranspiração da cultura (ETc) pode ser estimada a partir de dados meteorológicos, integrando-se os fatores de resistência da cultura, albedo e a resistência do ar, conforme abordagem de Penman-Monteith. Porém, como ainda há uma considerável falta destas informações para diferentes culturas, o método de Penman-Monteith é, comumente, mais utilizado para a estimativa apenas da evapotranspiração de referência (ETo), que

representa a evapotranspiração de uma cultura hipotética e padronizada, sendo variável apenas em função das condições climáticas (elementos meteorológicos).

A partir daí, pode-se relacionar a evapotranspiração de referência (ET_o) com a evapotranspiração das demais culturas (equação 01) através da abordagem do conceito de cultura (k_c), que varia, principalmente, em função da espécie e das fases de cultivo (fases fenológicas).

$$ET_c = ET_o \cdot K_c \quad (01)$$

em que:

ET_c - evapotranspiração da cultura (mm.período⁻¹);

ET_o - evapotranspiração de referência (mm.período⁻¹);

k_c - coeficiente de cultura (adimensional);

2.1.1.1 Evapotranspiração de referência (ET_o)

A taxa de evapotranspiração de uma cultura de referência (cultura hipotética e padronizada), sem restrições hídricas, é chamada de evapotranspiração de referência (ET_o). O conceito de ET_o foi introduzido para estudar a demanda evaporativa da atmosfera, independentemente do tipo de cultura, do seu estágio de desenvolvimento e das práticas de manejo. Em condições não restritivas de umidade do solo na superfície de referência, considera-se que os fatores do solo não afetam a ET_o.

Assim, padronizando-se o processo de evapotranspiração de uma superfície específica tomada como referência, permite-se relacionar à evapotranspiração de outras superfícies. Além disto, valores de ET_o medidos ou calculados em locais diferentes ou em diferentes estações do ano são comparáveis, pois referem-se a evapotranspiração da mesma superfície de referência.

Os únicos fatores que afetam a ET_o são variáveis meteorológicas. Consequentemente, a ET_o é um variável climática (“parâmetro” climático) e pode ser calculado a partir de dados meteorológicos. A ET_o expressa o poder de evaporação da atmosfera em um local e tempo específico do ano e não leva em consideração as características da cultura e fatores do solo.

A base técnica-teórica para o cálculo/estimativa da ET_o provem do Boletim FAO nº 56 (*Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements*, FAO Irrigation and drainage paper 56) (ALLEN et al., 1998), conhecido como método FAO Penman-Monteith, e foi derivado da equação de Penman-Monteith, sintetizado a seguir.

2.1.1.1.1 Método FAO Penman-Monteith para a estimativa da ETo

Após conferência de especialistas e pesquisadores organizada e realizada pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura - FAO (sigla em inglês de *Food and Agriculture Organization of the United Nations*), no ano de 1990, e com a colaboração da Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem (*International Commission for Irrigation and Drainage*) e da Organização Meteorológica Mundial (*World Meteorological Organization*), foram revistas e atualizadas as bases metodológicas e os procedimentos para o cálculo/estimativa das necessidades hídricas das culturas.

Diante disto, definiu-se a adoção do método combinado de Penman-Monteith para a quantificação da ETo, bem como, se padronizou os procedimentos para o cálculo dos parâmetros envolvidos no método.

Assim, definiu-se a “cultura de referência” como sendo uma cultura hipotética, com uma altura de 0,12 m, com resistência da superfície de 70 s.m^{-1} e albedo de 0,23, muito semelhantes aos parâmetros de uma extensa superfície de grama, com altura uniforme, crescendo ativamente e sem restrição hídrica. Desta forma, padronizou-se o método FAO Penman-Monteith, superando deficiências do método anterior FAO Penman e, fornecendo assim, valores mais coerentes a realidade mundial. A partir da equação original de Penman-Monteith e das equações da resistência aerodinâmica e da superfície, o método FAO Penman-Monteith para estimativa da ETo ficou definido conforme a equação abaixo (equação 02).

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2)} \quad (02)$$

em que:

ET_o - evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹);

R_n - saldo de radiação na superfície da cultura (MJ.m⁻².dia⁻¹);

G - densidade de fluxo de calor no solo (MJ.m⁻².dia⁻¹);

T - temperatura média diária do ar, a 2 m de altura (°C);

u₂ - velocidade do vento, a 2 m de altura (m.s⁻¹);

e_s - pressão de saturação de vapor (kPa);

e_a - pressão parcial/atual de vapor (kPa);

e_s - e_a - déficit de pressão de saturação de vapor (kPa);

Δ - inclinação da curva de pressão de saturação de vapor (kPa.°C⁻¹);

Γ - constante psicrométrica (kPa.°C⁻¹).

A partir daí, a equação para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) tornou-se padronizada, permitindo comparações em diferentes períodos do ano e em

diferentes regiões, bem como, permitindo que a evapotranspiração de outras culturas possam ser relacionados. Esta equação utiliza registros de elementos meteorológicos como radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar e velocidade do vento. Para garantir a integridade dos cálculos, às medições destes elementos meteorológicos foram, também, padronizadas a 2 m da superfície do solo (ou convertidos a esta altura) e sobre uma extensa superfície de grama, sem restrição hídrica.

Assim, este método supera a desvantagem dos métodos anteriormente recomendados, assim como, incorpora ambos os parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos. Além disso, há uma série de procedimentos que foram desenvolvidos para a utilização deste método mesmo com dados meteorológicos limitados. A equação FAO Penman-Monteith é, enfim, a representação simples dos fatores físico-fisiológicos que regem o processo de evapotranspiração.

O método FAO Penman-Monteith é recomendado como o método padrão para se determinar a ETo , pois fornece valores mais consistentes quando comparado com outros métodos em diferentes regiões do globo, como demonstrado através de diversos anos de avaliações e relatos na literatura científica.

2.1.1.2 O coeficiente de cultura (k_c)

Para se relacionar a evapotranspiração de referência (ETo) com a evapotranspiração dos demais cultivos, desenvolveu-se o conceito do coeficiente de cultura (k_c), que relaciona a evapotranspiração da cultura (ETc) com a ETo . Conforme apresentado na equação 01 e isolando-se o termo k_c , tem-se (equação 03):

$$k_c = \frac{ETc}{ETo} \quad (03)$$

em que:

k_c - coeficiente de cultura (adimensional);

ETc - evapotranspiração da cultura (mm.período^{-1});

ETo - evapotranspiração de referência (mm.período^{-1});

Nesta abordagem, as diferenças no dossel da cultura e da resistência aerodinâmica em relação à cultura hipotética são contabilizadas no coeficiente de cultura (k_c). O k_c serve, desta maneira, como uma agregação das diferenças físico-fisiológicas entre cultivos/culturas e a “cultura hipotética” tomada como referência.

A radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar, assim como a velocidade do vento são todos elementos meteorológicos incorporados na estimativa da ETo . Portanto, ETo representa um índice de demanda climática, enquanto o k_c varia, predominantemente, em função das características específicas da cultura dentro do seu sistema de cultivo “convencional” e da fase de crescimento/desenvolvimento da cultura (fases fenológicas). Isso permite, de certa forma, a transferência de valores padrões de k_c para as culturas entre locais e climas distintos. Em função disto, tem-se obtido uma aceitação e utilidade global a abordagem do coeficiente de cultura.

Experimentalmente, determinam-se os valores de evapotranspiração da cultura (ET_c) ao longo do ciclo de cultivo, para a cultura de interesse em seu sistema de cultivo. Já a ETo é calculada e definida usando-se o método FAO Penman-Monteith, desta maneira são estabelecidas as relações entre ET_c e ETo .

O k_c representa a integração dos efeitos das quatro principais características que distinguem a cultura de interesse e a “cultura de referência”, sendo elas:

- Altura da cultura (dossel) - a altura do dossel da cultura influencia, predominantemente, no termo resistência aerodinâmica (r_a) e a transferência de vapor do dossel da cultura devido à turbulência atmosférica;
- Albedo da superfície solo/planta - o albedo é afetado pela fração do solo coberto por vegetação e pela umidade da superfície do solo exposto. O albedo da superfície influencia no balanço de radiação e energia e, consequentemente, no saldo de radiação, fonte primária de energia para o processo de evaporação.
- Resistência do dossel - a resistência do dossel da cultura, no processo de transferência de vapor, é afetada pela área foliar (número de estomas), a idade e condição da folha, e o grau de controle estomático. A resistência do dossel influencia de maneira direta a resistência da superfície (r_s).
- Evaporação direta do solo - ocorre especialmente em solos expostos (antes da cobertura do dossel)

Portanto, diferenças na anatomia foliar, características estomáticas, propriedades aerodinâmicas e até mesmo albedo diferenciam a ET_c da ETo , sob as mesmas condições climáticas. Além disto, devido às variações nas características da cultura ao longo do seu período de crescimento e desenvolvimento (fases fenológicas) - do plantio até a colheita - provocam variações no k_c .

Desta forma, a metodologia de abordagem do k_c permite a estimativa da ET_c . Isso representa o nível “máximo” de evapotranspiração da cultura, e em alguns casos é assim denominada por alguns autores (ET_m - evapotranspiração máxima), não havendo assim restrições no crescimento da cultura e na evapotranspiração devido ao déficit hídrico, ou à doenças, plantas daninhas, pragas, excesso de sais.

2.1.2 Evapotranspiração real (ET_r ou ET_c adj)

A evapotranspiração da cultura (ET_c), prevista/estimada por k_c , pode ainda ser ajustada, quando necessário, às condições não padronizadas, contrárias às descritas anteriormente, ou seja, quando da ocorrência de restrições ao crescimento/desenvolvimento da cultura em termos de redução na evapotranspiração, sendo esta denominada de evapotranspiração real (ET_r ou ET_c adj). Neste caso, a presença de estresses, notadamente o déficit hídrico, impactam na ET_c .

Em outras palavras, a ET_r representa a evapotranspiração da cultura sob as condições reais de manejo da água no solo. Pode ser igual à “condição-padronizada”, sem restrição hídrica, ou menor que a “condição-padronizada”, em caso de restrição hídrica.

Tais reduções na evapotranspiração ocorrem devido às forças que atuam sobre a água no solo, diminuindo sua energia potencial e tornando-a “menos disponível” para a absorção pelas raízes da planta. Quando o solo é umedecido, a água tem uma energia potencial alta, é “relativamente” livre para mover-se e é facilmente absorvida pelas raízes das plantas. Em solos secos, a água tem uma energia potencial baixa e está fortemente retida no solo (forças de absorção da matriz do solo), sendo, desta maneira, dificultada a sua utilização pela planta.

Para ajustar a evapotranspiração às condições reais (ET_r ou ET_c adj), relaciona-se a evapotranspiração da cultura (ET_c ou ET_m) com a abordagem do coeficiente de estresse hídrico (k_s), sendo esta calculada de acordo com a equação 04.

$$ET_r = ET_c.k_s \quad (04)$$

em que:

ET_r ou ET_c adj - evapotranspiração real da cultura (mm.período⁻¹);

ET_c - evapotranspiração da cultura ou evapotranspiração máxima (mm.período⁻¹);

k_s - coeficiente de estresse hídrico (adimensional);

2.1.2.1 O coeficiente de estresse hídrico

O coeficiente de estresse hídrico (k_s) permite descrever o efeito do déficit hídrico no solo na evapotranspiração da cultura (ET_c), assumindo-se que k_s reduz linearmente a partir de um determinado valor de umidade do solo (θ_t), conforme ilustrado na Figura 1.

A capacidade relativa total de água no solo (TAW , mm.m^{-1}) representa a quantidade total de água armazenada no solo e disponível para a cultura. É definida entre a diferença da umidade do solo na capacidade de campo (θ_{FC}) e no ponto de murcha permanente (θ_{WP}); por unidade de profundidade do solo. TAW depende, principalmente, da textura, estrutura e do teor de matéria orgânica do solo.

O fator de disponibilidade hídrica no solo (fator de depleção) (p) representa o nível crítico de umidade do solo caracterizando-se, a partir daí, o início de um déficit hídrico, afetando assim a evapotranspiração da cultura (ET_c) e, conseqüentemente, a produtividade vegetal. Os valores são expressos como uma fração da TAW e normalmente variam entre 0,4 e 0,6, com valores mais baixos para as culturas sensíveis, com sistemas radiculares limitados e submetidas a alta demanda evapotranspirométrica; e valores mais elevados para as culturas densamente enraizadas e submetidas a baixa demanda evapotranspirométrica.

Assim, a capacidade relativa real de água no solo (RAW , mm.m^{-1}) (equação 05) é a fração da TAW que a cultura pode utilizar sem sofrer estresse hídrico (água facilmente disponível). A partir de um valor limite da umidade do solo (θ_l), relacionado com o fator de disponibilidade hídrica no solo (p), a densidade de fluxo de água torna-se insuficiente para atender a demanda potencial de evapotranspiração da cultura (ET_c), caracterizando-se assim um déficit hídrico (E_{Tr}).

$$RAW = p.TAW \quad (05)$$

em que:

RAW - capacidade relativa real de água no solo (mm.m^{-1});

p - fator de disponibilidade hídrica no solo (adimensional);

TAW - capacidade relativa total de água no solo (mm.m^{-1});

Evidentemente, a profundidade efetiva do sistema radicular (Z , m) deve ser considerada, representando a camada de solo efetivamente ocupada pelo sistema radicular das plantas. Geralmente é determinada considerando-se a profundidade que contém 80% do

sistema radicular. Portanto, Z delimita a camada de solo para a aplicação do balanço hídrico de cultura.

Para o cálculo do k_s , o conteúdo de água no solo é expresso em termos do déficit de armazenamento hídrico (Dr). Na capacidade de campo, não há Dr. Quando a água no solo vai sendo consumida por evapotranspiração, o déficit de armazenamento vai aumentando e, a partir do momento que Dr torna-se igual à RAW, o déficit hídrico será induzido.

Após o déficit de armazenamento hídrico (Dr) exceder RAW (quando a umidade do solo reduzir abaixo do limiar θ_t), a deficiência hídrica torna-se fator limitante aos valores potenciais de evapotranspiração da cultura ($E_{Tr} < E_{Tc}$), assumindo-se que esta diminui em proporção linear em função da quantidade de água remanescente no solo.

Figura 1 - representação gráfica do coeficiente de estresse hídrico (k_s). Fonte: ALLEN et al., (1998)

Desta forma, para $Dr > RAW$, k_s é assim definido (equação 06):

$$k_s = \frac{(TAW - Dr)}{(TAW - RAW)} \quad (06)$$

em que:

k_s - coeficiente de estresse hídrico;

TAW - capacidade relativa total de água no solo (mm.m^{-1});

Dr - déficit de armazenamento hídrico no solo (mm.m^{-1}), sendo $RAW \leq Dr \leq TAW$;

RAW - capacidade relativa real de água no solo (mm.m^{-1});

2.1.3 Balanço hídrico de cultura e necessidades de irrigação

Balanço hídrico nada mais é do que o computo das entradas e saídas de água de um sistema, quantificando-se assim, a variação do armazenamento de água no solo (ARM). O balanço hídrico de cultura (BHC), normalmente aplicado de forma sequencial, tem como objetivo quantificar as variações de armazenamento de água no solo contabilizando-se todas as entradas e saídas de água na camada da profundidade efetiva do sistema radicular (Z), em um determinado intervalo de tempo.

O balanço hídrico é uma integração da dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera, uma vez que associa tanto parâmetros do solo, da cultura, como do clima. O reservatório natural de água no sistema é o solo e sua capacidade total de água disponível e armazenada no solo é, geralmente, expressa em altura/lâmina d'água (mm). Integrando-se as demais variáveis climáticas e os parâmetros da cultura, é possível verificar-se, se as necessidades hídricas das culturas (ETc) são efetivamente atendidas pelas precipitações pluviométricas (P) ou, caso contrário, caracterizar os períodos em que a cultura pode ser afetada pela redução da disponibilidade hídrica no solo e as necessidades de irrigação; seja no atendimento pleno ou parcial destas necessidades.

Para o cálculo de ks requer a determinação do balanço hídrico diário para a profundidade efetiva da zona radicular (Z), sendo o balanço expresso em termos do déficit de armazenamento hídrico no solo. A equação 07, demonstra a aplicação matemática do balanço hídrico no solo, nestas condições.

$$Dr_{,i} = Dr_{,i-1} - (P - RO)_{,i} - I_i - CR_i + ET(c_{ou}r)_{,i} + DP_i \quad (07)$$

em que:

$Dr_{,i}$ - déficit de armazenamento hídrico (em relação à TAW) no dia i;

$Dr_{,i-1}$ - déficit de armazenamento hídrico (em relação à TAW) do dia anterior (i-1);

$P_{,i}$ - precipitação pluvial total no dia i;

$RO_{,i}$ - perda de água por escoamento superficial no dia i;

I_i - lâmina de irrigação líquida no dia i;

CR_i - ascensão capilar no dia i;

$ET(c \text{ ou } r)_{,i}$ - evapotranspiração da cultura ou evapotranspiração real, no dia i ($ET_r \leq ET_c$);

$DP_{,i}$ - perda de água por percolação profunda no dia i.

Embora, após lâminas elevadas de precipitação pluvial ou irrigação, a umidade do solo possa, temporariamente, exceder a capacidade de campo (θ_{FC}), na equação acima se assume

que a quantidade total de água após se atingir este limite é perdida por percolação profunda (DP).

O déficit de armazenamento hídrico à profundidade efetiva do sistema radicular aumentará gradualmente como o advento de $ET(c \text{ ou } r)$. Na ausência de um evento de precipitação pluvial ou irrigação, o déficit atingirá o valor de TAW, definido em função da profundidade efetiva do sistema radicular, θ_{FC} e θ_{WP} . Neste momento, a umidade do solo atingirá seu limite inferior e k_s tornara-se igual à zero. Os limites impostos para Dr_i são: $0 \leq Dr_i \leq TAW$.

2.1.4 Resposta da cultura à água: Metodologia FAO

Doorenbos e Kassam (1979), propuseram um modelo semi-empírico para estabelecer a relação entre a produtividade das culturas e evapotranspiração (função de produção da água) (equação 08). Esta abordagem baseia-se em uma única equação que relaciona a redução relativa da produtividade de qualquer cultura com a redução relativa da evapotranspiração, através de um coeficiente de proporcionalidade, denominado “ ky ”, o qual é específico à cultura e suas fases de crescimento e desenvolvimento.

$$\left(1 - \frac{Y_r}{Y_m}\right) = ky \cdot \left(1 - \frac{ET_r}{ET_c}\right) \quad (08)$$

em que:

Y_r - produtividade real (condições reais);

Y_m - produtividade máxima (sem restrição hídrica);

ky - coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico;

ET_r - evapotranspiração real;

ET_c - evapotranspiração da cultura;

A resposta do suprimento hídrico sobre o rendimento da cultura é assim quantificada através do coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico (ky), que relaciona a queda de rendimento relativa ($1 - Y_r/Y_m$) e o déficit de evapotranspiração relativa ($1 - ET_r/ET_c$) (equação 09). Um déficit hídrico de certa magnitude, expresso com a relação entre ET_r e ET_c pode ocorrer tanto de forma contínua, durante o período de crescimento da cultura, como durante qualquer uma das fases específicas de crescimento. A magnitude do déficit refere-se, no primeiro caso, ao déficit em relação às necessidades hídricas da cultura durante todo seu

período de crescimento e, no segundo, ao déficit relativo às necessidades hídricas da cultura em determinado período específico (DOORENBOS e KASSAM, 1979).

$$k_y = \frac{\left(1 - \frac{Y_r}{Y_m}\right)}{\left(1 - \frac{ET_r}{ET_c}\right)} \quad (09)$$

Desta maneira, o k_y representa a essência das inter-relações complexas entre a produção e o uso da água pelas culturas, onde muitos processos biológicos, físicos e químicos estão envolvidos. Os valores de k_y são específicos para cada cultura e variam ao longo do crescimento e desenvolvimento (fases fenológicas da cultura). De maneira geral, podemos dividi-lo da seguinte maneira:

- $k_y > 1$: a cultura é muito sensível ao déficit hídrico com reduções relativas da produtividade maiores do que da evapotranspiração;
- $k_y < 1$: a cultura é mais tolerante ao déficit hídrico exibindo menores reduções relativas da produtividade do que da evapotranspiração;
- $k_y = 1$: a redução relativa da produtividade é diretamente proporcional à redução relativa da evapotranspiração;

Esta relação tem-se demonstrado de uma validade notável, permitindo-se ainda, um procedimento viável para se quantificar os efeitos do déficit hídrico sobre a produtividade das culturas (STEDUTO et al., 2012) (equações 10 e 11). Além do mais, esta abordagem tem proporcionado um padrão amplamente utilizado de funções de produção da água para as diferentes culturas.

$$\frac{Y_r}{Y_m} = 1 - k_y \cdot \left(1 - \frac{ET_r}{ET_c}\right) \quad (10)$$

$$Y_r = Y_m \cdot \left[1 - k_y \cdot \left(1 - \frac{ET_r}{ET_c}\right)\right] \quad (11)$$

O modelo estima a produtividade real (Y_r) em função da produtividade potencial (Y_m) e do déficit hídrico relativo ($1 - ET_r/ET_c$) que ocorre em cada fase do desenvolvimento, representado pelo k_y . Além da Y_r , o modelo também pode fornecer a redução relativa

produtividade (quebra de produtividade) ($Q = 1 - Y_r/Y_m$), a qual não exige a determinação de Y_m . Assim, este modelo pode ser aplicado na avaliação dos riscos climáticos associados às diferentes épocas de plantio em diferentes locais e, ainda, na avaliação da viabilidade de irrigação e dimensionamento de outorga d'água em regiões de secas esporádicas ou sazonais.

Com base nisto, o balanço hídrico de cultura pode ser empregado para se determinar a deficiência hídrica relativa da cultura ($1 - E_{Tr}/E_{Tc}$), a qual tem relação direta com a redução relativa de produtividade ($1 - Y_r/Y_p$):

- Se $E_{Tr}/E_{Tc} = 0$ ou $(1 - E_{Tr}/E_{Tc}) = 1$, deficiência hídrica máxima, $(1 - Y_r/Y_p)$: ALTA;
- Se $E_{Tr}/E_{Tc} = 1$ ou $(1 - E_{Tr}/E_{Tc}) = 0$, sem deficiência hídrica, $(1 - Y_r/Y_p)$: ZERO;

A aplicação do coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico (k_y) para planejamento, projeto e operação de áreas irrigadas, permite a quantificação do suprimento de água e sua utilização, em termos de produtividade e produção da cultura (receita primária). Em condições de suprimento de água limitado, se a mesma for distribuída de maneira uniforme durante todo o período de crescimento (fases fenológicas), a fase que apresentar maior valor de k_y proporcionará maior redução relativa da produtividade, demonstrando que nesta fase há maior importância em termos de suprimento hídrico.

2.1.5 O modelo *CROPWAT 8.0* (FAO)

O modelo *CROPWAT 8.0* (SMITH, 1992) é um programa computacional para o cálculo das necessidades hídricas das culturas e necessidades de irrigação, através de dados climáticos (elementos meteorológicos) e parâmetros de solos e cultura. Além disso, o programa permite o planejamento e programação da irrigação para diferentes critérios/enfoques do manejo da irrigação.

O software *CROPWAT 8.0* foi desenvolvido pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO). Todos os procedimentos de cálculo utilizados pelo *CROPWAT 8.0* baseiam-se nas recomendações desta Organização, previstos nas publicações nº 56 (*Irrigation and Drainage Series of FAO*) "*Crop Evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements*" (ALLEN et al., 1998) e nº 33 (*Irrigation and Drainage Series of FAO*) "*Yield response to water*" (DOORENBOS e KASSAM, 1979), conforme descritas anteriormente.

Dentre os principais recursos e funcionalidade do *CROPWAT 8.0* podemos citar:

- Entrada de dados em escala de tempo mensal, decendial e diária (dados meteorológicos) e cálculo da ETo (evapotranspiração de referência);
- Possibilidade de estimar dados meteorológicos na ausência de valores medidos, em alguns casos;
- Estimativas, em escala de tempo decendial e diária, das necessidades hídricas das culturas e necessidades de irrigação com base em algoritmos atualizados (modelos), incluindo a possibilidade de ajuste dos valores dos coeficientes culturais (kc, ky);
- Planejamento, programação e calendário do manejo da irrigação de acordo com os critérios/enfoques adotados nas simulações;
- Saída de dados em formato de tabelas com o balanço hídrico da cultura em escala de tempo diária;

O modelo *CROPWAT 8.0* tem sido amplamente utilizado como uma ferramenta de planejamento e gestão do manejo da água em sistemas agrícolas, inclusive em perímetros públicos de irrigação financiados pelo Banco Mundial, através de estimativas das necessidades hídricas das culturas (ETc) e necessidades de irrigação, assim como, para a estimativa de reduções relativas de produtividade em condições de déficit hídrico. O *CROPWAT* é composto por módulos de entrada e saída de dados, conforme a figura apresentada abaixo (Figura 2).

Figura 2 - Visão geral da interface do modelo *CROPWAT*, menus da barra superior e seus módulos

2.1.5.1 Módulo “*Climate/ETo*” (Clima/ETo)

O módulo “*Climate/ETo*” (Clima/ETo) é um módulo de entrada de dados meteorológicos e cálculo/estimativa de outros elementos meteorológicos relacionados. Tais dados são tidos como “parâmetros climáticos” do modelo. Este módulo requer informações sobre a localização da estação meteorológica (país, nome, altitude, latitude e longitude), juntamente com as informações dos elementos meteorológicos essenciais (temperatura máxima e temperatura mínima do ar, umidade relativa média do ar, velocidade média do vento e do número de horas de brilho solar) - células preenchidas em branco -, respeitando-se sempre a escala de tempo a ser trabalhada (dia, decêndio ou mês). A partir dos registros essenciais, pode-se estimar os valores de radiação solar global (Rs) e, posteriormente, o cálculo da evapotranspiração de referência (ETo) (ALLEN et al., 1998) - células preenchidas em amarelo - (Figura 3). Evidentemente, quando já se tem os de estimativas da ETo, não serão necessários os procedimentos anteriores.

Day	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind km/day	Sun hours	Rad MJ/W/day	ETo mm/day
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							

Figura 3 - Módulo “*Climate/ETo*”; exemplo para dados diários

No menu “*Settings*” (definições) da barra de ferramentas superior da interface do *CROPWAT*, “*Options*” (opções), aba “*Climate/ETo*” (Clima/ETo) (Figura 4), é possível selecionar-se a forma de cálculo da ETo; seja utilizando-se dos dados dos elementos meteorológicos (variáveis climáticas) essenciais, conforme descrito anteriormente, ou apenas dados de temperatura do ar (opção, ainda, de utilização de temperaturas máximas e mínimas ou de temperaturas médias), sendo os demais estimados (ALLEN et al., 1998). Além do mais, selecionam-se as unidades dos elementos meteorológicos (variáveis climáticas) de entrada.

Figura 4 - Aba “Climate/ETo” (clima/ET_o) para definição das opções de cálculo da ET_o e das unidades dos elementos meteorológicos (variáveis climáticas)

2.1.5.2 Módulo “Rain” (Precipitação pluvial - PPT)

Para os dados das precipitações pluviométricas (PPT), utiliza-se o módulo “Rain”. Este módulo é, essencialmente, de entrada de dados requerendo informações sobre os valores de precipitação pluvial na escala de tempo a ser trabalhada (dia, decêndio ou mês) (Figura 5).

The screenshot shows the 'Daily rain - untitled' dialog box. It has fields for 'Station', 'Year', and 'Eff. rain method' (set to 'USDA S.C. Method'). Below is a table for entering precipitation data. The table has columns for 'Day' (1-16) and rows for months (January-December) and a 'Total' row. Each cell contains a value of 0.0.

Day	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
January	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
February	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
March	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
April	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
May	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
June	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
July	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
August	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
September	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
October	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
November	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
December	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total																

Figura 5 - Módulo “Rain”; exemplo para dados diários

Na entrada de dados de precipitação pluvial (PPT), os dados médios, prováveis ou reais podem ser utilizados. Deve-se tomar cuidado na escolha de dados de precipitação pluvial apropriados, com base em análises estatísticas realizadas separadamente ao longo de uma série histórica.

Cabe ressaltar que, na agricultura, há o interesse da estimativa da precipitação pluvial efetiva, que se refere à porção da precipitação que pode ser efetivamente utilizada pela

cultura. Sabe-se que nem toda precipitação se tornará disponível às culturas uma vez que uma porção desta pode ser perdida através de escoamento superficial (RO) e/ou por percolação profunda (DP). A quantidade de água que efetivamente infiltra-se no solo depende do tipo de solo, declividade, dossel da cultura, intensidade de precipitação pluvial e da umidade inicial do solo. Uma precipitação é altamente efetiva quando pouco ou nenhum RO ocorre. Pequenas quantidades de chuva são, geralmente, pouco efetivas uma vez que estas pequenas quantidades de água podem ser interceptadas pelo dossel da cultura e rapidamente serem perdidas por evaporação.

Assim, este módulo inclui uma rotina de cálculos/estimativas da precipitação pluvial efetiva ou, ainda, da precipitação efetiva provável, utilizando-se de algumas abordagens disponíveis na literatura (DASTANE, 1978), que podem ser selecionados no menu “Settings” (definições) da barra de ferramentas superior da interface *CROPWAT*, “Options” (opções), na aba “Rainfall” (precipitação pluvial) (Figura 6).

Figura 6 - Aba “Rainfall” (precipitação pluvial) para definições de cálculo da precipitação pluvial efetiva (Peff)

Para os cálculos das necessidades “genéricas” de irrigação das culturas (módulo “CWR”) o *CROPWAT* utiliza a estimativa da precipitação pluvial efetiva ou efetiva provável, em escala temporal de decêndio, através de um dos métodos apresentados na figura acima (Figura 6). Trata-se de um cálculo “genérico”, uma vez que este não leva em consideração os efeitos do solo (armazenamento), sendo sensível apenas à época de plantio (início das simulações), variáveis meteorológicas (ETo) e os parâmetros de cultura (kc).

Ao contrário, para os cálculos do balanço hídrico de cultura (BHC), em escala temporal diária (módulo “Schedule”), a quantidade de água armazenada no solo à profundidade efetiva do sistema radicular (Z) é calculada utilizando-se os valores diários de

precipitação pluvial total e pela estimativa das perdas devido à percolação profunda (DP) e ao escoamento superficial (RO), portanto, os efeitos do solo (armazenamento) são assim considerados. Neste caso, a precipitação pluvial total, e não a efetiva, é utilizada para os cálculos do BHC. Estes dois módulos citados (“*CWR*” e “*Schedule*”) são apresentados com mais detalhes a seguir.

2.1.5.3 Módulo “*Crop*” (Cultura)

O módulo “*Crop*” (cultura) é, essencialmente, para entrada de dados exigindo-se das informações da cultura (“parâmetros da cultura”) ao longo das suas diferentes fases de crescimento e desenvolvimento (Figura 7). Neste módulo é feita a denominação do cultivo, a definição das datas de plantio e colheita, coeficientes de cultura (k_c), quantidade de dias de cada fase de crescimento e desenvolvimento da cultura, profundidade efetiva do sistema radicular (Z), o fator de disponibilidade de água no solo (p) a ser adotado, coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico (k_y) e, opcionalmente, a altura máxima da cultura.

The screenshot shows a software window titled "Dry crop - untitled". It contains several input fields and a graph. At the top, there are fields for "Crop Name", "Planting date" (set to 11/11), and "Harvest". Below these, a graph plots "Kc Values" (green line) and "Rooting depth (m)" (red line) against the stages of crop development. The stages are: initial, development, mid-season, late season, and total. Below the graph, there are input fields for "Stage (days)", "Critical depletion (fraction)", "Yield response f.", and "Cropheight (m)". The "Cropheight (m)" field has a note "(optional)".

Figura 7 - Módulo “*Crop*”

O modelo *CROPWAT 8.0* dispõe de informações de diversas culturas com base nas recomendações da FAO, previstos nas publicações nº 56 (*Irrigation and Drainage Series of FAO*) “*Crop Evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements*” (ALLEN et al., 1998), e nº 33 (*Irrigation and Drainage Series of FAO*) “*Yield response to water*” (DOORENBOS e KASSAM, 1979), porém estes valores podem ser ajustados (calibrados/parametrizados) às condições locais.

2.1.5.4 Módulo “Soil” (Solo)

O módulo “Soil” (solo) é, também, essencialmente de entrada de dados e requer, além de uma denominação do solo, os seguintes parâmetros (“parâmetros de solo”): Capacidade relativa total de água no solo (TAW, em mm.m^{-1}); Taxa máxima de infiltração de água no solo (mm.dia^{-1}); Profundidade máxima de enraizamento (cm); Depleção inicial relativa (%); e Capacidade relativa inicial de água no solo (mm.m^{-1}) (Figura 8).

The screenshot shows a window titled "Soil - untitled". It contains a "Soil name" text box at the top. Below it is a section labeled "General soil data" which contains five rows of input fields with units:

Parameter	Unit
Total available soil moisture (FC - WP)	mm/meter
Maximum rain infiltration rate	mm/day
Maximum rooting depth	centimeters
Initial soil moisture depletion (as % TAM)	%
Initial available soil moisture	mm/meter

Figura 8 - Módulo “Soil” e seus parâmetros de entrada

A capacidade relativa total de água no solo (TAW, em mm.m^{-1}) representa a quantidade total de água armazenada no solo e disponível para a cultura. É definida entre a diferença da umidade do solo na capacidade de campo (θ_{FC}) e no ponto de murcha permanente (θ_{WP}) por unidade de profundidade do solo. TAW depende, principalmente, da textura, estrutura e do teor de matéria orgânica do solo.

A taxa máxima de infiltração de água no solo (mm.dia^{-1}) representa a lâmina d’água que pode infiltrar-se no solo ao longo do período de 24 horas (dia); varia em função do tipo de solo, de declividade e da intensidade de precipitação pluvial ou irrigação. A taxa máxima infiltração tem como referência o valor da condutividade hidráulica do solo saturado.

Já, a profundidade máxima de enraizamento (cm), apesar de, na maioria dos casos, as características genéticas da cultura determinar a profundidade de enraizamento, noutros, o solo e/ou certas camadas do solo podem restringir a profundidade máxima de enraizamento. Este é o caso, por exemplo, de impedimentos físicos naturais ou causados por práticas mecanizadas inadequadas. O valor padrão definido, arbitrariamente, de 900 cm, indica que o solo não tem características importantes que possam restringir o crescimento das raízes.

A depleção inicial relativa (%) indica o déficit de armazenamento relativo do solo no início do período de crescimento da cultura. É expresso como uma porcentagem da

capacidade relativa total de água no solo (TAW). O valor padrão de 0,0% representa que o perfil do solo encontra-se na capacidade de campo.

A capacidade relativa inicial de água no solo (mm.m^{-1}) é definida como o armazenamento de água no solo no início do período de crescimento. É calculada entre o produto da TAW (mm.m^{-1}) e da depleção inicial relativa (%).

2.1.5.5 Módulo “CWR” - *Crop Water Requirement* (Necessidade hídrica da cultura)

A quantidade de água necessária para compensar a perda por evapotranspiração de uma cultura é definida como a necessidade hídrica da cultura. Embora os valores de evapotranspiração da cultura (ETc) e da necessidade hídrica serem idênticos, necessidade hídrica da cultura refere-se à quantidade de água que precisa ser fornecida, enquanto ETc refere-se à quantidade de água que é perdida através da evapotranspiração.

O módulo “CWR” é, essencialmente, para saída de dados. No *CROPWAT 8.0* o cálculo das necessidades hídricas das culturas (CWR) é realizado em escala temporal decendial. Pode-se dizer que se trata de uma estimativa “genérica” das necessidades hídricas das culturas, uma vez que não leva em consideração os efeitos do solo (armazenamento). Para isto é utilizada a abordagem do coeficiente de cultura (kc), conforme descrita anteriormente (ALLEN et al., 1998), utilizando-se assim um valor médio de kc, ETo e, conseqüentemente, ETc para cada decêndio. O módulo “CWR” inclui, ainda, cálculos para a estimativa das necessidades de irrigação da cultura (déficit de precipitação) ao longo de todo o seu ciclo de crescimento e desenvolvimento (escala decendial), com base apenas na diferença entre a evapotranspiração média da cultura (ETc) e a precipitação pluvial efetiva, bem como considerando a eficiência de aplicação de água.

2.1.5.6 Módulo “Schedule” (Planejamento/programação do manejo da irrigação)

O módulo “Schedule” (planejamento/programação do manejo da irrigação) é, também, essencialmente para saída de dados, incluindo-se os cálculos do balanço hídrico no solo (balanço hídrico de cultura), em escala temporal diária, através de todas as informações climáticas, da cultura, do solo (parâmetros de entrada de dados dos módulos anteriores), bem como, através do critério/enfoque do manejo da irrigação adotado (sistema água-solo-planta-atmosfera).

No menu “Settings” (definições) da barra de ferramentas superior da interface do CROPWAT, botão “Options” (opções), aba “Non-rice crop scheduling” (planejamento e programação da irrigação da cultura) (Figura 9), é possível selecionar-se o critério/enfoque do manejo da irrigação, em termos das definições de quando e quanto irrigar, bem como, a eficiência de aplicação da água. O valor da eficiência de aplicação é usado para cálculo das lâminas brutas de irrigação. As opções dos critérios/enfoques do manejo da irrigação são detalhas a seguir:

Figura 9 - Aba “Non-rice crop scheduling” (planejamento e programação da irrigação) para definições dos critérios/enfoques do manejo da irrigação

Opções de quando irrigar:

- *Irigar em intervalos definidos pelo usuário:* Nesta opção o usuário é quem define os valores as lâminas de irrigações e os intervalos entre aplicações, em termos de dias após o plantio. É usada para avaliar algumas práticas de irrigação, simulando-se algumas alternativas de irrigação, caso, por exemplo, da irrigação de “salvamento” na cana-de-açúcar.
- *Irigar a uma depleção crítica:* Nesta opção, define-se quando irrigar (calendário) em função de um déficit de armazenamento de água crítico, geralmente quando se esgota a RAW. Esta opção representa a forma clássica para determinação de quando irrigar, resultando em lâminas de irrigação menores, mas com intervalos de irrigação irregulares, o que exige um sistema de irrigação flexível.
- *Irigar abaixo ou acima da depleção crítica:* Permite definir uma percentagem de consumo do déficit de armazenamento. Qualquer valor abaixo de 100%

significa que a irrigação ocorrerá antes que a RAW seja consumida. Qualquer valor acima de 100% permitirá um determinado nível de déficit hídrico à cultura antes da aplicação de água.

- *Irigar em intervalos fixos por estágio*: Esta opção permite definir um intervalo de tempo fixo entre irrigações em cada fase de crescimento da cultura (fase inicial, fase de desenvolvimento, fase intermediária e fase final). Esta opção é adequada e muito utilizada em sistemas de irrigação móveis, onde se pratica uma rotação do sistema na área continua em intervalos pré-programados. Caso não se deseje irrigar durante uma determinada fase, basta definir o intervalo de irrigação maior do que a duração da fase em questão.
- *Irigar a uma depleção fixa*: Neste caso, o calendário de irrigação é definido com base em um valor fixo de déficit de armazenamento no solo (mm). Esta opção é adequada para ajustar a programação da irrigação com o método de irrigação no campo, com uma aplicação fixa em cada irrigação.
- *Irigar a um determinado nível de redução da ET_c por estágio*: Esta opção permite definir o calendário de irrigação baseado numa redução aceitável da evapotranspiração da cultura (ET_c) em cada fase de crescimento. Esta opção é muito útil para a programação de irrigação com déficit, uma vez que se pode haver escassez hídrica ou restrições na outorga de direito de uso de recursos hídricos.
- *Irigar a um determinado nível de redução da produtividade*: Permite definir o calendário de irrigação baseado numa redução relativa da produtividade aceitável. Como na opção anterior, é muito útil no planejamento e programação de irrigação com déficit.
- *Sem irrigação (sequeiro)*: Nesta opção os cálculos serão realizados apenas com base nos dados de precipitação pluvial.

Assim, é possível uma análise dos diferentes critérios/enfoques utilizados para o planejamento e programação do manejo da irrigação visando a melhoria da gestão e da eficiência hídrica, em função das realidades locais. É possível ainda avaliar as práticas de irrigação utilizadas e seus desdobramentos em relação à produtividade da água da cultura; avaliar a redução relativa da produtividade em condições de sequeiro e a viabilidade de

utilização de irrigação suplementar; e desenvolver manejos da irrigação alternativos em condições de escassez de água (irrigação com déficit).

Opções quanto irrigar:

- *O usuário define a lâmina de irrigação aplicada:* utiliza-se esta opção para definir valores de lâminas de irrigação a serem aplicadas em cada evento de irrigação. Funciona da mesma forma que a “irrigação em intervalos definidos pelo usuário” (descrita acima), porém neste caso apenas as lâminas de irrigação podem ser editadas.
- *Elevação da umidade do solo à capacidade de campo:* Nessa opção as lâminas de irrigação são calculadas se elevar a umidade do solo à capacidade de campo (FC) - nível ótimo. Como o déficit de armazenamento hídrico na zona radicular normalmente varia ao longo do crescimento com a mudança da profundidade efetiva do sistema radicular (Z) e dos níveis de depleção admissíveis (p), as lâminas de irrigação a serem aplicadas podem variar substancialmente ao longo do ciclo.
- *Elevação da umidade do solo abaixo ou acima da capacidade de campo:* Como descrito acima porém com a possibilidade de definir uma porcentagem da reposição relativa à FC. Valores abaixo de 100% significam que a umidade do solo não será reabastecida à FC, podendo ser útil para o armazenamento de precipitações prováveis. Já, valores acima de 100% permitirão que ocorra um determinado nível de percolação profunda (DP), útil para a lixiviação de sais e controle da salinidade.
- *Lâmina de irrigação fixa:* Neste caso, utiliza-se esta opção para definir uma lâmina de irrigação fixa (mm). A lâmina de irrigação é, normalmente, ajustada em função do método/sistema de irrigação;

2.1.5.7 Modulo “Crop Pattern” (Cultivos/culturas)

O módulo “Crop Pattern” (cultivos/culturas) é, basicamente, utilizado para entrada de dados de diferentes culturas (01 até 20), e utilizado para se planejar as necessidades hídricas e de irrigação englobando diferentes culturas, épocas de plantio e suas proporções da área plantada. Com referência a cada uma das culturas, faz-se necessário os seguintes dados:

parâmetros da cultura (idênticos ao utilizados no módulo “*Crop*”); data de plantio; e porcentagem da área cultivada com a cultura.

2.1.5.8 Módulo “*Scheme*” (Planejamento)

O módulo “*Scheme*” (planejamento) é um módulo de saída de dados e inclui, basicamente, as estimativas das necessidades hídricas da cultura e necessidades de irrigação. Desta forma, apresenta as necessidades de irrigação “genéricas” (déficit de precipitação) e a demanda para captação mensal, em termos de vazão específica - Q_e ($\text{l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$) - base no módulo “*CWR*” - uma vez que não leva em consideração os efeitos do solo; sendo assim função apenas das datas de plantio, variáveis climáticas (ET_o) e de cultura (k_c), bem como, do calendário de plantio.

2.1.6 A cultura da cana de açúcar

2.1.6.1 Aspectos gerais / descrição geral

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma planta perene, pertencente à família Poaceae, com mecanismo fotossintético de fixação/assimilação de carbono tipo C_4 , sendo as variedades comerciais formadas por híbridos complexos (spp.) derivados de várias espécies do gênero *Saccharum*, nativas do sudeste da Ásia. As principais características morfológicas deste gênero são: crescimento do caule em colmos, folhas que possuem lâminas de sílica nas suas bordas, e bainhas abertas. O hábito de crescimento é em touceiras podendo variar de ereto, semi-decumbente a decumbente, de acordo com a característica da variedade. É cultivada em aproximadamente 100 países, abrangendo regiões tropicais e subtropicais (STEDUTO et al., 2012).

A produtividade agrícola da cana-de-açúcar é bastante variável de região para região dependendo, basicamente, do potencial edafoclimático (ambiente de produção), do ciclo das cultivares, das práticas culturais, nível de manejo e de tecnologia aplicada e, principalmente, da disponibilidade hídrica (cultivo irrigado ou de sequeiro).

É cultivada, principalmente, como uma monocultura e sua propagação é, predominantemente, vegetativa (assexuada). O estabelecimento da cultura ocorre através do plantio das gemas dos colmos, sendo este primeiro ciclo chamado de cana-planta. Após a

primeira colheita (colmos maduros) outro ciclo se inicia e é chamado de cana-soca, originado da brotação das soqueiras.

Dependendo das condições edafoclimáticas e da sanidade vegetal, podem ser obtidos, em média, de 3 a 7 socas a partir de um plantio (cana-planta). Geralmente, o cultivo da cana-de-açúcar é feito em fileiras (linhas), com espaçamentos variando entre 1,0 e 2,0 m entre as linhas de cultivo, dependendo, basicamente, das condições edafoclimáticas, práticas de irrigação e dos requisitos de mecanização agrícola. As linhas de plantio podem ser configuradas com fileiras simples, igualmente espaçadas, ou em fileiras duplas, espaçadas em torno de 0,6 m de distância e com o centro destas fileiras duplas (faixas) em intervalos de 1,8 a 2,0 m.

O ciclo da cana-de-açúcar varia entre 12 a 18 meses, dependendo principalmente das condições climáticas e do manejo da cultura (irrigada ou de sequeiro).

Os colmos da cana-de-açúcar, depois de retirados seus despontes (imaturos), folhas verdes e folhas secas (senescência), geralmente apresentam cerca de 70 % de umidade, 15 % de fibra, 13 % de sacarose e 2 % de açúcares formados por hexoses e outras impurezas. Porém, o teor de sacarose dos colmos pode variar entre os extremos de 5 a 16 %, em base de matéria fresca e, de 20 a 58 %, em base de matéria seca, dependendo, basicamente, da variedade (genótipo), da idade de corte, bem como das condições de crescimento (temperatura, disponibilidade hídrica no solo) durante as últimas quatro semanas que antecedem a colheita (maturação). O teor de sacarose do colmo, ideal para a colheita, é próximo a 12,5 %, em uma base de matéria fresca, e cerca de 50 % em base de matéria seca. Já, o teor de sacarose por unidade de matéria seca total da parte aérea (índice de colheita) varia em torno de 35 % (THOMPSON, 1976; INMAN-BAMBER et al.; 2002; CARR e KNOX, 2011).

A sacarose é o principal produto extraído a partir do caldo da cana-de-açúcar, sendo utilizado para a fabricação de açúcar. A cana-de-açúcar é, também, largamente utilizada por vários países para produção de energia (etanol - a partir da fermentação dos açúcares; e eletricidade - a partir da queima da biomassa residual, principalmente da fibra do colmo), respaldada como uma fonte de energia renovável. No Brasil, mais da metade da cana-de-açúcar produzida é usada para produção de álcool combustível (etanol) e utilização em veículos automotivos.

Outra importante característica da cultura, e que já desperta interesse econômico, é a produção excedente de biomassa da cultura. A biomassa de folhas, despontes e perfilhos senescentes (palhiço), juntamente com a biomassa do bagaço (resíduo da extração do caldo na

indústria), apresenta um potencial energético significativo ao país, podendo ser utilizada para geração de energia elétrica, a bioeletricidade (já comum), e, num contexto de médio à longo prazo, na produção de etanol de segunda geração, o etanol celulósico (ainda restrito).

2.1.6.2 Crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar

Após o plantio (cana-planta), cada gema viável forma um perfilho (perfilho-primário), seguido pela formação de raízes que crescem rapidamente (até 22 mm.dia^{-1}) a partir dos nós caulinares, permitindo o início da exploração do perfil do solo (CARR e KNOX, 2011).

A taxa de brotação das gemas e da emergência dos perfilhos-primários depende, basicamente, da profundidade de plantio, temperatura do ar e do solo e da umidade do solo (VAN DILLEWIJN, 1952). Evidentemente, o número de perfilhos e, conseqüentemente, a taxa perfilhamento dependem, também, da quantidade de gemas viáveis plantadas (normalmente varia de 10 a 30 gemas.m⁻²).

O perfilhamento ocorre relativamente rápido, iniciando-se a partir da emergência do perfilho-primário até o fechamento do dossel (90 a 120 dias). Ao final da fase de perfilhamento, a população de perfilhos atinge seu pico (até 40 perfilhos.m⁻²) e os perfilhos mais jovens começam um processo de senescência, restando uma população final variando entre 4 e 18 perfilhos.m⁻², que entrarão na fase de crescimento e desenvolvimento dos perfilhos e, posteriormente, na maturação e máximo acúmulo de sacarose (SINGELS et al., 2005; BELL e GARSIDE, 2005).

Ao menos que a floração se inicie, os colmos continuarão o crescimento e formação de nós e internódios desde que, água, nutrientes e temperatura não sejam fatores limitantes. Folhas aparecerão a cada novo nó, expandindo-se e senescendo em determinados intervalos de soma térmica (graus dias acumulados) (INMAN-BAMBER, 1994).

Os colmos em crescimento podem ser divididos, didaticamente, em três seções: internódios imaturos (terço superior da planta), com crescimento rápido e caracterizando-se por apresentar baixo teor de sacarose; internódios intermediários (terço médio da planta), transição; e internódios maduros, com crescimento lento e alto teor de sacarose (terço inferior da planta). Quando os colmos atingem um determinado tamanho (a partir de 3 m) e tornam-se mais desenvolvidos (acima de 8 meses) a maior parte do colmo tende a atingir um grau de maturação satisfatório, tornando-o adequado para a colheita.

Já, a floração é iniciada quando a temperatura mínima ultrapassa 18 °C e a umidade do solo seja favorável durante um intervalo de tempo (janela) de, aproximadamente, três semanas

com declínio do fotoperíodo até cerca de 12,5 horas. As cultivares diferem enormemente em sua propensão ao florescimento. Estudos de crescimento da cana-de-açúcar em diferentes ambientes têm demonstrado que a temperatura-base para o crescimento varia entre 8 e 18 °C, e a temperatura ótima apresenta-se no intervalo entre 30 e 35 °C (EBRAHIM et al., 1998; VAN DILLEWIJN, 1952; INMAN- BAMBER, 1994).

2.1.6.3 Necessidade hídrica da cultura, produtividade e principais práticas de irrigação

Segundo Doorenbos e Kassam (1979), a umidade do solo adequada durante todo o período de crescimento é importante para obter rendimentos máximos, visto que o crescimento vegetativo é diretamente proporcional à água evapotranspirada.

Scardua e Rosenfeld (1987) destacam que o consumo hídrico da cana-de-açúcar varia em função do ciclo da cultura (cana planta ou soca), do estágio de desenvolvimento da cultura (fase fenológica), das condições climáticas, da disponibilidade hídrica no solo e da variedade cultivada. Apesar da cana-de-açúcar desenvolver seu dossel de forma relativamente lenta (especialmente por se tratar de uma espécie C4), a evapotranspiração da cultura (ETc), em um dossel plenamente desenvolvido é, notadamente, maior do que a de um gramado (cultura de referência) (INMAN-BAMBER e MCGLINCHEY, 2003).

Dependendo do clima, as taxas de ETc podem atingir picos que variam de 6 até 15 mm.dia⁻¹ e a ETc anual situa-se entre 800 e 2.000 mm de água (THOMPSON, 1976). Pelo menos 850 mm.ano⁻¹, com distribuição regular, são necessários para uma produção de sequeiro economicamente e sustentavelmente viável. Na produção comercial, faz-se necessário a utilização de métodos de irrigação quando a precipitação pluvial anual é inferior a 800 mm, seja irrigação suplementar, com déficit hídrico, ou de salvamento. Já, de acordo com Doorenbos e Kassam (1979), a necessidade hídrica da cana-de-açúcar podem variar de 1500 a 2500 mm por ciclo vegetativo, em função das condições edafoclimáticas e das diferenças varietais.

Os rendimentos comerciais de cana-de-açúcar variam enormemente. Segundo Inman-Bamber (1995), em condições climáticas favoráveis (7.300 MJ.m⁻² de radiação solar global ao longo do ciclo, 4.000 graus-dia acumulados e temperatura-base de 10 °C) e suprimento hídrico adequado (1.800 mm de lâmina líquida), podem-se atingir rendimentos experimentais (produtividades) que ultrapassam 200 t.ha⁻¹ de colmos frescos (em torno de 24 t.ha⁻¹ de sacarose) em um ano.

Contudo, é observado que rendimentos comerciais reais, mesmo sob irrigação, variam de 80 a 150 t.ha⁻¹ de colmos (10 a 17 t.ha⁻¹ de sacarose) (WACLAWOVSKY et al., 2010). Em todo o mundo, uma produtividade de 120 t.ha⁻¹ (em torno de 14 t.ha⁻¹ sacarose) é considerada boa, mesmo sob irrigação. A produtividade de cana-de-açúcar em regime de sequeiro varia entre 30 e 90 t.ha⁻¹.ano⁻¹, dependendo, basicamente, das condições edafoclimáticas. Produtividades de 60 t.ha⁻¹.ano⁻¹, podem ser consideradas como razoáveis.

Carretero (1982) observou aumento de 20 t.ha⁻¹ de colmos sob condições de irrigação por gotejamento, correspondendo a um acréscimo de 16% em relação à cana não irrigada, primeira soca, para a região de Piracicaba, SP. Wiedenfeld (1995), submetendo a variedade CP 65-357 a três níveis de disponibilidade de água no solo (alto: 95%, médio: 85% e baixo: 65% do conteúdo de água do solo), encontrou diferenças significativas no rendimento de colmos (120; 89 e 70 t.ha⁻¹, respectivamente).

Maule et al. (2001) observaram, para a variedade SP79-1011, nas condições do estado de São Paulo, produtividades médias de 149, 154 e 170 t.ha⁻¹ de colmos, respectivamente, para precipitações totais de 1.478 mm, com 14 meses de cultivo; 1.695 mm, com 17 meses de cultivo e 1.829 mm, com 19 meses de cultivo. Isto demonstrando a influência do volume de precipitação pluvial e da época de colheita no incremento da produtividade. Azevedo (2002), trabalhando com a mesma variedade, nas condições dos Tabuleiros Costeiros da Paraíba, constatou produtividades de 52, 79, 93 e 92 t.ha⁻¹ (doze meses de cultivo) para precipitações efetivas mais irrigações de 609, 761, 905 e 1.043 mm, respectivamente.

Souza et al. (1999), utilizando sistema de irrigação por aspersão (autopropelido), encontraram para as variedades RB72-454, RB76-418 e SP79-1011, máximas produtividades de colmos na ordem de 155,8, 126,9 e 141,9 t.ha⁻¹ de colmos, com lâminas totais de 1.568, 1.424 e 1.589 mm, respectivamente, em 13 meses de cultivo. As máximas produtividades de açúcar, estimadas para as mesmas variedades, foram 20,7, 17,1 e 19,3 t.ha⁻¹, para as lâminas de 1.678, 1.874 e 1.602 mm, respectivamente. Gomes (1999) obteve, para a variedade RB72-454 em ciclo de cana-planta e com uma lâmina de 1.195 mm, uma produtividade média de colmos e de açúcar de 130 e 17 t.ha⁻¹, respectivamente.

Russell (1990) e Wegener (1990) descobriram que a irrigação em tempos estrategicamente programados pode aumentar a produtividade da cana em até 10 t.ha⁻¹ em regiões produtoras de cana-de-açúcar na Austrália. Inman-Bamber et al. (1999) relataram uma resposta na produtividade de cana-de-açúcar de 41 t.ha⁻¹ otimizando-se as épocas de aplicação e com lâmina total de apenas 179 mm. Estes autores enfatizam que a caracterização e as

previsões das condições climáticas, juntamente com a programação adequada da irrigação (estratégias de manejo) devem ser profundamente investigadas.

Os sistemas mais utilizados para a prática da irrigação são: sulcos (por superfície), pivô central fixo e portátil (aspersão) e sistemas de gotejamento (localizada). O manejo da irrigação pode ser via monitoramento do solo (estado da água no solo), realizados através de medições do potencial da água no solo (limiar de - 40 a - 80 kPa) ou da própria umidade do solo (limiar de 50% capacidade total de água disponível, CAD), ou ainda, o monitoramento do clima, utilizando-se de dados meteorológicos, dados da cultura e do solo para a aplicação do balanço hídrico da cultura (BHC) (CARR e KNOX, 2011).

A adequação da irrigação é importante, principalmente, durante o estabelecimento da cultura (brotação e emergência) e durante a fase de crescimento dos colmos (formação da produção). Segundo Carr e Knox (2011), déficits hídricos moderados podem ocorrer durante a fase de perfilhamento e durante a fase de maturação, sem perdas expressivas na produtividade final. Além disto, o déficit hídrico controlado durante a fase de maturação tende a aumentar o teor de açúcar por unidade de biomassa seca de colmos, melhorando assim, o rendimento de açúcar.

2.1.6.4 Respostas ao estresse

Temperatura: A cana-de-açúcar é sensível a baixas temperaturas. Uma quantidade substancial de trabalhos tem sido realizada para avaliar a temperatura mínima necessária para os diferentes processos de crescimento e desenvolvimento. Dependendo do processo e especificidade do estudo, a temperatura mínima encontrada (temperatura-base) tem variado entre 9 °C e 19 °C (INMAN-BAMBER, 1994; LINGLE, 1999).

Disponibilidade hídrica no solo: A cana-de-açúcar pode tolerar determinados níveis de déficit hídrico, especialmente durante algumas fases específicas. O crescimento e alongamento das folhas e dos colmos são, por exemplo, muito mais sensível ao déficit hídrico do que a própria taxa de fotossíntese da planta. A altura do colmo e sua taxa de crescimento têm sido utilizadas como um indicador da necessidade de irrigação e de práticas de manejo (INMAN-BAMBER, 1994).

Embora o crescimento e, conseqüentemente, a produtividade da cana-de-açúcar seja reduzida quando a capacidade relativa total de água no solo (TAW) cai abaixo de 50% ($p = 0,5$) - fase de crescimento e alongamento dos colmos; na fase de maturação, períodos com déficit hídrico moderado (p entre 0,5 a 0,8) beneficiam o acúmulo de sacarose e a

produtividade de açúcar (INMAN-BAMBER et al., 2002; SMITH e INMAN-BAMBER, 2005). Isso ocorre devido à restrição do crescimento e desenvolvimento das folhas e do colmo, aumentando-se o particionamento de biomassa para o colmo, especialmente sacarose.

Muito cultivada em climas tropicais e subtropicais, com um volume substancial de precipitação pluvial, a cana-de-açúcar tem demonstrado ser relativamente tolerante ao encharcamento, suportando períodos de até 14 dias de saturação do solo, segundo estudo na Flórida (GLAZ e MORRIS, 2010).

Fertilidade: A cana-de-açúcar exige quantidades consideráveis de nutrientes, devido à sua elevada produção de biomassa. Quando comparadas a outras culturas, as taxas de absorção de nutrientes são maiores durante as fases iniciais (perfilhamento, crescimento e alongamento dos colmos), quando as taxas de acúmulo de biomassa são, também, maiores (GOLDEN e RICAUD, 1963).

A cana-de-açúcar se desenvolve numa grande variedade de solos, preferindo solos profundos, bem drenados, com um pH ótimo entre 6,0 e 7,5. À produtividade de 100 t.ha⁻¹ de colmos frescos remove, em média, 120 a 200 kg de N ha⁻¹, 20 a 40 kg de P ha⁻¹ e 150 a 300 kg de K ha⁻¹. Níveis elevados de nitrogênio durante a fase de maturação são indesejáveis, pois promovem o crescimento vegetativo reduzindo o acúmulo de sacarose.

Salinidade: A cana-de-açúcar é moderadamente sensível à salinidade e sensível à sodicidade (NELSON e HAM, 2000). A elevada salinidade pode induzir ao estresse hídrico, incluindo-se sintomas de murcha, escaldadura da folha e redução do crescimento. De maneira geral, se salinidade do solo, medida através da condutividade elétrica da pasta de saturação, for menor que 20 dS.m⁻¹, têm-se pouco ou nenhum efeito sobre o crescimento das plantas. A redução ocorre com valores a partir de 30 até 40 dS.m⁻¹, sendo que com 40 dS.m⁻¹ atinge-se o limiar da produção econômica (ROZEFF, 1995).

2.1.6.5 Deficiência hídrica em cana-de-açúcar

É comum a ocorrência de deficiência hídrica na produção agrícola de sequeiro, estando dentro deste contexto à produção de cana-de-açúcar. Por apresentar um ciclo de cultivo relativamente longo, variando de 12 a 18 meses, esta cultura é comumente afetada por um período de déficit hídrico, sendo a redução de produtividade uma combinação do estágio de desenvolvimento (fase fenológica) em que ele ocorre, bem como da magnitude deste processo. Daí a importância, também, dos estudos das melhores épocas de plantio para cada região, numa tentativa de minimizar este efeito negativo na produção de cana-de-açúcar.

Sabe-se que o desenvolvimento do dossel é uma função do genótipo (SINGELS et al., 2005), condições ambientais, tais como radiação e temperatura (INMAN-BAMBER, 1994) e do manejo cultural como espaçamento, adubação, dentre outros. Porém, é evidenciado que o déficit hídrico é fator limitante ao crescimento e desenvolvimento dos vegetais.

As plantas estão sujeitas a grande variedade de estresses ambientais, incluindo temperaturas inadequadas, condições físico-químicas de solo desfavoráveis e várias doenças e pragas; contudo, pode-se dizer que o déficit hídrico reduz o crescimento e a produtividade vegetal, mais que todos os outros estresses combinados, pois pode ocorrer em qualquer local, mesmo nas regiões consideradas úmidas. Taiz e Zeiger (2004) afirmam, também, que o déficit hídrico não é limitado apenas às regiões áridas e semiáridas do mundo, uma vez que, mesmo em regiões consideradas climaticamente úmidas, a distribuição irregular das chuvas pode, em alguns períodos, limitar o crescimento.

Neste contexto, Inman-Bamber (2004) afirma que períodos de seca na cultura da cana-de-açúcar afetam negativamente o desenvolvimento do dossel, podendo diminuir a emissão foliar e aumentar a velocidade de senescência das folhas e dos perfilhos. Outro importante aspecto observado e descrito por Larcher (2004), é que um período de déficit hídrico, por mais curto que seja, pode dar início a um processo de síntese de ácido abscísico e etileno, provocando a senescência prematura da planta como forma de diminuir sua evapotranspiração. Isto poderia levar a uma redução da interceptação de radiação, uso da água por transpiração, produção de fotoassimilados e um aumento dos fluxos de energia como calor sensível e armazenamento de calor no solo. Por outro lado, quando o estresse hídrico é aplicado durante a fase de maturação, condiciona o aumento da concentração de sacarose nos colmos (INMAN-BAMBER, 2004), tendo, neste caso, efeito benéfico.

De acordo com Robertson et al. (1999), sob condições de deficiência hídrica durante o período de crescimento da cultura, o acúmulo de biomassa total, biomassa dos colmos e de sacarose da cana-de-açúcar são expressivamente afetados. Segundo estes autores, o déficit hídrico imposto durante a fase de perfilhamento, quando o índice de área foliar (IAF) ainda era pequeno, promoveu grandes impactos na área foliar, perfilhamento e biomassa acumulada, porém, teve pouco efeito sobre o rendimento final da cultura, quando comparado ao manejo sem restrição hídrica durante todo o ciclo. Porém, o mesmo resultado não foi observado quando o déficit hídrico foi imposto na fase de início da elongação dos colmos (formação da produção), momento em que o dossel da cultura já estava bem estabelecido ($IAF > 2$). Estas informações subentendem que a fase crítica da cultura, ou seja, onde os danos no rendimento são mais evidenciados, coincide com este estágio de desenvolvimento.

O ciclo da cultura da cana-de-açúcar é dividido em diferentes estádios fenológicos: brotação e emergência, perfilhamento, crescimento dos colmos e maturação dos colmos (GASCHO e SHIH, 1983; CÂMARA, 1993). Quando a deficiência ocorre nas fases críticas de formação da produção (perfilhamento e crescimento dos colmos) podem-se observar reduções expressivas no acúmulo de biomassa total, biomassa dos colmos e de sacarose.

Segundo Inman-Bamber (2004), períodos de seca afetam negativamente o desenvolvimento do dossel, podendo diminuir a emissão foliar - causando redução na área foliar e no crescimento dos perfilhos - e aumentar a velocidade de senescência das folhas e dos perfilhos. Por outro lado, quando o estresse hídrico ocorre durante a fase de maturação, condiciona o aumento da concentração de sacarose nos colmos. Doorenbos e Kassam (1979), afirmam que a necessidade hídrica da cana-de-açúcar varia em torno de 1500 a 2500 mm por ciclo, sendo o estágio de crescimento dos colmos responsável por demandar maior quantidade de água.

2.1.7 Manejo racional da irrigação

Após definido o método e o sistema de irrigação (como irrigar), bem como sua eficiência de aplicação, o ponto-chave no manejo da irrigação é a definição de quando irrigar e quanto irrigar. Estas questões são, sem dúvida, os pontos mais importantes no manejo da irrigação podendo ser determinadas, basicamente, através de três diferentes modos: (1) Via planta: quantificação da deficiência hídrica na planta; ou pelo sintoma desta deficiência; (2) Via solo: quantificação da disponibilidade hídrica no solo (umidade do solo); balanço hídrico no solo; (3) Via atmosfera/clima: monitoramento dos elementos meteorológicos para o cálculo da ETo e, posteriormente, da ETc e ETr, dependendo da condição de disponibilidade hídrica no solo.

Segundo Salassier et al., (2006) em regiões onde a água é fator limitante, o objetivo deve ser a obtenção de máxima produção por unidade de água aplicada (máxima produtividade da água). Noutras condições, o propósito pode ser a obtenção de máxima produção por unidade de área cultivada (máxima produtividade física da cultura) ou por unidade de custo (máxima produtividade econômica da cultura).

- 1) Maximização da produção por unidade de água aplicada. Pode-se conseguir este objetivo da seguinte maneira:
 - a) Adequando melhor a irrigação aos períodos críticos de déficit hídrico - Para isso, faz-se necessário conhecer a(s) fase(s) crítica(s) das diversas culturas e assim,

garantir o suprimento hídrico adequado, através da irrigação, nesses períodos. Fora desse(s) período(s), deve-se realizar o suprimento hídrico parcial por meio da irrigação e/ou, se trabalhar com maior probabilidade de chuva.

- b) Irrigando com déficit hídrico em relação à evapotranspiração da cultura (ETc) - Consiste em estabelecer o manejo da irrigação de forma que a lâmina média aplicada seja sempre menor do que a lâmina média potencialmente evapotranspirada (ETc). Esse manejo é mais eficiente em sistemas de irrigação que facilitam a aplicação mais frequente (menor turno de rega) e com menor lâmina, como é o caso dos sistemas de irrigação por gotejamento, microaspersão, autopropelido e pivô central.

2) Maximização da produção por unidade de área.

Justifica-se este objetivo, quando se tem limitação de áreas agricultáveis e/ou não se tem limitação de água e, além disto, o custo operacional do sistema de irrigação seja relativamente baixo.

Para se atingir a máxima produção por unidade de área, faz-se necessário dispor de um suprimento hídrico suficiente para atender à demanda diária de evapotranspiração da cultura (ETc), bem como, de um sistema capaz de irrigar a área com alta frequência. Desta forma, mantém-se a disponibilidade de água no solo, na camada da zona radicular, em níveis ótimos garantindo assim que a taxa de fotossíntese seja expressa em seu potencial.

Na maioria das culturas, para que se obtenha máxima produtividade, em geral, deve-se permitir que somente se utilize, entre duas irrigações sucessivas, de 25 a 40 % da disponibilidade total de água do solo. Vale ressaltar que, nem sempre se deseja produtividade máxima da planta como um todo, mas somente de determinado órgão desta; e nem sempre a maior produtividade desse órgão e/ou sua melhor qualidade estão relacionadas com o máximo crescimento (SALASSIER et al., 2006).

3) Maximização dos lucros.

A prática da irrigação, geralmente, está associada ao objetivo de aumentar a lucratividade do sistema agrícola, obtendo-se maior produtividade, quer seja em quantidade ou em qualidade, ou, ainda, incorporar à agricultura áreas onde sem o uso da irrigação não seriam possíveis de se cultivar.

A estimativa da lucratividade é obtida por meio da comparação da estimativa do valor da produção com a estimativa do custo de produção. Para isso, é necessário se conhecer o custo total da irrigação por unidade de volume de água aplicado, bem como a expectativa de

incremento da produtividade (função de produção da água) além, é claro, do valor da produção.

2.1.8 Outorga de direito de uso de recursos hídrico

A outorga de direito de uso de recursos hídricos é um dos seis instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecidos no inciso III, do art. 5º da Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Esse instrumento tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso aos recursos hídricos.

Para corpos d'água de domínio da União, a competência para conferir a outorga é prerrogativa da Agência Nacional de Águas (ANA), segundo a Lei Federal nº 9.984, de 17 de junho de 2000. Em corpos hídricos de domínio dos Estados e do Distrito Federal, a solicitação de outorga deve ser feita diretamente ao órgão gestor estadual de recursos hídricos.

De acordo com o inciso IV, do art. 4º da Lei Federal nº 9.984/2000, compete à ANA outorgar, por intermédio de autorização, o direito de uso de recursos hídricos em corpos de água de domínio da União, bem como emitir outorga preventiva. Também é competência da ANA a emissão da reserva de disponibilidade hídrica para fins de aproveitamentos hidrelétricos e sua consequente conversão em outorga de direito de uso de recursos hídricos.

As solicitações de outorga de direito de uso de recursos hídricos podem se destinar a usos consuntivos ou não consuntivos da água. As demandas para os usos não consuntivos são aquelas que não resultarão em retiradas de vazões ou volumes de água do corpo hídrico, mas, eventualmente, irão modificar as suas características naturais (por exemplo: construção de barramentos) e necessitam desta forma, de uma autorização da autoridade outorgante. Os usos consuntivos da água são aqueles que subtraem uma parcela da disponibilidade hídrica em determinado ponto de captação. Os exemplos tradicionais de usos consuntivos são aqueles destinados ao abastecimento de água doméstico e industrial ou à irrigação de culturas. Ainda, alguns usos dos recursos hídricos como, por exemplo, a prática da aquicultura e os lançamentos de efluentes provenientes de sistemas de saneamento, também são passíveis de outorga de direito de uso de recursos hídricos por causarem comprometimento qualitativo do corpo de água.

Conforme disposto na Lei Federal nº 9.433/1997, dependem de outorga:

- A derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo d'água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- A extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;
- Lançamentos em corpos d'água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- Uso de recursos hídricos com fins de aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;
- Outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

Para solicitar uma nova outorga faz-se necessário que o interessado registre-se no Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH) para emissão da Declaração de Uso gerada pelo sistema, preenchimento dos formulários de solicitação de outorga e, posteriormente, encaminhamento à ANA.

2.1.8.1 Finalidade Irrigação

Para a finalidade de irrigação, faz-se necessário que o usuário, antes de se registrar no CNARH, preencha uma planilha eletrônica auxiliar (Figura 10), pré-requisito para a entrada de dados no CNARH. Esta planilha é disponibilizada no sítio eletrônico da ANA servindo para o cálculo das estimativas das demandas hídricas mensais para captação e uso na irrigação (ANA, 2013).

As estimativas de demandas de água visando à outorga consideram as necessidades hídricas dos diferentes estágios de desenvolvimento das culturas através de um balanço hídrico de cultura “simplificado” local, a eficiência da irrigação do método/sistema utilizado, área irrigada e calendário de irrigação, calculando-se assim as necessidades mensais de captação para irrigação.

PLANILHA PARA A DETERMINAÇÃO DAS NECESSIDADES MENSIS DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO - Por ponto de captação.

Dados Cadastrais: Nº do ponto: _____ Propriedade: _____ Área (ha): _____ Área irrigada total da propriedade (ha): _____

Requerente: _____ Coordenadas do ponto: _____
 Município/UF: _____ Corpo hídrico: _____

Dados da irrigação:

	1	2	3	4	5	6	7	8
Sistema/Método	Misturação							
Cultura(s)	grão							
Eficiência da irrigação (%)	80,0							
Área irrigada (ha)	30,0							
Mês	P _{pt}	E _{to}	K _c	K _{aj}	K _c	K _{aj}	K _c	K _{aj}
Jan	35,3	221,3	0,75	1				
Fev	39,9	197,3	0,75	1				
Mar	51,0	200,3	0,75	1				
Abr	27,5	181,0	0,75	1				
Mai	0,0	167,1	0,75	1				
Jun	0,0	146,0	0,75	1				
Jul	0,0	152,0	0,75	1				
Ago	0,0	178,3	0,75	1				
Set	0,0	188,9	0,75	1				
Out	0,0	215,1	0,75	1				
Nov	19,5	210,1	0,75	1				
Dez	33,0	212,0	0,75	1				

Fonte dos dados: _____

Dados da captação:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Mês	Volume m³	Vazão m³/h	Horas/mês	Operação Hora/Dia	Dias/Mês	Volume (m³) Diário	Volume (m³) Mensal	Consumo L/h/ha	Consumo (L/h/ha)
Jan	14.742,3	50,0	230,3	12	24	600,0	14.400,0	8,34	Dias: 0,97
Fev	13.118,4	50,0	262,3	12	22	600,0	13.200,0	8,53	Max: 0,40
Mar	11.048,6	50,0	221,4	12	18	600,0	10.800,0	8,40	Média anual: 0,51
Abr	12.032,5	50,0	245,6	12	20	600,0	12.000,0	8,46	
Mai	13.920,8	50,0	238,4	12	23	600,0	13.800,0	8,52	Área irrig. do ponto: 10,0 ha
Jun	12.170,0	50,0	243,4	12	20	600,0	12.000,0	8,46	
Jul	12.733,0	50,0	254,3	12	21	600,0	12.600,0	8,47	Eficiência: 80,0 %
Ago	14.857,5	50,0	267,3	12	25	600,0	15.000,0	8,56	
Set	15.744,3	50,0	314,9	12	26	600,0	15.600,0	8,60	
Out	17.948,8	50,0	359,2	12	30	600,0	18.000,0	8,67	
Nov	15.340,8	50,0	306,8	12	26	600,0	15.600,0	8,60	
Dez	14.062,9	50,0	280,3	12	23	600,0	13.800,0	8,52	Volume total anual: 166.800,0

Figura 10 - Planilha eletrônica para definição dos dados de entrada no CNARH. Fonte: ANA (2013)

No preenchimento da planilha são necessários os seguintes dados para estimativas das demandas mensais:

- Evapotranspiração de referência - ETo ($mm.mês^{-1}$);
- Precipitação pluvial efetiva provável - $Pp\%$ ($mm.mês^{-1}$);
- Sistema de irrigação;
- Culturas irrigadas em cada sistema de irrigação;
- Área irrigada a partir do ponto de captação (ha);
- Eficiência de cada sistema de irrigação (%);
- Coeficientes de culturas mensais - Kc (conforme a cultura e fase fenológica); e
- Correções dos coeficientes de culturas - Kaj (caso seja necessário: irrigação com déficit, irrigação localizada, irrigação por inundação, correções devido às condições climáticas, condições de manejo cultural, etc.).

Além desses dados, para a caracterização do ponto de captação, são necessários os seguintes dados:

- Vazão de captação mensal ($m^3.h^{-1}$);
- Operação de captação diária ($h.dia^{-1}$);
- Operação da captação mensal ($dia.mês^{-1}$).

Os dados meteorológicos e parâmetros agrônômicos necessários para o preenchimento da planilha são fornecidos pela ANA, mediante solicitação do responsável técnico do pedido.

No fornecimento, a ANA faz uso da base de dados meteorológicos “*FAOCLIM*”, que em território brasileiro apresenta dados de 1.503 estações com precipitação pluvial e 798 com evapotranspiração de referência (médias mensais). Considerando-se que os dados são necessários em nível de município, há a necessidade de serem realizadas interpolações para estimar a ETo e a Pp% para os locais que não possuem estações situadas em seus territórios. Nestas interpolações utiliza-se o software “*New_LocClim*”. Esse software permite que as variáveis de interesse sejam estimadas para cada ponto, com a opção de nove métodos de interpolação.

A metodologia empregada na planilha para as estimativas mensais da ETo e ETc segue as recomendações do *Boletim FAO nº 56* (ALLEN et al., 1998). A precipitação pluvial efetiva provável (Pp%) é responsável pela indicação da precipitação mensal com determinada garantia de ocorrência e também da proporção desse montante que fica disponível para as culturas. Nos cálculos desse parâmetro são consideradas a precipitação provável e a precipitação efetiva de cada local (equações 12 a 15). A precipitação provável é aquela que apresenta uma probabilidade específica de ocorrência com base nas séries históricas ou estimada por meio de fórmulas empíricas. Já a precipitação efetiva é definida como a parte da precipitação armazenada no solo até a profundidade das raízes das plantas e que fica disponível para os cultivos. Na prática, a precipitação efetiva é de difícil determinação, sendo em geral necessária a utilização de fórmulas empíricas (ANA, 2013).

As estimativas das demandas buscam garantir o atendimento das necessidades hídricas para irrigação em anos “críticos” quanto ao clima. As margens de segurança usualmente utilizadas no dimensionamento de projetos de irrigação são de aproximadamente 80% de garantia, ou seja, buscam-se garantir atendimento pleno de quatro anos a cada cinco anos, em média. Em resumo, os dados de Pp% fornecidos aos responsáveis técnicos são estimativas feitas a partir das médias mensais das estações e pelo uso de fórmulas empíricas (SMITH, 1992).

Inicialmente, estima-se a precipitação pluvial mensal provável (Pmp), em função da precipitação mensal total (Tm), usando-se as equações empíricas desenvolvidas pela *FAO/AGLW* (equações 12 e 13) (DASTANE, 1978). Estas equações foram desenvolvidas com base nas análises de diversos climas áridos e sub-úmidos, considerando-se um nível de garantia de 80%.

$$Pmp = 0,6.Tm - 10 \quad (\text{para } Tm \leq 70 \text{ mm}) \quad (12)$$

$$Pmp = 0,8.Tm - 24 \quad (\text{para } Tm > 70 \text{ mm}) \quad (13)$$

em que:

Pmp - precipitação pluvial mensal provável (mm);

Tm - precipitação pluvial mensal total (mm);

A partir da precipitação pluvial mensal provável (Pmp) é feita a estimativa da parcela que poderá efetivamente ser usada pelas culturas, determinando-se a precipitação pluvial mensal efetiva provável (Pp%) (Figura 11), através das equações desenvolvidas pelo SCS (*Soil Conservation Service - USDA*) (equações 14 e 15) (DASTANE, 1978).

$$Pp\% = \frac{Pmp \cdot (125 - 0,2 \cdot Pmp)}{125} \quad (\text{para } Pmp < 250 \text{ mm}) \quad (14)$$

$$Pp\% = 125 + 0,1 \cdot Pmp \quad (\text{para } Pmp > 250 \text{ mm}) \quad (15)$$

em que:

Pp% - precipitação pluvial mensal efetiva provável (mm);

Figura 11 - Representação gráfica da determinação da precipitação pluvial mensal efetiva provável a partir de dados mensais médios de precipitação pluvial e pelo uso de equações empíricas da FAO/AGLW e SCS/USDA. Fonte: ANA (2013)

A eficiência de uso da água mínima aceitável, neste caso eficiência de aplicação da irrigação, deverá, de acordo com o sistema de irrigação, estar compatível com a *Nota Técnica n° 364/2007/GEOUT/SOF-ANA* e a *Resolução ANA n° 707/2004*, o qual apresentam

indicadores mínimos para o uso racional da água. Cabe ao requerente da outorga de direito de uso de recursos hídricos, estabelecer e informar o calendário de irrigação com os respectivos valores dos coeficientes de cultura (k_c) e dos coeficiente de ajuste (k_{aj}).

2.1.9 Exigências de projeto

O planejamento e dimensionamento de projetos de irrigação, assim como a operação dos sistemas de irrigação são afetados tanto pela necessidade hídrica máxima da cultura (pico de demanda hídrica) quanto pelas necessidades sazonais de irrigação. A necessidade sazonal de irrigação ditará o tempo de operação anual do sistema de irrigação e os custos correspondentes com mão-de-obra, água e energia. Contudo, a necessidade hídrica máxima é quem determinará a capacidade mínima das tubulações, bombas e canais, visando o suprimento hídrico adequado para suportar o crescimento e desenvolvimento pleno da cultura (ALLEN et al., 2007). Vale ressaltar, porém, que em regiões de climas úmidos e sub-úmidos onde a prática mais comum é o uso da irrigação suplementar, que visa corrigir a distribuição irregular das precipitações, ou ainda, o uso da irrigação com déficit para reduzir as perdas relativas de produtividade em função do déficit hídrico, é necessário considerar-se a contribuição das precipitações pluviais prováveis ou dependentes no atendimento das necessidades hídricas das culturas para um dimensionamento racional dos sistemas de irrigação.

Segundo ALLEN et al., (2007), devido a evapotranspiração de referência (E_{To}) ser derivada dos elementos meteorológicos, esta pode variar significativamente no dia-a-dia e de um ano para outro. Contudo, através de registros meteorológicos de séries históricas (conjunto de dados) é possível se traçar linhas de tendências com determinados níveis de probabilidade de “não superação” de valores de E_{To} com base em uma distribuição de frequências que é, aproximadamente, uma distribuição de probabilidade normal. Assim, um valor “não superável” é definido como o valor de E_{To} que não espera-se ser superado “P%” do tempo, em que “P” é o nível de probabilidade (Figura 12).

Figura 12 - Distribuição da evapotranspiração de referência, calculada em base diária, ao longo de um período de 20 anos e linhas de tendências para diferentes probabilidades de “não superação”; Kimberly, Idaho (EUA). Fonte: ALLEN et al., (2007)

Na distribuição de probabilidade normal presume-se que o coeficiente de assimetria amostral (CS) seja igual à zero ($CS = 0$), ou seja, distribuição perfeitamente simétrica, onde CS é a razão de inclinação para a média da população. Geralmente, com a evapotranspiração de referência (ET_o), CS se aproxima de zero (valores muito baixos), de modo que as estimativas de frequência baseadas na distribuição normal são, geralmente, válidas (ALLEN E WRIGHT, 1983; ALLEN et al., 1983). Diversos autores têm destacado que para este parâmetro climático (ET_o) o ajuste de uma distribuição de frequências é, aproximadamente, uma distribuição de probabilidade normal (ALLEN, et al., 2007; SAAD, 1990), mesmo aplicada a períodos curtos de tempo (dia).

Considerando uma simples curva de distribuição de frequências, a média aritmética é uma das variáveis utilizadas para determinar a distribuição normal. Nessa distribuição, a linha vertical de simetria passa pela média da distribuição, sendo também o valor da mediana e da moda. A distribuição normal ajusta-se bem a muitas variáveis climáticas que não são limitadas superior e inferiormente. Porém, as precipitações em pequenos períodos são, em geral, limitadas inferiormente pelo valor zero, o que dificilmente lhes confere uma distribuição normal (SAAD, 1990).

BARGER E THOM (1949), ao analisar histogramas de frequência de precipitação pluvial, verificaram que as distribuições de frequência para precipitações diárias e semanais ajustam-se a uma curva exponencial negativa. Já para períodos iguais ou superiores a quatro meses, estas aproximam-se da distribuição normal (precipitação anual, por exemplo).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado com enfoque para uma das unidades de produção da Odebrecht Agroindustrial (ETH-Bioenergia) – *Polo Goiás, Unidade Rio Claro, Caçu, Goiás*. O arranjo organizacional da empresa (mapa de operações) subdivide-a em “Polos” de produção (5 Polos), a nível regional, que são compostos por uma ou mais “Unidades”, a nível de município, totalizando-se assim nove (09) unidades, conforme descrito abaixo:

1. **Polo São Paulo:** Unidade Alcídia (1), Teodoro Sampaio – SP; Unidade Conquista do Pontal (2), Mirante do Paranapanema – SP.
2. **Polo Mato Grosso do Sul:** Unidade Eldorado (3), Rio Brilhante – MS; Unidade Santa Luzia (4), Nova Alvorada do Sul – MS.
3. **Polo Goiás:** *Unidade Rio Claro (5), Caçu – GO.*
4. **Polo Taquari:** Unidade Costa Rica (6), Costa Rica – MS; Unidade Alto Taquari (7), Alto Taquari – MT.
5. **Polo Araguaia:** Unidade Morro Vermelho (8), Mineiros – GO; Unidade Água Emendada (9), Perolândia – GO.

Figura 13 - Localização dos Polos e Unidades Agroindustriais; Unidade Rio Claro, Caçu - GO (Fonte: Odebrecht Agroindustrial, Relatório Anual Safra 2012-2013, Versão Completa)

A Figura 13 mostra a localização dos respectivos Polos/Unidades, Estados de atuação (SP, MS, MT e GO) e municípios. Com exceção do Polo São Paulo, inserido na região sudeste do Brasil, os demais Polos (Mato Grosso do Sul, *Goiás*, Taquari e Araguaia) inserem-se na região centro-oeste do país. De maneira geral, podemos associar os Polos inseridos na região centro-oeste ao bioma cerrado, enquanto o Polo São Paulo (região sudeste) a áreas de transição entre o bioma cerrado e bioma mata atlântica.

Outro aspecto importante, que chama a atenção, é a distinção em duas “macro” áreas no entorno de dois valores distintos de latitude. As áreas mais ao norte apresentam-se, em média, numa linha de latitude próxima a 18° Sul (ou - 18°), Caçu - GO, por exemplo, e, as áreas mais ao Sul, apresentam-se numa linha de latitude próxima a 22° Sul (ou - 22°).

Analisando-se o aspecto do planejamento e gestão das águas, que tem como base a bacia hidrográfica, podemos definir as regiões hidrográficas. Os Polos São Paulo e *Goiás* pertencem à *região hidrográfica do Paraná*, já os Polos Mato Grosso do Sul e Taquari pertencem à região hidrográfica do Paraguai. Por sua vez, o Polo Araguaia pertence à região hidrográfica do Tocantins-Araguaia.

Inserida no “Polo” Goiás, a “Unidade” Rio Claro, esta localizada no município de Caçu - GO, pertencente à Mesorregião Sul Goiano, Microrregião de Quirinópolis (IBGE, 2008), sudoeste do estado de Goiás (Figura 14).

Figura 14 - Município de Caçu, GO (Fonte: IBGE)

3.2 Características Básicas das Unidades Agroindustriais

Na tabela 1 são apresentados os números de capacidade industrial dos diferentes Polos/Unidades da Odebrecht Agroindustrial. Os Polos de maior capacidade de moagem, Taquari e Araguaia (7,6 milhões de t cada), dividem-se em duas Unidades de igual capacidade: 3,8 milhões de t de cana-de-açúcar por ano-safra; e produção exclusiva de etanol (350 mil m³) e energia elétrica com o excedente de biomassa (380 GWh de bioeletricidade). O *Polo Goiás*, neste caso composto apenas por uma Unidade, apresenta capacidade de moagem de 4,5 milhões de t de cana-de-açúcar por ano-safra; e produção de 420 mil m³ de etanol e 480 GWh de bioeletricidade. Estes Polos/Unidades se caracterizam como áreas de expansão da cana-de-açúcar (*Sul de Goiás*, Sul do Mato Grosso e Norte do Mato Grosso do Sul). Os Polos Mato Grosso do Sul e São Paulo, localizados mais ao Sul do país (latitudes no entorno de - 22°), estão divididos em duas Unidades cada com capacidades distintas e podem ser caracterizados como áreas tradicionais de cultivo da cana-de-açúcar. Destaca-se, neste caso, a capacidade de produção de açúcar (Polo São Paulo: 570 mil t; e Polo Mato Grosso do Sul: 130 mil t).

Tabela 1 - Capacidade de moagem, capacidade de produção de etanol, capacidade de produção de energia e capacidade de produção de açúcar das Unidades da Odebrecht Agroindustrial

Polos	Unidades	Cap. Moagem (milhão t)	Cap. Prod. Etanol (mil m ³)	Cap. Prod. Energia (GWh)	Cap. Prod. Açúcar (mil t)
São Paulo	Alcídia (1)	2,1	135	180	90
	Conquista do Pontal (2)	4,5	320	350	480
Mato Grosso do Sul	Eldorado (3)	2,1	90	110	130
	Santa Luzia (4)	6,0	390	460	-
Goiás	Rio Claro (5)	4,5	420	480	-
Taquari	Costa Rica (6)	3,8	350	380	-
	Alto Taquari (7)	3,8	350	380	-
Araguaia	Morro Vermelho (8)	3,8	350	380	-
	Água Emendada (9)	3,8	350	380	-
TOTAL	-	34,4	2.775	3.100	700

(Fonte: Odebrecht Agroindustrial, Relatório Anual Safra 2012-2013, Versão Completa).

Tabela 2 - Moagem de cana, produção de etanol, produção de energia e produção de açúcar das Unidades da Odebrecht Agroindustrial

Unidades	Moagem de cana (mil t)		Etanol (m³)		Energia (GWh)		Açúcar (t)	
	11/12	12/13	11/12	12/13	11/12	12/13	11/12	12/13
Alcídia (1)	1.673	1.932	88.098	96.892	141	156	84.218	89.552
C. do Pontal (2)	1.581	2.831	134.545	113.517	177	257	-	167.455
Eldorado (3)	1.741	1.781	67.889	65.428	69	85	94.676	127.559
S. Luzia (4)	2.343	3.395	193.568	295.848	304	324	-	-
R. Claro (5)	1.673	2.901	145.409	247.628	171	315	-	-
C. Rica (6)	111	1.310	8.892	116.662	-	171	-	-
A. Taquari (7)	1.864	2.126	166.013	172.793	-	67	-	-
M. Vermelho (8)	1.671	1.852	148.108	157.978	-	54	-	-
Á. Emendada (9)	-	790	-	69.809	-	28	-	-
TOTAL	12.657	18.918	952.522	1.336.555	862	1.457	178.894	384.566

(Fonte: Odebrecht Agroindustrial, Relatório Anual Safra 2012-2013, Versão Completa).

Na tabela 2, demonstra-se a evolução da produção dos diferentes polos/unidades da Odebrecht Agroindustrial. De maneira geral, nota-se uma expansão da quantidade de cana-de-açúcar moída entre as safras 11/12 e 12/13 (Tabela 2), a exemplo da unidade Rio Claro (Caçu - GO) que passou de 1,67 para 2,9 milhões de toneladas.

Contudo, é nítido o déficit de produção em termos de capacidade de moagem da unidade (4,5 milhões de toneladas) (Tabela 1). Ou seja, a ociosidade industrial vem sendo motivo de patamares mais elevados nos custos de beneficiamento da matéria-prima, indicando a necessidade do aumento da produção de cana-de-açúcar da unidade, seja por aumento de área plantada ou por incremento da produtividade, logicamente, de maneira que garanta a viabilidade econômica da atividade. A irrigação e o manejo adequado da água nos sistemas agrícolas representam alto potencial no incremento das produtividades.

3.3 Área representativa “média” para o cálculo das vazões de outorga (estudo de caso - Unidade Rio Claro, Caçu, Goiás)

Para a apresentação dos resultados de vazão de captação (vazão de outorga, em $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), foi considerado um tamanho médio representativo das Unidades de produção da Odebrecht Agroindustrial, 30.000 ha. Vale ressaltar ainda que, a estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc) representa uma variedade altamente produtiva, bem adaptada ao ambiente de crescimento, sem restrição hídrica, nutricional ou de salinidade do solo e, ainda, sem danos significativos causados por pragas e doenças (condições ótimas). Portanto, as demais características do solo (fertilidade, por exemplo), não foram consideradas restritivas.

Para este estudo, área total cultivada e passível de ser irrigada da unidade (30.000 ha), foi dividida uniformemente em três (03) épocas de início do ciclo da cultura (início, meio e fim de safra). Ou seja, em média, 10.000 ha em cada uma das três épocas. As épocas para início das simulações (início do ciclo) estão descritas a seguir, no item *Entrada de dados dos parâmetros de cultura (módulo “Crop”)*.

Ainda, dentro destas áreas cultivadas em cada uma das épocas, foi considerado, também, três (03) classes de solos, em termos de capacidade relativa total de água disponível, divididos em proporções iguais. Ou seja, para cada 10.000 ha com início do ciclo dentro de uma das épocas, 1/3 foi cultivada em solo TIPO1(CAD50), 1/3 em solo TIPO2(CAD100) e 1/3 em solo TIPO3(CAD150), conforme descrito a seguir, no item *Entrada de dados dos parâmetros de solo (módulo “Soil”)*. Com isso foi objetivado representar as diferenças para o início do ciclo da cana-soca, bem como dos ambientes de cultivo, no que se refere à capacidade de armazenamento hídrico no solo (Tabela 3).

Tabela 3 - Divisão da área considerada representativa nas três épocas de início do ciclo e nos três tipos de solo

Solos	Época 1 - (01/04)	Época 2 - (01/07)	Época 3 - (01/10)	TOTAL
TIPO1(CAD50)	1/9 (3.333,3 ha)	1/9 (3.333,3 ha)	1/9 (3.333,3 ha)	1/3 (10.000,0 ha)
TIPO2(CAD100)	1/9 (3.333,3 ha)	1/9 (3.333,3 ha)	1/9 (3.333,3 ha)	1/3 (10.000,0 ha)
TIPO3(CAD150)	1/9 (3.333,3 ha)	1/9 (3.333,3 ha)	1/9 (3.333,3 ha)	1/3 (10.000,0 ha)
TOTAL	1/3 (10.000,0 ha)	1/3 (10.000,0 ha)	1/3 (10.000,0 ha)	9/9 (30.000,0 ha)

3.4 Variáveis meteorológicas - composição da série histórica

Para a composição da série histórica climática, em escala de tempo diária, e representativa do município (Caçu - GO; Latitude: -18,55°; Longitude: -51,01°; Altitude: 486

m) o qual a unidade de produção estudada esta inserida (Unidade Rio Claro), foi criada uma “estação sintética” (Estação Sintética de Caçu - GO) a partir de registros de dados das variáveis meteorológicas das estações, meteorológicas ou pluviiais, disponíveis no entorno deste município e com registros de dados diários de, no mínimo, 25 anos.

Na composição da Estação Sintética de Caçu - GO, para os elementos meteorológicos como: *temperatura e umidade relativa do ar, horas de brilho solar (insolação) e velocidade do vento*, foram utilizados registros de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), disponíveis no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), das estações meteorológicas de Jataí - GO, Rio Verde - GO e Paranaíba - MS (Tabela 4).

Tabela 4 - Municípios e estações meteorológicas de coleta de dados (BDMEP/INMET)

Município:	Jataí - GO	Rio Verde - GO	Paranaíba - MS
Estação/Código:	OMM: 83464	OMM: 83470	OMM: 83565
Latitude (°):	-17,91	-17,80	-19,75
Longitude (°):	-51,71	-50,91	-51,18
Altitude (m):	662,86	774,62	331,25
Estação:	Operante	Operante	Operante
Início de operação:	11/24/1978	01/01/1971	07/07/1971
Período de coleta:	1983 a 2013	1983 a 2013	1983 a 2013

A Estação Sintética de Caçu - GO foi criada através de uma média ponderada dos registros coletados nas três estações descritas anteriormente, em função da distância linear e das diferenças de altitude entre os municípios com dados disponíveis e o município de Caçu – GO.

A partir dos registros de dados de *horas de brilho solar (insolação)*, foram realizadas estimativas da *radiação solar global* e, posteriormente, integrando-se todos os demais elementos meteorológicos (*temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento*), o cálculo da *evapotranspiração de referência (ET_o)* (ALLEN et al., 1998); sendo esta o principal “parâmetro” climático em termos de demanda hídrica da atmosfera.

Já, para os registros de dados de *precipitação pluvial (PPT)*, em escala diária, foi utilizada a base de dados da Agência Nacional de Águas (ANA), Sistema de Informações Hidrológicas, Versão Web 3.0. Como critério para este elemento meteorológico, adotou-se a utilização prioritária dos registros de dados da estação pluvial mais próxima ao município, ou seja, com menor distância linear entre a localização da estação e o município. Neste caso, foram utilizados os registros da estação pluvial de Itarumã - GO, com distância aproximada de 38 km da sede do município de Caçu - GO (Tabela 5).

Tabela 5 - Município da estação pluvial de coleta de dados (SIH, Versão Web 3.0/ANA)

Município:	Itarumã - GO
Estação/Código:	1851002
Nome:	ITARUMÃ
Bacia:	RIO PARANÁ (6)
Sub-bacia:	RIO PARANAÍBA (60)
Responsável:	ANA
Operadora:	CPRM
Latitude (°C):	-18,76
Longitude (°C):	-51,35
Altitude (m):	424,00

3.5 Correção de falhas - dados faltantes

Diante dos registros de dados (série histórica) das estações meteorológicas do INMET (Jataí - GO, Rio Verde - GO e Paranaíba - MS) e da estação pluvial da ANA (Itarumã - GO) e, considerando-se a ocorrência de “falhas” (dados faltantes), foram estabelecidos critérios para o preenchimento das mesmas. Para o preenchimento de falhas de dados de *temperatura máxima* (Tmax) e *temperatura mínima* (Tmin) (°C), *insolação* (h) e *precipitação pluvial* (mm) utilizou-se o software *DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer)*, no seu módulo “*WheaterMan*”, onde é possível estimar-se os dados faltantes com base em um algoritmo que considera os demais registros (datas sem falhas) da série histórica para o preenchimento de dados faltantes (datas com falhas).

Já, para o preenchimento de falhas de dados de *velocidade do vento* (m.s⁻¹), os dados faltantes foram considerados iguais a 2 m.s⁻¹ (média da série), de acordo com a recomendações propostas por ALLEN et al., (1998).

3.6 Análise previa da série histórica

Após a consolidação da série histórica climatológica (Estação Sintética de Caçu - GO) foram realizadas algumas análises prévias dos principais elementos meteorológicos de entrada do modelo *CROPWAT* (ETo e PPT). Estes parâmetros são determinantes nas estimativas do balanço hídrico de cultura, necessidade hídrica e necessidade de irrigação, bem como, no dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação.

Para o caso da ETo, com base no conjunto de dados (31 anos), procedeu-se o estudo das distribuições de frequência para os valores diários de ETo (mm.dia⁻¹) calculada pelo

método FAO Penman-Monteith (Figura 15). Diversos autores têm destacado que para este parâmetro climático (ETo) o ajuste de uma distribuição de frequências é, aproximadamente, uma distribuição de probabilidade normal (ALLEN, et al., 2007; SAAD, 1990), mesmo aplicada a períodos curtos de tempo (escala de tempo diária). Com base nisto, foram determinados os valores diários de ETo com determinados níveis de probabilidade teórica de “não-superação”. Um valor “não-superável” é definido como o valor que não se espera ser superado “P%” do tempo, em que “P” é o nível de probabilidade teórica.

Figura 15 - Distribuição de frequência da ETo (mm.dia⁻¹). Série histórica de 31 anos, 365 dias.ano⁻¹

Para o caso dos valores de PPT's, também com base na série histórica (31 anos), foram determinados três anos distintos (ano úmido, ano médio e ano seco), em termos de valores de PPT (mm.período⁻¹) “atingíveis”, sendo o período tomado com base no acumulado anual (janeiro a dezembro) ou apenas durante os meses mais secos (abril a setembro) e mais dependentes da irrigação, demonstrando uma distribuição de frequência próxima a normal (Figura 16A e 16B). Ambos os parâmetros (ETo e PPT), são melhor detalhados nos itens a seguir.

A

B

Figura 16 - Distribuição de frequência da PPT (mm.ano^{-1}) (A) e PPT ($\text{mm.período seco}^{-1}$) (B). Série histórica de 31 anos

3.7 Entrada de dados das variáveis meteorológicas (módulo “Clima/ETo”)

A entrada de dados no módulo “Clima/ETo” do *CROPWAT* foi realizada utilizando-se os registros diários de evapotranspiração de referência (ETo), ano-a-ano (31 anos), bem como, determinando-se duas classes distintas, em termos de valores de ETo (mm.dia^{-1}) “não-superáveis”. Desta forma, as simulações foram realizadas, ainda, considerando-se dois níveis de valores prováveis de ETo, com base na série histórica, conforme descrito abaixo:

- Simulações ano-a-ano de toda a série histórica de dados meteorológicos (31 anos), de 1983 a 2013.
- ETo-50% - Nível de atendimento “médio” da demanda atmosférica, ou seja, valores de ETo com probabilidade teórica “não-superável” de 50%;

- ETo-80% - Nível de atendimento “pleno” da demanda atmosférica, ou seja, valores de ETo com probabilidade teórica “não-superável” de 80%;

Para a determinação dos valores de evapotranspiração de referência (mm.dia^{-1}) no dia “i” (sendo “i” variável de 1 a 365 - dias do ano) com probabilidade teórica aproximada de “não-superação” - P(%), foi utilizada a função “PERCENTIL”, tomando-se como base o intervalo de dados (matriz) disponíveis: 31 valores provenientes da série histórica de 31 anos. O valor de ETo no dia “i” com P(%) de probabilidade teórica aproximada de “não-superação” é determinado retornando-se ao k-ésimo percentil ($0 < k < 1$) de valores de um intervalo de dados, sendo este intervalo de dados que define a posição relativa.

3.8 Entrada de dados das variáveis meteorológicas (módulo “Rain”)

Para a entrada de dados no módulo “Rain” do *CROPWAT* foram utilizados os registros de precipitação pluvial diária (mm.dia^{-1}), ano-a-ano (31 anos), bem como, determinadas três classes distintas: ano úmido - AU, ano médio/normal - AN e ano seco - AS, em termos de valores de precipitação pluvial (PPT) “atingíveis”. Esta metodologia alternativa propõe-se a reduzir a morosidade do processo de análise da série histórica ano-a-ano, elegendo anos que representem as diferentes condições possíveis. Desta forma, as simulações foram realizadas, também, considerando-se três níveis de valores prováveis de PPT (AU, AN e AS) com base na série histórica, conforme descrito abaixo:

- Simulações ano-a-ano de toda a série histórica de dados meteorológicos (31 anos), de 1983 a 2013.
- PPT-20% - Ano úmido, ou seja, valores de PPT com probabilidade teórica “atingível” de 20%;
- PPT-50% - Ano médio (normal), ou seja, valores de PPT com probabilidade teórica “atingível” de 50%;
- PPT-80% - Ano seco, ou seja, valores de PPT com probabilidade teórica “atingível” de 80%;

Ainda, às determinações dos diferentes anos de PPT (ano úmido, ano médio e ano seco), foram realizadas de duas maneiras distintas: **(01)** considerando-se a PPT anual acumulada (PT); e **(02)** considerando-se a PPT acumulada apenas durante o período mais seco

do ano (PPT acumulada dos meses de abril a setembro), período este de uso mais intensivo dos sistemas de irrigação. Assim, foram determinados os seguintes anos de dados de PPT: *ano úmido período total* (AUPT), *ano médio/normal período total* (ANPT) e *ano seco período total* (ASPT); assim como: *ano úmido período seco* (AUPS), *ano médio/normal período seco* (ANPS) e *ano seco período seco* (ASPS).

Para isto, foram determinadas as probabilidades teóricas de ocorrência dos valores acumulados de precipitação pluvial (mm.período⁻¹) (valores “atingíveis”), adotando-se o procedimento recomendado no manual do *CROPWAT 8.0* (FAO), o qual os anos são ordenados na forma decrescente, em função dos valores acumulados de PPT no período considerado (ano ou período seco), enumerados em ordem crescente (1 a 31 - série histórica com 31 anos), aplicando-se à equação abaixo (equação 16) (Tabela 6 e 7).

$$P(\%) = \frac{(100.NA)}{(NT + 1)} \quad (16)$$

em que:

P(%) - Probabilidade teórica de ocorrência de precipitação (%);

NA - número de ordem do ano, em função do ordenamento decrescente de valores (1 a 31);

NT - número total de anos (31).

Posteriormente, na definição dos valores diários de PPT dos anos (ano úmido, ano médio e ano seco), foram consideradas as distribuições diárias das PPT's observadas nos respectivos anos médios (P(%)=50), para cada um dos casos (PT e PS), ou seja: ano de 1990 para o período anual (1) e ano de 2009 para o período seco (2) (Tabela 6 e 7), sendo os valores diários de PPT (mm.dia⁻¹) multiplicados por um “fator de ano úmido” (*Fu*) e por um “fator de ano seco” (*Fs*); fatores estes determinados pela razão entre os valores de PPT acumulada (PT ou PS) no ano considerado úmido e médio (*Fu* > 1,0) e entre os valores no ano considerado seco e médio (*Fs* < 1,0), respectivamente (Tabela 6 e 7).

Em resumo, as simulações foram realizadas utilizando-se as variáveis meteorológicas (ETo e PPT) ano-a-ano (ETo e PPT do ano de 1983, por exemplo), bem como, para os diferentes anos de PPT determinados (AUPT, ANPT e ASPT; AUPS, ANPS e ASPs) em dois níveis de ETo (50 e 80%) e conforme combinações do esquema abaixo:

- ETo-50% x AUPT; AMPT; ASPT; AUPS; AMPS e ASPs (06 “anos”);
- ETo-80% x AUPT; AMPT; ASPT; AUPS; AMPS e ASPs (06 “anos”);

Tabela 6 - Determinação dos fatores para ano úmido (Fu) e ano seco (Fs) em função da PPT anual acumulada

Ano (OC*)	PPT Ano (mm)	NA	Ano (OD**)	PPT Ano (mm)	P(%)
1983	1892.1	1	1989	2202.90	3.13
1984	1382.0	2	1983	1892.10	6.25
1985	1006.6	3	1996	1859.20	9.38
1986	1858.3	4	1986	1858.30	12.50
1987	1652.7	5	2001	1798.40	15.63
1988	1649.6	6	2005	1738.20	18.75
1989	2202.9	7	1998	1707.70	21.88
1990	1521.3	8	2006	1698.60	25.00
1991	1366.8	9	1997	1665.10	28.13
1992	1539.3	10	1987	1652.70	31.25
1993	1004.7	11	1988	1649.60	34.38
1994	1497.9	12	1995	1600.70	37.50
1995	1600.7	13	2000	1596.50	40.63
1996	1859.2	14	1992	1539.30	43.75
1997	1665.1	15	2008	1536.90	46.88
1998	1707.7	16	1990	1521.30	50.00
1999	803.9	17	2003	1519.00	53.13
2000	1596.5	18	1994	1497.90	56.25
2001	1798.4	19	2002	1445.10	59.38
2002	1445.1	20	1984	1382.00	62.50
2003	1519.0	21	1991	1366.80	65.63
2004	1053.7	22	2007	1333.60	68.75
2005	1738.2	23	2013	1238.00	71.88
2006	1698.6	24	2009	1220.00	75.00
2007	1333.6	25	2004	1053.70	78.13
2008	1536.9	26	1985	1006.60	81.25
2009	1220.0	27	1993	1004.70	84.38
2010	880.0	28	2011	989.10	87.50
2011	989.1	29	2012	975.50	90.63
2012	975.5	30	2010	880.00	93.75
2013	1238.0	31	1999	803.90	96.88

*OC – Ordem cronológica; OD** – Ordem decrescente;

Tabela 7 - Determinação dos fatores para ano úmido (Fu) e ano seco (Fs) em função da PPT acumulada no período “seco”

Ano (OC*)	PPT P. Seco (mm)	NA	Ano (OD**)	PPT P. Seco*** (mm)	P(%)
1983	399.8	1	1997	496.5	3.1
1984	291.5	2	2013	471.7	6.3
1985	142.2	3	1990	413.0	9.4
1986	353.2	4	1983	399.8	12.5
1987	229.1	5	2001	367.6	15.6
1988	233.3	6	1986	353.2	18.8
1989	305.6	7	1993	334.5	21.9
1990	413.0	8	1998	333.9	25.0
1991	101.5	9	1989	305.6	28.1
1992	290.2	10	1984	291.5	31.3
1993	334.5	11	1992	290.2	34.4
1994	267.2	12	1996	279.2	37.5
1995	234.5	13	1994	267.2	40.6
1996	279.2	14	2000	253.8	43.8
1997	496.5	15	2012	249.0	46.9
1998	333.9	16	2009	247.7	50.0
1999	121.9	17	1995	234.5	53.1
2000	253.8	18	1988	233.3	56.3
2001	367.6	19	1987	229.1	59.4
2002	198.9	20	2004	218.7	62.5
2003	177.4	21	2002	198.9	65.6
2004	218.7	22	2011	194.1	68.8
2005	133.7	23	2003	177.4	71.9
2006	175.3	24	2006	175.3	75.0
2007	130.5	25	1985	142.2	78.1
2008	128.3	26	2005	133.7	81.3
2009	247.7	27	2007	130.5	84.4
2010	88.0	28	2008	128.3	87.5
2011	194.1	29	1999	121.9	90.6
2012	249.0	30	1991	101.5	93.8
2013	471.7	31	2010	88.0	96.9

*OC – Ordem cronológica; OD** – Ordem decrescente; ***P. Seco – Abril a Setembro;

Desta forma, a determinação dos diferentes anos, foi realizada através de níveis determinados de probabilidade teórica de ocorrência de valores de precipitação pluvial (PPT) (valores “atingíveis”) e, na determinação dos níveis de evapotranspiração de referência (ET_o), através de determinadas probabilidades teóricas de “não-superação”, ambos com base em uma análise prévia dos registros de dados da serie histórica do local. Cabe ressaltar novamente que, para os diferentes anos de PPT’s (AU, AN e AS) a distribuição diária dos valores de PPT, segue o ocorrido no respectivo ano médio (1990 e 2009) (Figuras 17B e 17C, respectivamente).

A

B

C

Figura 17 - Precipitação pluvial, PPT (mm.mes⁻¹), para a média da série histórica (A), para o “ano médio” considerando o período total (B) e seco (C)

3.9 Entrada de dados dos parâmetros de cultura (módulo “Crop”)

Na realização das simulações foram considerados apenas os ciclos de cana-soca, por apresentarem maior relevância em relação ao ciclo de cana-planta, uma vez que, para cada ciclo de cana-planta têm-se, no mínimo, cinco ciclos de cana-soca; dependendo das condições do ambiente de cultivo. Em todas as simulações adotou-se um ciclo médio de 365 dias, divididos em quatro fases de crescimento e desenvolvimento da cultura (Tabela 8).

Para a entrada de dados no módulo “Crop” do *CROPWAT* foram adotados os parâmetros para a cultura da cana-de-açúcar amplamente e mundialmente utilizados pela FAO, propostos por DOORENBOS e KASSAM, (1979) e ALLEN et al., (1998), conforme a tabela abaixo (Tabela 8).

Tabela 8 - Valores de referência para o coeficiente de cultura (kc), profundidade efetiva do sistema radicular (Z), fator de disponibilidade de água no solo (p) e coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico (Ky) ao longo das fases de crescimento e desenvolvimento da cultura (DOORENBOS e KASSAM, 1979; ALLEN et al., 1998)

Fases	Dias	kc	Z**	p	ky
Inicial	30	0,40	1,0	0,65	0,50
Desenvolvimento	60	>>	1,0	0,65	0,75
Intermediária	180	1,25	1,0	0,65	1,20
Final	95	0,75*	1,0	0,65	0,10
Ciclo total	365	-	-	-	1,20

* valor referente ao término da fase final e, conseqüentemente, do ciclo;

** valor referente ao ciclo de cana-soca com sistema radicular previamente estabelecido (adaptado);

Neste módulo faz-se necessário, também, a definição das datas de início das simulações que, neste caso, representaram a data de início da brotação das soqueiras (logo após a colheita). Nas simulações realizadas ano-a-ano e dentro das combinações dos níveis prováveis de ETo e PPT, foram adotadas três *(03) épocas de início do ciclo* de crescimento e desenvolvimento da cultura (brotação e emergência das soqueiras), considerando-as representativas para o setor, conforme descrito abaixo:

- Época 1- (01/04) – Início de safra;
- Época 2 - (01/07) – Meio de safra;
- Época 3 - (01/10) – Fim de safra;

A Figura 18, demonstra o preenchimento dos parâmetros de cultura no módulo “Crop” do *CROPWAT* tomando-se como exemplo a “Época 1- (01/04) - Início de safra”.

Figura 18 - Módulo “Crop”. Dados para cana-de-açúcar, ciclo soca (soqueira) (DOORENBOS e KASSAM, 1979; ALLEN et al., 1998); exemplo para a “Época 1- (01/04) - Início de safra”

Cabe ressaltar que, neste módulo, as únicas variações realizadas foram nas datas de início das simulações, conforme descrito anteriormente. Contudo, os parâmetros da cultura foram mantidos idênticos (Tabela 8).

3.10 Entrada de dados dos parâmetros de solo (módulo “Soil”)

Para a entrada de dados no módulo “Soil” do *CROPWAT* foram determinadas, também, três (03) *classes de solos distintas*, utilizando-se como critério a capacidade relativa total de água disponível (TAW, mm.m^{-1}), que representa a capacidade de água disponível (CAD) relativa a 1,0 m (um metro) de profundidade de solo, conforme descrito abaixo:

- TIPO1(CAD50) - Solos com baixa capacidade de armazenamento de água: $50,0 \text{ mm.m}^{-1}$, ou seja, umidade do solo disponível à cultura (CC - PMP) = $0,05 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$;
- TIPO2(CAD100) - Solos com média capacidade de armazenamento de água: $100,0 \text{ mm.m}^{-1}$, ou seja, umidade do solo disponível à cultura (CC - PMP) = $0,10 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$;
- TIPO3 (CAD150) - Solos com alta capacidade de armazenamento de água: $150,0 \text{ mm.m}^{-1}$, ou seja, umidade do solo disponível à cultura (CC - PMP) = $0,15 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$;

Além disto, o modelo *CROPWAT 8.0* no seu módulo “Soil”, requer demais parâmetros de solo, conforme ilustrado na Figura 19; e descritos baixo:

Figura 19 - Módulo “Soil” CROPWAT; exemplo para o solo TIPO1(CAD50)

Desta forma, no módulo “Soil”, as simulações foram realizadas variando-se apenas o parâmetro que representa a capacidade relativa total de água disponível no solo (TAW, em mm.m^{-1}), de acordo com as classes definidas anteriormente (TIPO 1, 2 e 3), sendo os demais parâmetros iguais e fixos para todas as três classes de solo.

Para a taxa máxima de infiltração de água no solo (mm.dia^{-1}) foi adotado o valor de 30 mm.dia^{-1} . Na profundidade máxima de enraizamento (cm) adotou-se como valor padrão 900 cm, o qual indica que nenhum dos solos apresentava características importantes de restrição ao crescimento das raízes.

Já, a depleção relativa inicial (%) - que representa o déficit relativo de armazenamento de água no solo no início do período de crescimento da cultura e é expresso como uma porcentagem da capacidade relativa total de água disponível no solo (TAW) - foi considerada nula (0,0%). Ou seja, considerou-se que o “perfil” do solo encontrava-se na capacidade de campo no início das simulações.

Desta forma, a capacidade relativa inicial de água disponível no solo (mm.m^{-1}) - que é definida como o armazenamento de água no solo no início do período de crescimento da cultura e é calculada entre o produto da TAW (mm.m^{-1}) e da depleção inicial relativa (%) - foi considerada igual ao valor da TAW, para cada classe de solo estudada.

3.11 Cálculo das Necessidades hídricas da cultura e necessidades de irrigação (módulo “CWR”)

No módulo “CWR” do *CROPWAT* foram estimadas as necessidades hídricas e de irrigação da cultura com base no balanço hídrico “genérico”, pois este não considera as interações e efeitos do solo e dos critérios/enfoques do manejo da irrigação, sendo assim função apenas da ETo e PPT efetiva estimada e, ainda, levando-se em consideração os valores

do coeficiente de cultura (k_c) ao longo das fases de crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar (valores médios para o decêndio de ET_o e k_c , e acumulado de PPT) em função das épocas de início das simulações. O cálculo da necessidade hídrica da cultura estimada por este módulo, em termos de evapotranspiração da cultura (ET_c), representa assim o valor médio para cada decêndio (períodos de 10 dias), sendo efetuado de acordo com a equação 17.

$$ET_{c,i} = ET_{o,i} \cdot K_{c,i} \quad (17)$$

em que;

$ET_{c,i}$ - evapotranspiração da cultura média no decêndio i (mm.dia^{-1});

$ET_{o,i}$ - evapotranspiração de referência média no decêndio i (mm.dia^{-1});

$k_{c,i}$ - coeficiente de cultura médio no decêndio i (adimensional);

Neste módulo, ainda, são determinadas as necessidades “genéricas” de irrigação da cultura, também em escala de tempo decendial. Para isso, considera-se apenas a diferença entre a ET_c e a PPT efetiva ou provável, esta última determinada através de equações empíricas disponíveis na literatura (DASTANE, 1978) (Figura 20).

No menu “*Settings*” (definições) da barra de ferramentas superior da interface *CROPWAT*, no botão “*Options*” (opções) e aba “*Rainfall*” (precipitação pluvial) é possível selecionar-se a opção desejada para estimativa deste componente (Figura 20).

Figura 20 - Aba “*Rainfall*” para definições de cálculo da precipitação pluvial efetiva (Pe_{ff})

Neste estudo, como forma de simplificação, foi considerada como precipitação pluvial efetiva uma fração da precipitação pluvial total, adotando-se como valor de referência 80%. Cabe ressaltar que, neste módulo, estas estimativas são “genéricas” sendo os resultados

refinados no módulo seguinte (módulo “*Schedule*”), através do balanço hídrico de cultura (BHC) em escala de tempo diária.

3.12 Cálculo do BHC diário em função do critério/enfoque do manejo da irrigação (módulo “*Schedule*”)

No módulo “*Schedule*”, através do menu “*Settings*” (definições) da barra de ferramentas superior da interface do *CROPWAT*, botão “*Options*” (opções), aba “*Non-rice crop scheduling*” (planejamento e programação da irrigação da cultura), foram definidos os critérios/enfoques do manejo da irrigação. Desta forma, foi possível a seleção de diferentes critérios/enfoques do manejo da irrigação (irrigação total, irrigação suplementar, irrigação com déficit e irrigação de “salvação”) (FRIZZONE, 2007), definidos basicamente em função de quando e quanto irrigar.

Neste contexto, foram definidos dois critérios/enfoques do manejo da irrigação: **(1) irrigação suplementar (I. SUP)**: sendo a água necessária ao atendimento pleno da demanda evapotranspirométrica da cultura, proveniente, em parte, da irrigação e, em parte, da precipitação pluvial efetiva; Nesse caso diz-se que a irrigação suplementará a precipitação efetiva no atendimento da demanda de água da cultura; **(2) irrigação com déficit (I. DEF)**: visando ao atendimento parcial da demanda evapotranspirométrica da cultura, ou seja, atende somente uma fração da demanda de água da cultura por evapotranspiração. Esse tipo de manejo pode ser praticado com irrigação total e com irrigação suplementar (FRIZZONE, 2007), conforme descritos abaixo:

Irrigação suplementar (I. SUP): *Irigar a uma depleção crítica*; Nesta opção, definiu-se quando irrigar em função de um déficit de armazenamento de água crítico, quando se esgota a RAW ($p = 0,65$) e esta não é totalmente repostada pelas precipitações pluviométricas, repondo-se a umidade do solo à capacidade de campo via irrigação (Figura 21). Esta opção representa a forma clássica para determinação de quando irrigar, resultando em lâminas de irrigação menores, mas com intervalos de irrigação irregulares, o que exige um sistema de irrigação flexível.

Figura 21 - “Non-rice crop scheduling” (planejamento e programação da irrigação da cultura) para definições do critério/enfoque do manejo da irrigação, irrigação suplementar

Irrigação com déficit (I. DEF): *Irrigar a um determinado nível de redução da ET_c por estágio*; Nesta opção a definição de quando irrigar foi baseada numa redução “aceitável” da evapotranspiração da cultura (ET_c) em cada fase de crescimento (10% neste caso), repondo-se a umidade do solo, neste instante, à capacidade de campo (Figura 22). Esta opção torna-se muito útil para a programação de irrigação com déficit, uma vez que se pode haver escassez hídrica ou restrições na outorga de direito de uso de recursos hídricos.

Figura 22 - Aba “Non-rice crop scheduling” (planejamento e programação da irrigação da cultura) para definições do critério/enfoque do manejo da irrigação, irrigação com déficit

Sequeiro (SEQ): *Sem irrigação (testemunha)*; Nesta opção os cálculos foram realizados apenas com base nos dados de precipitações pluviométricas (PPT) (Figura 23).

Figura 23 - Aba “Non-rice crop scheduling” (planejamento e programação da irrigação da cultura) para sequeiro

Com relação a “quanto irrigar”, foi definido como critério padrão a elevação da umidade do solo à capacidade de campo, reestabelecendo-se assim as condições hídricas ótimas ao crescimento e desenvolvimento da cultura. Já, a eficiência de aplicação da irrigação foi definida com valor fixo de 85%.

Assim, neste módulo foram realizados os cálculos do balanço hídrico de cultura diário, determinando-se assim a necessidade de irrigação da cultura em função dos diferentes critérios/enfoques do manejo da irrigação selecionados, de acordo com a equação 18.

$$Dr_{,i} = Dr_{,i-1} + ETcadj_{,i} - P_{,i} - I_{,i} + (RO_{,i} + DP_{,i}) \quad (18)$$

em que:

$Dr_{,i}$ - déficit de armazenamento hídrico no dia i ;

$Dr_{,i-1}$ - déficit de armazenamento hídrico (em relação à TAW) do dia anterior ($i-1$);

$ETc adj_{,i}$ - evapotranspiração real (ETr) no dia i ($ETc adj \leq ETc$);

$P_{,i}$ - precipitação total no dia i ;

$I_{,i}$ - lâmina de irrigação líquida no dia i ;

$RO_{,i}$ - perda de água por escoamento superficial no dia i ;

$DP_{,i}$ - perda de água por percolação profunda no dia i .

A capacidade de armazenamento de água no solo (CAD) considera a capacidade relativa total de água no solo (TAW) (mm m^{-1}) e a profundidade efetiva do sistema radicular (Z) (m), sendo o déficit de armazenamento hídrico (Dr) a diferença entre a CAD e o armazenamento em determinado instante (dia). Quando o perfil do solo à profundidade efetiva do sistema radicular encontra-se na capacidade de campo (θ_{FC}), não há déficit de armazenamento. À medida que ocorre o processo de retirada de água do solo

(evapotranspiração) o Dr vai aumentando e, caso não ocorra um evento de reposição hídrica (PPT ou irrigação), tende ao seu valor máximo e igual à TAW.

Para o cálculo da ETc adj, equivalente a ETr, considerou-se a evapotranspiração da cultura (ETc) - derivada da evapotranspiração de referencia (ETo) e do coeficiente de cultura (kc), assim como, o coeficiente de estresse hídrico (ks) (equações 19 a 22).

$$ETc_{,i} = ETo_{,i} \cdot Kc_{,i} \quad (19)$$

$$ETcadj_{,i} = ETc_{,i} \cdot Ks_{,i} \quad (20)$$

Ou

$$ETcadj_{,i} = ETo_{,i} \cdot Kc_{,i} \cdot Ks_{,i} \quad (21)$$

em que:

ETc_i - evapotranspiração da cultura no dia i;

ETo_i - evapotranspiração de referência no dia i (método FAO Penman-Monteith);

kc_i - coeficiente de cultivo no dia i;

ETc adj_i - evapotranspiração real (ETr) no dia i (ETc adj ≤ ETc);

Ks_i - coeficiente de estresse hídrico no dia i;

O coeficiente de estresse hídrico (Ks) permite descrever o efeito do déficit hídrico no solo na evapotranspiração da cultura (ETc), assumindo-se que ks reduz linearmente a partir de um determinado valor de umidade do solo (θt). O valor de umidade do solo ao qual a evapotranspiração torna-se restritiva é definido pelo fator de disponibilidade de água no solo (p), o qual estabelece, também, a capacidade relativa real de água no solo (água facilmente disponível) (RAW = p . TAW), conforme ilustrado na Figura 24.

Figura 24 - Representação gráfica do coeficiente de estresse hídrico (Ks). Fonte: ALLEN et al., (1998)

Desta forma, para valores de $Dr > RAW$, K_s é assim definido:

$$K_{s,i} = \frac{(TAW - Dr_{,i})}{(TAW - RAW)} \quad (22)$$

em que:

$K_{s,i}$ - coeficiente de estresse hídrico no dia i ;

TAW - capacidade relativa total de água no solo (mm.m^{-1});

$Dr_{,i}$ - déficit de armazenamento hídrico no solo (mm.m^{-1}) no dia i ;

RAW - capacidade relativa real de água no solo (água facilmente disponível) (mm.m^{-1});

Para os casos em que $Dr_{,i} \leq RAW$, $K_{s,i}$ é igual a unidade ($K_{s,i} = 1$), ou seja, não ocorre restrição hídrica a ponto de causar déficit hídrico à cultura e, consequentemente, ET_c adj ou ET_r é igual a ET_c .

Na determinação das perdas por escoamento superficial ($RO_{,i}$) (mm), consideram-se a precipitação pluvial total diária ($PPT_{,i}$) (mm) e a taxa máxima de infiltração de água no solo permitida (mm.dia^{-1}), estabelecendo-se a seguinte relação:

- Se $PPT_{,i}$ (mm) > que a taxa máxima de infiltração de água no solo permitida (mm.dia^{-1}), a diferença é perdida por $RO_{,i}$ (mm).

Na determinação das perdas por percolação profunda ($DP_{,i}$) (mm), consideram-se a diferença entre a precipitação pluvial total diária ($PPT_{,i}$) (mm) e as perdas por escoamento superficial ($RO_{,i}$) (mm), ou seja, $PPT_{,i}$ passível de infiltração no solo, o déficit de armazenamento hídrico no solo ($Dr_{,i}$) (mm.m^{-1}) e a profundidade efetiva do sistema radicular (Z) (m), estabelecendo-se a seguinte relação:

- Se $PPT_{,i} - RO_{,i} > Dr_{,i}$, a diferença é perdida por $DP_{,i}$, abaixo da profundidade efetiva do sistema radicular (Z).

3.13 Cálculo da redução de produtividade relativa em função do critério/enfoque do manejo da irrigação (módulo “*Schedule*”)

Ainda no módulo “*Schedule*”, foram estimadas as reduções de produtividade relativas ($1 - Y_m/Y_r$) em função dos déficits de evapotranspiração relativos observados ($1 - ET_c/ET_r$), em cada uma das fases de crescimento e desenvolvimento da cultura e no ciclo total, em

função do critério/enfoque do manejo da irrigação adotado, de acordo com a equação abaixo (equação 23) (DOORENBOS e KASSAM, 1979):

$$\left(1 - \frac{Y_r}{Y_m}\right)_{,i} = K_{y,i} \cdot \left(1 - \frac{ET_r}{ET_c}\right)_{,i} \quad (23)$$

em que:

$(1 - Y_r/Y_m)_{,i}$ - redução de produtividade relativa na fase i;

$k_{y,i}$ - coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico na fase i;

$(1 - ET_r/ET_c)_{,i}$ - déficit de evapotranspiração relativa na fase i;

Sendo “i” indicativo das diferentes fases de crescimento e desenvolvimento da cultura: fase inicial, desenvolvimento, fase intermediária, fase final; e, ainda, para o ciclo como um todo (ciclo total).

3.14 Cálculo das vazões mensais de outorga

As estimativas dos valores mensais das vazões de outorga, para as simulações realizadas no modelo “*CROPWAT 8.0*”, foram obtidos através do módulo “*Scheme*”, conforme descrito anteriormente. Para o critério/enfoque do manejo da irrigação com déficit, foi utilizado um fator de ponderação (fator de ajuste) das vazões, tomando-se como base a razão entre as necessidades de irrigação (lâmina de irrigação líquida ou bruta) sob a condição do critério de irrigação com déficit e a necessidade de irrigação sob a condição do critério de irrigação suplementar (condição potencial).

Já, as estimativas das vazões mensais de outorga (vazões de captação) propostas pela ANA, baseiam-se numa planilha de cálculos, conforme ilustrado na Figura 25. Os valores médios mensais de *precipitação efetiva provável* ($Pp\%$) e *evapotranspiração de referência* (ET_o) são fornecidos pelos técnicos da ANA, e tem como referência um banco de dados de estações meteorológicas da FAO utilizando-se, ainda, um interpolador para estimativas do local de interesse (Figura 26). As demais informações são de responsabilidade requerente de outorga e, além dos dados cadastrais, envolve informações como: área irrigada (ha), método/sistema de irrigação, cultura, eficiência da irrigação (%), coeficientes de cultura médios mensais (k_c), coeficiente de ajuste dos valores de k_c (k_{aj}), capacidade de bombeamento ($m^3.h^{-1}$) e tempo de funcionamento do sistema ($h.dia^{-1}$). Para o valor da eficiência da irrigação, foi adotado o mesmo valor utilizado nas simulações realizadas por

meio do *CROPWAT 8.0* (85%). No caso dos valores médios mensais do coeficiente de cultura (kc), utilizou-se a média dos kc's nos três decêndios de cada mês (média dos três valores) dos valores de saída do módulo “CWR” do *CROPWAT*. Ainda, para as estimativas das vazões mensais de outorga com base no critério de irrigação com déficit (10% de redução da ETc), foi utilizado o kaj igual a 0,9

PLANILHA PARA A DETERMINAÇÃO DAS NECESSIDADES MENSAIS DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO - Por ponto de captação.																		
Dados Cadastrais:		Nº do ponto:	USIN.	Propriedade:	Caçu - Goiás	Área(ha):	30,000.0	Área irrigada total da propriedade (ha):	30,000.0									
Requerente:		ESALQ/USP			Coordenadas do ponto:			Latitude: Longitude										
Município/UF		Caçu-GO			Corpo Hídrico:													
Dados da irrigação:		1		2		3		4		5		6		7		8		
Sistema/Método		PC/ASP		PC/ASP		PC/ASP												
Cultura(s)		Cana-de-açúcar		Cana-de-açúcar		Cana-de-açúcar												
Eficiência da irrigação (%)		85.0		85.0		85.0												
Área irrigada (ha)		10,000.0		10,000.0		10,000.0												
Mês	P(p%)*	Eto*	Kc	Kaj	Kc	Kaj	Kc	Kaj	Kc	Kaj	Kc	Kaj	Kc	Kaj	Kc	Kaj	Kc	Kaj
Jan	134.9	134.0	1.24	1	1.35	1	1.35	1										
Fev	97.1	116.0	1.08	1	1.35	1	1.35	1										
Mar	99.7	124.8	0.93	1	1.35	1	1.35	1										
Abr	48.5	112.8	0.4	1	1.24	1	1.35	1										
Mai	20.9	102.2	0.65	1	1.08	1	1.35	1										
Jun	3.3	90.0	1.14	1	0.93	1	1.35	1										
Jul	3.3	100.1	1.35	1	0.4	1	1.24	1										
Ago	1.6	121.1	1.35	1	0.65	1	1.08	1										
Set	21.1	122.4	1.35	1	1.14	1	0.93	1										
Out	73.2	134.1	1.35	1	1.35	1	0.4	1										
Nov	89.5	130.6	1.35	1	1.35	1	0.65	1										
Dez	128.3	128.4	1.35	1	1.35	1	1.14	1										
Fonte dos dados*:		*a partir da base FAOCLIM; Eto: Penman-Montheit/FAO; P(p%)-precipitação provável com 80% de garantia (método FAO/AGLW) e efetiva (método SCS).																
Dados da captação: A		B		C		D		E		F		G		H		I		
Mês	Vazão m³/h	Vazão m³/h	Horas/mês	Operação Horas/Dia	Dias/Mês	Diário	Mensal	Consumo L/s/ha	Consumo (L/s/ha)									
Jan	14,501,176.5	19,500.0	743.7	24	31	468,000.0	14,508,000.0	0.18	Máx: 0.54									
Fev	17,315,294.1	25,800.0	671.1	24	28	619,200.0	17,337,600.0	0.24	Mín: 0.16									
Mar	18,108,705.9	24,400.0	742.2	24	31	585,600.0	18,153,600.0	0.23	Média anual: 0.33									
Abr	22,959,058.8	31,900.0	719.7	24	30	765,600.0	22,968,000.0	0.30										
Mai	29,656,000.0	40,000.0	741.4	24	31	960,000.0	29,760,000.0	0.37	Área irrig do ponto: 30,000.0 ha									
Jun	35,047,058.8	48,700.0	719.7	24	30	1,168,800.0	35,064,000.0	0.45										
Jul	34,046,941.2	45,800.0	743.4	24	31	1,099,200.0	34,075,200.0	0.42										
Ago	43,316,235.3	58,300.0	743.0	24	31	1,399,200.0	43,375,200.0	0.54										
Set	41,800,941.2	58,100.0	719.5	24	30	1,394,400.0	41,832,000.0	0.54										
Out	25,372,941.2	34,200.0	741.9	24	31	820,800.0	25,444,800.0	0.32										
Nov	20,425,882.4	28,400.0	719.2	24	30	681,600.0	20,448,000.0	0.26										
Dez	12,724,235.3	17,200.0	739.8	24	31	412,800.0	12,796,800.0	0.16										
									Volume total anual: 315,763,200.0									
Transcrever as colunas acima para a tabela "Vazões sazonais" na aba "Vazão outorgada" do respectivo ponto de captação no CNARH (conforme figura abaixo).																		

Figura 25 - Planilha ANA preenchida para o estudo de caso (Unidade Rio Claro), Caçu - GO

Figura 26 - Valores mensais de precipitação efetiva provável (Pp%) e evapotranspiração de referência (ETo) fornecidos pelos técnicos da ANA

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados, bem como à discussão destes, serão aqui apresentados procurando-se seguir a mesma sequência dos módulos de entrada e saída de dados do modelo *CROPWAT* 8.0, conforme apresentados anteriormente, buscando-se assim, apresenta-los num ordenamento lógico da metodologia e visando facilitar o entendimento.

4.1 Variáveis meteorológicas - Módulo “*Clima/ETo*” e módulo “*Rain*”

Os valores absolutos diários das variáveis meteorológicas (Tmax, Tmin, UR, VV, INS, Rs, ETo e PPT) da série histórica de 31 anos (1983 a 2013) estão apresentados na forma de anexo, haja visto sua dimensão. A seguir, estão ilustrados os comportamentos médios destas variáveis ao longo do ano (linha de tendência central), bem como sua dispersão em função da série histórica utilizada.

A temperatura máxima diária (Tmax, °C), em termos médios da série histórica, variou entre 29 e 33°C, sendo que os menores valores ocorrem entre os meses de maio a julho (outono/inverno), com posterior tendência de elevação, atingindo seus maiores valores entre os meses de setembro a novembro (Figura 27A). Já, para a temperatura mínima diária (Tmin, °C), também em termos médios da série histórica, ocorreu uma variação entre 21 e 13°C, com os menores valores ocorrendo nos meses de junho e julho (outono/inverno), e tendências de aumento tanto para o início do ano civil (janeiro e fevereiro), quanto para o final (novembro e dezembro) (Figura 27B) - primavera/verão - correspondendo com os períodos de maior disponibilidade de radiação solar global (Rs, MJ.m⁻².d⁻¹) (Figura 29B).

A umidade relativa do ar média diária (UR, %), apresentou uma variação média entre 80 e 55%, com os menores valores ocorrendo no período mais seco, de agosto a setembro (Figura 28A), e tendência de aumento nos períodos de maior disponibilidade hídrica. Já, a velocidade do vento média diária (VV, m.s⁻¹), em termos médios da série histórica (linha de tendência central) se manteve entre 2,0 e 2,2 m.s⁻¹, com alguns valores mais extremos, conforme mostra a dispersão dos dados na Figura 28B.

Para a insolação diária (INS, h), apesar da média (linha tendência central) apresentar valores menores no início e no final do ano civil (em torno de 6 h), a dispersão dos dados da série histórica demonstra que, justamente neste período, ocorreram os maiores valores de insolação (Figura 29A) e disponibilidade de radiação solar global (Figura 29B). Isto se

explica, pois, neste período, se concentram os eventos de precipitação pluvial, acarretando em maior nebulosidade da atmosfera.

A

B

Figura 27 - Tendência central e dispersão dos valores diários de temperatura máxima (T_{max} , °C) (A) e temperatura mínima (T_{min} , °C) (B)

A

B

Figura 28 - Tendência central e dispersão dos valores médios diários de umidade relativa do ar (UR, %) (A) e velocidade do vento (VV, m.s^{-1}) (B)

A

B

Figura 29 - Tendência central e dispersão dos valores diários de insolação (INS, h) (A) e radiação solar global (R_s , $\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) (B)

Os valores diários de evapotranspiração de referência (E_{To} , mm.d^{-1}), em termos médios da série histórica (linha de tendência central), acompanharam a tendência de variação

da disponibilidade de radiação solar global (R_s , $\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$), variando entre 3,5 e 5,0 mm.d^{-1} (Figura 30A), para os períodos de maior e menor disponibilidade de R_s , respectivamente.

A

B

Figura 30 - Tendência central e dispersão dos valores diários de evapotranspiração de referência (ET_o , mm.d^{-1}) (A) e dispersão dos valores diários de precipitação pluvial (PPT , mm.d^{-1}) (B)

Na Figura 31, é ilustrada a variação da evapotranspiração de referência diária (ET_o, mm.d⁻¹) ao longo do ano, em função dos níveis de probabilidade teórica de “não-superação” dos valores de ET_o. Para o nível de 50%, a ET_o aproximasse à média, porém, entende-se que, ao dimensionar-se demandas hídricas e necessidades de irrigação de culturas à este nível, haverá o atendimento pleno destas necessidades apenas na metade dos anos (5 a cada 10 anos). Desta maneira, níveis mais elevados de probabilidade de ocorrência dos valores de ET_o podem ser considerados, como 80%, por exemplo.

Figura 31 - Valores de ET_o (mm.dia⁻¹) com probabilidade P(%) de “não-superação”

4.2 Necessidades hídricas da cultura e necessidades de irrigação - Módulo “CWR”

Neste módulo, os resultados são apresentados na escala de tempo decendial, em função das diferentes épocas de início do ciclo de crescimento e desenvolvimento da cultura (brotação e emergência das soqueiras) (*Época 1 – 01/04; Época 2 – 01/07; Época 3 – 01/10*). Vale ressaltar, novamente, que neste módulo os resultados representam um balanço hídrico “genérico”, uma vez que são sensíveis apenas aos valores de entrada das variáveis meteorológicas (ET_o e PPT), épocas de início do ciclo e de parâmetros da cultura (kc).

Desta forma, aqui é apresentado um resumo das informações das simulações realizadas em função das 3 diferentes épocas, para os 31 anos de dados disponíveis (3 x 31 =

93 simulações); bem como, para a combinação dos diferentes níveis de ETo e PPT (ETo-50% x AUPT, AMPT, ASPT, AUPS, AMPS e ASPS; e ETo-80% x AUPT, AMPT, ASPT, AUPS, AMPS e ASPS; 12 “anos”) ($3 \times 12 = 36$ simulações).

Os valores médios (M) e os desvios padrões amostrais (DPA), em função dos registros da série histórica (31 anos), de evapotranspiração da cultura (ETc, em mm.d^{-1} e em mm.dec^{-1}), precipitações pluviais efetivas (PPTef, em mm.dec^{-1} - função do critério selecionado) e necessidades de irrigação (NI, em mm.dec^{-1}) são apresentados abaixo, para cada uma das épocas de início do ciclo (Tabela 9 - 01/04; Tabela 10 - 01/07; Tabela 11 - 01/10).

Os valores médios observados de evapotranspiração da cultura (ETc) para o ciclo da cana-de-açúcar (mm.ciclo^{-1}), 1.677,00 mm (época 1), 1.675,02 mm (época 2) e 1.609,08 mm (época 3) aproximam-se dos observados na literatura (DOORENBOS e KASSAM, 1979; INMAN-BAMBER, 1995; BARBOSA et al. 2015). Em termos de precipitação pluvial efetiva (PPTef), a contribuição média observada em função do critério utilizado nas simulações (80% da PPT), foi de 1.167,34 mm. Neste caso, vale ressaltar que, devido o modelo CROPWAT possibilitar a entrada de dados meteorológicos de apenas um ano de cada vez (ETo e PPT), as simulações foram realizadas a partir do mês considerado como o de início do ciclo (épocas) ao mês final do ciclo, dentro do mesmo ano (exemplo: simulações da época 1 - 01/04, ano de 1983, dados de abril a março do ano de 1983; época 2 - 01/07, dados de julho a junho do ano de 1983; e época 3 - 01/10, dados de outubro a setembro do ano de 1983), sendo assim uma limitação do modelo. Já, em termos de necessidades de irrigação (NI), os valores médios observados para o ciclo da cana-de-açúcar (mm.ciclo^{-1}) para o local de estudo foram 947,60 mm (época 1), 872,64 mm (época 2) e 886,08 mm (época 3). Contudo, nas tabelas abaixo (Tabelas 9, 10 e 11) é possível observar-se a variabilidade, em termos do desvio padrão amostral, dos valores ETc, PPTef e NI, para cada decêndio, em função dos diferentes anos de entrada de dados das simulações realizadas (1983 a 2013).

Tabela 9 - Valores médios (M) e desvios padrões amostrais (DPA) da evapotranspiração da cultura (ETc), precipitação pluvial efetiva (PPTef) e necessidades de irrigação, Época 1, em função das simulações ano-a-ano (31 anos); Módulo “CWR” do CROPWAT 8.0

Mês	Dec.	Est.	Kc (Adm.)	ETc (mm.d ⁻¹)		ETc (mm.dec ⁻¹)		PPTef (mm.dec ⁻¹)		NI (mm.dec ⁻¹)	
				M	DPA	M	DPA	M	DPA	M	DPA
Apr	1	Init	0.40	1.54	0.19	15.45	1.87	29.74	26.66	4.73	7.11
Apr	2	Init	0.40	1.51	0.15	15.14	1.53	28.33	31.27	5.37	7.14
Apr	3	Init	0.40	1.49	0.14	14.92	1.35	13.05	20.13	9.25	6.96
May	1	Deve	0.49	1.66	0.16	16.60	1.56	10.02	13.24	10.40	7.40
May	2	Deve	0.65	2.08	0.17	20.75	1.69	11.03	17.30	13.46	8.65
May	3	Deve	0.81	2.51	0.20	27.67	2.22	15.95	23.64	17.69	11.68
Jun	1	Deve	0.98	3.01	0.29	30.10	2.89	6.51	13.82	25.47	11.26
Jun	2	Deve	1.14	3.55	0.34	35.46	3.44	8.32	19.04	29.34	12.31
Jun	3	Mid	1.29	4.10	0.35	41.00	3.46	6.94	12.59	34.15	14.20
Jul	1	Mid	1.35	4.47	0.38	44.68	3.81	3.68	8.19	41.00	8.90
Jul	2	Mid	1.35	4.67	0.35	46.71	3.50	2.87	8.02	43.99	9.38
Jul	3	Mid	1.35	4.98	0.44	54.83	4.87	2.64	5.82	52.18	8.65
Aug	1	Mid	1.35	5.45	0.50	54.47	5.04	2.32	6.60	52.15	10.31
Aug	2	Mid	1.35	5.81	0.63	58.14	6.32	3.41	7.60	54.74	11.90
Aug	3	Mid	1.35	5.99	0.72	65.85	7.95	11.78	18.85	55.04	23.12
Sep	1	Mid	1.35	6.15	1.00	61.49	9.99	12.73	20.18	50.59	22.49
Sep	2	Mid	1.35	6.15	0.68	61.49	6.77	12.65	18.15	48.84	21.59
Sep	3	Mid	1.35	6.04	0.82	60.40	8.17	20.95	21.12	40.87	22.07
Oct	1	Mid	1.35	6.40	0.72	63.97	7.22	23.85	31.80	45.15	24.06
Oct	2	Mid	1.35	6.36	0.73	63.62	7.34	31.89	28.49	35.90	25.32
Oct	3	Mid	1.35	6.24	0.61	68.63	6.67	36.19	26.88	35.92	24.05
Nov	1	Mid	1.35	6.13	0.81	61.35	8.13	35.90	35.19	33.95	24.67
Nov	2	Mid	1.35	6.18	0.82	61.85	8.15	49.06	38.07	24.76	27.18
Nov	3	Mid	1.35	5.97	0.83	59.68	8.27	39.63	29.53	28.45	22.50
Dec	1	Mid	1.35	5.60	0.79	56.04	7.86	54.75	50.17	21.02	24.66
Dec	2	Mid	1.35	5.63	0.60	56.32	5.98	75.15	44.42	9.13	14.53
Dec	3	Late	1.34	5.68	0.64	62.49	7.05	55.05	44.79	23.13	23.86
Jan	1	Late	1.29	5.21	0.57	52.11	5.69	78.59	48.70	8.15	12.08
Jan	2	Late	1.24	5.30	0.78	53.02	7.79	75.56	60.73	13.46	19.68
Jan	3	Late	1.19	4.88	0.61	53.65	6.69	74.83	60.35	13.13	16.98
Feb	1	Late	1.13	4.67	0.52	46.66	5.24	57.78	54.24	15.66	19.79
Feb	2	Late	1.08	4.48	0.48	44.85	4.81	70.00	58.76	9.36	15.19
Feb	3	Late	1.03	4.33	0.52	34.61	4.16	48.83	42.08	9.88	12.58
Mar	1	Late	0.98	4.01	0.57	40.08	5.66	55.71	43.96	11.48	15.05
Mar	2	Late	0.93	3.58	0.37	35.81	3.66	50.42	43.07	10.43	12.30
Mar	3	Late	0.88	3.38	0.38	37.14	4.16	51.25	41.90	9.36	14.62
ME	-	-	1.13	4.59	0.52	46.58	5.30	32.43	29.87	26.32	15.95
MA	-	-	1.35	6.40	1.00	68.63	9.99	78.59	60.73	55.04	27.18
MI	-	-	0.40	1.49	0.14	14.92	1.35	2.32	5.82	4.73	6.96
SO	-	-	-	-	-	1677.00	-	1167.34	-	947.60	-

ME – média; MA – máximo; MI – mínimo; SO – soma.

Tabela 10 - Valores médios (M) e desvios padrões amostrais (DPA) da evapotranspiração da cultura (ETc), precipitação pluvial efetiva (PPTef) e necessidades de irrigação, Época 2, em função das simulações ano-a-ano (31 anos); Módulo “CWR” do CROPWAT 8.0

Mês	Dec.	Est.	Kc (Adm.)	ETc (mm.d ⁻¹)		ETc (mm.dec ⁻¹)		PPTef (mm.dec ⁻¹)		NI (mm.dec ⁻¹)	
				M	DPA	M	DPA	M	DPA	M	DPA
Jul	1	Init	0.40	1.32	0.11	13.23	1.12	3.68	8.19	10.65	4.57
Jul	2	Init	0.40	1.38	0.10	13.85	1.04	2.87	8.02	12.01	4.06
Jul	3	Init	0.40	1.48	0.13	16.30	1.44	2.64	5.82	14.07	5.05
Aug	1	Deve	0.50	2.03	0.19	20.32	1.90	2.32	6.60	18.68	4.75
Aug	2	Deve	0.66	2.85	0.31	28.49	3.13	3.41	7.60	25.37	8.50
Aug	3	Deve	0.83	3.67	0.44	40.42	4.86	11.78	18.85	31.52	16.32
Sep	1	Deve	0.99	4.53	0.74	45.30	7.36	12.73	20.18	35.25	18.45
Sep	2	Deve	1.15	5.25	0.58	52.46	5.79	12.65	18.15	40.21	20.14
Sep	3	Mid	1.31	5.84	0.79	58.39	7.88	20.95	21.12	39.04	21.55
Oct	1	Mid	1.35	6.40	0.72	63.97	7.22	23.85	31.80	45.15	24.06
Oct	2	Mid	1.35	6.36	0.73	63.62	7.34	31.89	28.49	35.90	25.32
Oct	3	Mid	1.35	6.24	0.61	68.63	6.67	36.19	26.88	35.92	24.05
Nov	1	Mid	1.35	6.13	0.81	61.35	8.13	35.90	35.19	33.95	24.67
Nov	2	Mid	1.35	6.18	0.82	61.85	8.15	49.06	38.07	24.76	27.18
Nov	3	Mid	1.35	5.97	0.83	59.68	8.27	39.63	29.53	28.45	22.50
Dec	1	Mid	1.35	5.60	0.79	56.04	7.86	54.75	50.17	21.02	24.66
Dec	2	Mid	1.35	5.63	0.60	56.32	5.98	75.15	44.42	9.13	14.53
Dec	3	Mid	1.35	5.71	0.65	62.83	7.11	55.05	44.79	23.35	23.98
Jan	1	Mid	1.35	5.43	0.59	54.35	5.91	78.59	48.70	9.19	12.99
Jan	2	Mid	1.35	5.76	0.85	57.64	8.47	75.56	60.73	15.45	21.95
Jan	3	Mid	1.35	5.55	0.69	61.03	7.60	74.83	60.35	17.35	20.00
Feb	1	Mid	1.35	5.57	0.62	55.66	6.25	57.78	54.24	20.32	23.94
Feb	2	Mid	1.35	5.61	0.60	56.11	6.04	70.00	58.76	14.93	19.92
Feb	3	Mid	1.35	5.66	0.68	45.28	5.44	48.83	42.08	15.61	17.24
Mar	1	Mid	1.35	5.50	0.78	54.97	7.77	55.71	43.96	19.90	21.78
Mar	2	Mid	1.35	5.19	0.53	51.87	5.29	50.42	43.07	19.73	19.25
Mar	3	Late	1.35	5.18	0.58	57.01	6.38	51.25	41.90	19.36	22.94
Apr	1	Late	1.30	5.02	0.61	50.20	6.10	29.74	26.66	26.52	21.53
Apr	2	Late	1.25	4.72	0.48	47.21	4.76	28.33	31.27	26.29	19.59
Apr	3	Late	1.19	4.46	0.40	44.59	4.03	13.05	20.13	33.48	17.06
May	1	Late	1.14	3.90	0.37	38.98	3.65	10.02	13.24	29.32	14.14
May	2	Late	1.09	3.51	0.29	35.11	2.93	11.03	17.30	26.17	12.19
May	3	Late	1.03	3.21	0.26	35.27	2.85	15.95	23.64	23.83	14.41
Jun	1	Late	0.98	3.01	0.29	30.11	2.89	6.51	13.82	25.49	11.25
Jun	2	Late	0.93	2.89	0.28	28.91	2.80	8.32	19.04	23.12	11.21
Jun	3	Late	0.87	2.77	0.23	27.70	2.34	6.94	12.59	22.15	10.63
ME	-	-	1.13	4.60	0.53	46.53	5.35	32.43	29.87	24.24	17.40
MA	-	-	1.35	6.40	0.85	68.63	8.47	78.59	60.73	45.15	27.18
MI	-	-	0.40	1.32	0.10	13.23	1.04	2.32	5.82	9.13	4.06
SO	-	-	-	-	-	1675.02	-	1167.34	-	872.64	-

ME – média; MA – máximo; MI – mínimo; SO – soma.

Tabela 11 - Valores médios (M) e desvios padrões amostrais (DPA) da evapotranspiração da cultura (ETc), precipitação pluvial efetiva (PPTef) e necessidades de irrigação, Época 3, em função das simulações ano-a-ano (31 anos); Módulo “CWR” do CROPWAT 8.0

Mês	Dec.	Est.	Kc (Adm.)	ETc (mm.d ⁻¹)		ETc (mm.dec ⁻¹)		PPTef (mm.dec ⁻¹)		NI (mm.dec ⁻¹)	
				M	DPA	M	DPA	M	DPA	M	DPA
Oct	1	Init	0.40	1.90	0.21	18.95	2.14	23.85	31.80	9.65	8.24
Oct	2	Init	0.40	1.89	0.22	18.86	2.17	31.89	28.49	5.30	7.46
Oct	3	Init	0.40	1.85	0.18	20.40	1.98	36.19	26.88	3.41	6.77
Nov	1	Deve	0.50	2.28	0.30	22.85	3.00	35.90	35.19	6.84	9.98
Nov	2	Deve	0.66	3.03	0.40	30.30	4.00	49.06	38.07	8.36	12.86
Nov	3	Deve	0.82	3.62	0.51	36.16	5.06	39.63	29.53	11.54	12.98
Dec	1	Deve	0.98	4.05	0.57	40.55	5.70	54.75	50.17	12.50	17.67
Dec	2	Deve	1.14	4.75	0.50	47.46	5.02	75.15	44.42	5.74	11.41
Dec	3	Mid	1.30	5.49	0.62	60.39	6.86	55.05	44.79	21.70	23.13
Jan	1	Mid	1.35	5.43	0.59	54.35	5.91	78.59	48.70	9.19	12.99
Jan	2	Mid	1.35	5.76	0.85	57.64	8.47	75.56	60.73	15.45	21.95
Jan	3	Mid	1.35	5.55	0.69	61.03	7.60	74.83	60.35	17.35	20.00
Feb	1	Mid	1.35	5.57	0.62	55.66	6.25	57.78	54.24	20.32	23.94
Feb	2	Mid	1.35	5.61	0.60	56.11	6.04	70.00	58.76	14.93	19.92
Feb	3	Mid	1.35	5.66	0.68	45.28	5.44	48.83	42.08	15.61	17.24
Mar	1	Mid	1.35	5.50	0.78	54.97	7.77	55.71	43.96	19.90	21.78
Mar	2	Mid	1.35	5.19	0.53	51.87	5.29	50.42	43.07	19.73	19.25
Mar	3	Mid	1.35	5.20	0.58	57.23	6.40	51.25	41.90	19.50	23.03
Apr	1	Mid	1.35	5.21	0.63	52.14	6.33	29.74	26.66	27.95	22.33
Apr	2	Mid	1.35	5.11	0.51	51.08	5.15	28.33	31.27	29.68	20.53
Apr	3	Mid	1.35	5.04	0.46	50.38	4.57	13.05	20.13	38.91	18.14
May	1	Mid	1.35	4.61	0.43	46.07	4.32	10.02	13.24	36.08	15.24
May	2	Mid	1.35	4.35	0.36	43.48	3.63	11.03	17.30	33.97	13.85
May	3	Mid	1.35	4.19	0.34	46.04	3.72	15.95	23.64	33.35	17.10
Jun	1	Mid	1.35	4.15	0.40	41.54	4.00	6.51	13.82	35.74	14.85
Jun	2	Mid	1.35	4.21	0.41	42.12	4.08	8.32	19.04	35.83	13.11
Jun	3	Late	1.35	4.27	0.36	42.70	3.61	6.94	12.59	35.79	14.42
Jul	1	Late	1.31	4.32	0.37	43.19	3.68	3.68	8.19	39.51	8.86
Jul	2	Late	1.25	4.33	0.32	43.33	3.24	2.87	8.02	40.70	8.78
Jul	3	Late	1.20	4.42	0.39	48.61	4.32	2.64	5.82	45.97	8.23
Aug	1	Late	1.14	4.61	0.42	46.08	4.25	2.32	6.60	43.83	9.32
Aug	2	Late	1.09	4.69	0.51	46.89	5.09	3.41	7.60	43.49	10.93
Aug	3	Late	1.03	4.59	0.55	50.43	6.10	11.78	18.85	40.58	19.33
Sep	1	Late	0.98	4.46	0.72	44.57	7.24	12.73	20.18	34.57	18.26
Sep	2	Late	0.93	4.22	0.47	42.20	4.66	12.65	18.15	31.21	17.08
Sep	3	Late	0.87	3.91	0.53	39.09	5.31	20.95	21.12	21.89	16.85
ME	-	-	1.13	4.42	0.49	44.72	4.96	32.43	29.87	24.61	15.49
MA	-	-	1.35	5.76	0.85	61.03	8.47	78.59	60.73	45.97	23.94
MI	-	-	0.40	1.85	0.18	18.86	1.98	2.32	5.82	3.41	6.77
SO	-	-	-	-	-	1609.98	-	1167.34	-	886.08	-

ME – média; MA – máximo; MI – mínimo; SO – soma.

Na Figura 32, estão ilustrados os “perfis” de evapotranspiração da cultura (ETc), médias (M) e desvios padrões amostrais (DPA), por decêndio, bem como o acumulado médio mensal para as diferentes épocas de início do ciclo, em função da série histórica disponível (31 anos).

A

B

C

Figura 32 - Valores médios e desvios padrões amostrais da ETc (mm.dec⁻¹); Valores médios acumulados da ETc (mm.mês⁻¹); (A) - 01/04; (B) - 01/07; (C) - 01/10

Já, o comportamento médio (M) e os desvios padrões amostrais (DPA) da PPTef (80% da PPT), por decêndio, bem como o acumulado médio mensal em função da série histórica disponível (31 anos), estão ilustrados na Figura 33.

Figura 33 - Valores médios e desvios padrões amostrais da PPTef (mm.dec⁻¹)

Nas Figuras 32A, 32B e 32C, é possível se observar, uma alteração nos perfis de evapotranspiração da cultura (ETc) em função das diferentes épocas de plantio, devido à variação do comportamento da evapotranspiração de referência (ETo) ao longo do tempo (Figura 30A), uma vez que a estimativa da ETc, neste módulo, é dependente exclusivamente dos valores de entrada de ETo e dos valores do coeficiente de cultivo (kc) ao longo das fases de crescimento e desenvolvimento da cultura ($ETc = ETo \cdot kc$), sendo que este último (kc) não foi modificado no decorrer das simulações realizadas ano-a-ano. Ainda, a variabilidade da ETc para cada decêndio, demonstrada pelos desvios padrões amostrais (DPA), é função das diferenças existentes nos valores da ETo da série histórica estudada (31 anos). Porém, esta variabilidade pode ser considerada pequena quando comparada à variabilidade dos valores de precipitação pluvial efetiva (PPTef) (Tabelas 9, 10 e 11), conforme ilustrado na Figura 33.

Por sua vez, as necessidades de irrigação (NI) médias (M) e os desvios padrões amostrais (DPA), por decêndio, bem como o acumulado médio mensal para as diferentes épocas de início do ciclo, em função da série histórica disponível (31 anos), estão ilustradas nas figuras abaixo (Figura 34A, 34B e 34C). Evidentemente, devido à característica intrínseca de grande variabilidade temporal do elemento meteorológico PPT em climas úmido e sub-úmidos, as necessidades de irrigação (NI), seja quando da prática de irrigação suplementar ou mesmo sob déficit hídrico controlado, apresentam, também, grande variabilidade, uma vez que estas representam as diferenças entre a ETc e PPTef do período considerado ($NI = ETc - PPTef$).

Figura 34 - Valores médios e desvios padrões amostrais da NI (mm.dec⁻¹); Valores médios acumulados da NI (mm.mês⁻¹); (A) - 01/04; (B) - 01/07; (C) - 01/10

Nas figuras abaixo, os valores de ETc (mm.dec⁻¹) (Figura 35), PPTef (mm.dec⁻¹) (Figura 36) e NI (mm.dec⁻¹) (Figura 37) para todas as simulações realizadas ano-a-ano em função da série histórica das variáveis meteorológicas (31 anos), são ilustrados, na integra,

por meio de gráficos de dispersão, evidenciando a variabilidade da ETc e da PPTef e seus reflexos nas necessidades de irrigação (NI).

Figura 35 - Dispersão da evapotranspiração da cultura - ETc (mm.dec^{-1}), calculada para a série histórica de 31 anos, em função das diferentes épocas de início do ciclo

Figura 36 - Dispersão da precipitação pluvial efetiva - PPTef (mm.dec^{-1}), para a série histórica de 31 anos, em função das diferentes épocas de início do ciclo

Figura 37 - Dispersão das necessidades de irrigação - NI (mm.dec^{-1}), calculada para a série histórica de 31 anos, em função das diferentes épocas de início do ciclo

Já, os valores de evapotranspiração da cultura (ETc , em mm.d^{-1} e em mm.dec^{-1}), médias (M) e os desvios padrões amostrais (DPA) das precipitações pluviais efetivas (PPTef , em mm.dec^{-1} - função do critério selecionado) e necessidades de irrigação (NI, em mm.dec^{-1}) em função dos anos contrastantes (AN - médio, AU e AS) determinados para o período total (PT - ano) e para o período seco (PS - abril a setembro), para dois níveis de probabilidade teórica de “não-superação” da **ETo (50 e 80%)**, respectivamente, são apresentados abaixo para cada uma das épocas de início das simulações (Tabela 12 e 13 - 01/04; Tabela 14 e 15 - 01/07; Tabela 16 e 17 - 01/10).

De acordo com o nível de probabilidade teórica de “não-superação” dos valores de ETo utilizados nas estimativas das necessidades hídricas da cultura (ETc) pode-se observar um incremento médio de aproximadamente 14,0% nos valores de ETc para o ciclo da cana-de-açúcar, quando utilizam-se valores de ETo -80% (242,2 mm - época 1 (01/04); 252,7 mm - época 2 (01/07) e 221,7 mm - época 3 (01/10). Em termos das necessidades de irrigação, que considera ainda a eficiência da irrigação, o incremento médio observado aproximasse à 20%.

Neste caso, é possível observar-se ainda a variabilidade, em termos do desvio padrão amostral, dos valores de precipitação pluvial efetiva (PPTef) e, consequentemente, das necessidades de irrigação (NI) para cada decêndio em função dos diferentes anos selecionados com base na probabilidade teórica “atingível” dos valores de PPT (AN, AU e AS; PT e PS).

Tabela 12 - Valores da evapotranspiração da cultura (ETc), para **ETo-50%**; Valores médios (M) e desvios padrões amostrais (DPA) da precipitação pluvial efetiva (PPTef) e necessidades de irrigação, **Época 1**, em função das simulações dos anos contrastantes (AN, AU e AS; PT e PS)

Mês	Dec.	Est.	Kc (Adm.)	ETc		PPTef (mm.dec ⁻¹)		NI (mm.dec ⁻¹)	
				(mm.d ⁻¹)	(mm.dec ⁻¹)	M	DPA	M	DPA
Apr	1	Init	0.40	1.58	15.80	7.75	7.07	8.22	6.80
Apr	2	Init	0.40	1.53	15.30	48.27	53.36	6.80	7.47
Apr	3	Init	0.40	1.55	15.50	0.00	0.00	15.50	0.00
May	1	Deve	0.49	1.72	17.20	10.57	12.10	8.98	9.04
May	2	Deve	0.65	2.16	21.60	11.43	13.09	11.70	11.02
May	3	Deve	0.81	2.62	28.90	0.00	0.00	28.90	0.00
Jun	1	Deve	0.98	3.11	31.10	0.00	0.00	31.10	0.00
Jun	2	Deve	1.14	3.65	36.50	24.18	7.96	12.27	7.99
Jun	3	Mid	1.29	4.23	42.30	0.00	0.00	42.30	0.00
Jul	1	Mid	1.35	4.58	45.80	5.28	6.05	40.50	6.06
Jul	2	Mid	1.35	4.81	48.10	7.63	3.39	40.43	3.40
Jul	3	Mid	1.35	5.15	56.70	0.00	0.00	56.70	0.00
Aug	1	Mid	1.35	5.58	55.80	0.00	0.00	55.80	0.00
Aug	2	Mid	1.35	5.90	59.00	1.17	1.33	57.83	1.33
Aug	3	Mid	1.35	6.08	66.80	32.38	15.32	34.42	15.32
Sep	1	Mid	1.35	6.29	62.90	42.60	39.89	29.48	25.45
Sep	2	Mid	1.35	6.18	61.80	5.82	7.19	56.00	7.17
Sep	3	Mid	1.35	6.12	61.20	55.30	18.41	10.08	13.12
Oct	1	Mid	1.35	6.44	64.40	14.68	7.83	49.72	7.83
Oct	2	Mid	1.35	6.40	64.00	67.68	34.81	11.28	17.07
Oct	3	Mid	1.35	6.26	68.80	40.92	27.51	30.97	21.87
Nov	1	Mid	1.35	6.12	61.20	66.37	55.44	21.05	23.69
Nov	2	Mid	1.35	6.17	61.70	13.63	4.72	48.07	4.72
Nov	3	Mid	1.35	5.93	59.30	39.35	29.37	25.03	20.49
Dec	1	Mid	1.35	5.63	56.30	49.12	50.35	24.77	24.53
Dec	2	Mid	1.35	5.52	55.20	98.70	84.54	14.40	17.47
Dec	3	Late	1.34	5.65	62.20	16.40	5.53	45.77	5.57
Jan	1	Late	1.29	5.14	51.40	82.70	57.26	8.10	13.32
Jan	2	Late	1.24	5.23	52.30	36.33	34.91	23.92	24.44
Jan	3	Late	1.19	4.89	53.80	31.42	19.00	24.02	15.81
Feb	1	Late	1.13	4.67	46.70	25.67	29.00	25.52	21.91
Feb	2	Late	1.08	4.43	44.30	40.42	16.56	8.57	9.12
Feb	3	Late	1.03	4.35	34.80	28.95	15.03	9.63	9.94
Mar	1	Late	0.98	4.05	40.50	17.50	5.72	23.00	5.72
Mar	2	Late	0.93	3.55	35.50	14.70	13.00	20.82	12.97
Mar	3	Late	0.88	3.37	37.10	114.40	105.89	2.75	5.64
ME	-	-	1.13	4.63	46.99	29.20	21.71	26.79	10.45
MA	-	-	1.35	6.44	68.80	114.40	105.89	57.83	25.45
MI	-	-	0.40	1.53	15.30	0.00	0.00	2.75	0.00
SO	-	-	-	-	1691.80	1051.32	781.63	964.38	376.26

ME – média; MA – máximo; MI – mínimo; SO – soma.

Tabela 13 - Valores da evapotranspiração da cultura (ETc), para **ETo-80%**; Valores médios (M) e desvios padrões amostrais (DPA) da precipitação pluvial efetiva (PPTef) e necessidades de irrigação, **Época 1**, em função das simulações dos anos contrastantes (AN, AU e AS; PT e PS)

Mês	Dec.	Est.	Kc (Adm.)	ETc		PPTef (mm.dec ⁻¹)		NI (mm.dec ⁻¹)	
				(mm.d ⁻¹)	(mm.dec ⁻¹)	M	DPA	M	DPA
Apr	1	Init	0.40	1.79	17.90	7.75	7.07	10.13	7.07
Apr	2	Init	0.40	1.72	17.20	48.27	53.36	7.77	8.52
Apr	3	Init	0.40	1.66	16.60	0.00	0.00	16.60	0.00
May	1	Deve	0.49	1.89	18.90	10.57	12.10	10.12	9.73
May	2	Deve	0.65	2.37	23.70	11.43	13.09	13.10	11.93
May	3	Deve	0.81	2.84	31.20	0.00	0.00	31.20	0.00
Jun	1	Deve	0.98	3.36	33.60	0.00	0.00	33.60	0.00
Jun	2	Deve	1.14	3.95	39.50	24.18	7.96	15.37	7.99
Jun	3	Mid	1.29	4.51	45.10	0.00	0.00	45.10	0.00
Jul	1	Mid	1.35	4.94	49.40	5.28	6.05	44.12	6.05
Jul	2	Mid	1.35	5.13	51.30	7.63	3.39	43.67	3.39
Jul	3	Mid	1.35	5.52	60.70	0.00	0.00	60.70	0.00
Aug	1	Mid	1.35	5.99	59.90	0.00	0.00	59.90	0.00
Aug	2	Mid	1.35	6.40	64.00	1.17	1.33	62.83	1.33
Aug	3	Mid	1.35	6.82	75.10	32.38	15.32	42.68	15.35
Sep	1	Mid	1.35	7.18	71.80	42.60	39.89	35.42	29.65
Sep	2	Mid	1.35	7.18	71.80	5.82	7.19	66.00	7.17
Sep	3	Mid	1.35	7.07	70.70	55.30	18.41	17.18	15.76
Oct	1	Mid	1.35	7.44	74.40	14.68	7.83	59.72	7.83
Oct	2	Mid	1.35	7.43	74.30	67.68	34.81	17.68	20.48
Oct	3	Mid	1.35	7.22	79.40	40.92	27.51	39.72	25.03
Nov	1	Mid	1.35	7.24	72.40	66.37	55.44	26.65	29.70
Nov	2	Mid	1.35	7.41	74.10	13.63	4.72	60.48	4.71
Nov	3	Mid	1.35	7.17	71.70	39.35	29.37	35.00	24.34
Dec	1	Mid	1.35	6.53	65.30	49.12	50.35	30.78	28.30
Dec	2	Mid	1.35	6.48	64.80	98.70	84.54	19.20	22.33
Dec	3	Late	1.34	6.65	73.20	16.40	5.53	56.77	5.57
Jan	1	Late	1.29	6.11	61.10	82.70	57.26	12.95	17.32
Jan	2	Late	1.24	6.47	64.70	36.33	34.91	32.20	29.61
Jan	3	Late	1.19	5.69	62.50	31.42	19.00	31.32	18.61
Feb	1	Late	1.13	5.50	55.00	25.67	29.00	31.93	24.51
Feb	2	Late	1.08	5.15	51.50	40.42	16.56	13.90	11.39
Feb	3	Late	1.03	5.04	40.30	28.95	15.03	13.37	12.26
Mar	1	Late	0.98	4.59	45.90	17.50	5.72	28.40	5.72
Mar	2	Late	0.93	4.16	41.60	14.70	13.00	26.87	12.99
Mar	3	Late	0.88	3.94	43.40	114.40	105.89	5.50	8.07
ME	-	-	1.13	5.29	53.72	29.20	21.71	32.16	12.02
MA	-	-	1.35	7.44	79.40	114.40	105.89	66.00	29.70
MI	-	-	0.40	1.66	16.60	0.00	0.00	5.50	0.00
SO	-	-	-	-	1934.00	1051.32	781.63	1157.92	432.68

ME – média; MA – máximo; MI – mínimo; SO – soma.

Tabela 14 - Valores da evapotranspiração da cultura (ETc), para **ETo-50%**; Valores médios (M) e desvios padrões amostrais (DPA) da precipitação pluvial efetiva (PPTef) e necessidades de irrigação, **Época 2**, em função das simulações dos anos contrastantes (AN, AU e AS; PT e PS)

Mês	Dec.	Est.	Kc (Adm.)	ETc		PPTef (mm.dec ⁻¹)		NI (mm.dec ⁻¹)	
				(mm.d ⁻¹)	(mm.dec ⁻¹)	M	DPA	M	DPA
Jul	1	Init	0.40	1.36	13.60	5.28	6.05	8.30	6.06
Jul	2	Init	0.40	1.42	14.20	7.63	3.39	6.63	3.40
Jul	3	Init	0.40	1.53	16.90	0.00	0.00	16.90	0.00
Aug	1	Deve	0.50	2.08	20.80	0.00	0.00	20.80	0.00
Aug	2	Deve	0.66	2.89	28.90	1.17	1.33	27.73	1.33
Aug	3	Deve	0.83	3.73	41.00	32.38	15.32	11.55	11.41
Sep	1	Deve	0.99	4.63	46.30	42.60	39.89	18.42	18.16
Sep	2	Deve	1.15	5.27	52.70	5.82	7.19	46.90	7.17
Sep	3	Mid	1.31	5.91	59.10	55.30	18.41	8.73	12.52
Oct	1	Mid	1.35	6.44	64.40	14.68	7.83	49.72	7.83
Oct	2	Mid	1.35	6.40	64.00	67.68	34.81	11.28	17.07
Oct	3	Mid	1.35	6.26	68.80	40.92	27.51	30.97	21.87
Nov	1	Mid	1.35	6.12	61.20	66.37	55.44	21.05	23.69
Nov	2	Mid	1.35	6.17	61.70	13.63	4.72	48.07	4.72
Nov	3	Mid	1.35	5.93	59.30	39.35	29.37	25.03	20.49
Dec	1	Mid	1.35	5.63	56.30	49.12	50.35	24.77	24.53
Dec	2	Mid	1.35	5.52	55.20	98.70	84.54	14.40	17.47
Dec	3	Mid	1.35	5.68	62.50	16.40	5.53	46.10	5.53
Jan	1	Mid	1.35	5.36	53.60	82.70	57.26	9.20	14.15
Jan	2	Mid	1.35	5.68	56.80	36.33	34.91	26.97	26.30
Jan	3	Mid	1.35	5.56	61.20	31.42	19.00	30.18	18.17
Feb	1	Mid	1.35	5.58	55.80	25.67	29.00	32.57	24.75
Feb	2	Mid	1.35	5.55	55.50	40.42	16.56	17.27	12.45
Feb	3	Mid	1.35	5.69	45.50	28.95	15.03	17.18	14.05
Mar	1	Mid	1.35	5.55	55.50	17.50	5.72	38.00	5.72
Mar	2	Mid	1.35	5.14	51.40	14.70	13.00	36.75	13.02
Mar	3	Late	1.35	5.17	56.90	114.40	105.89	12.28	14.47
Apr	1	Late	1.30	5.12	51.20	7.75	7.07	43.45	7.07
Apr	2	Late	1.25	4.78	47.80	48.27	53.36	23.02	25.22
Apr	3	Late	1.19	4.62	46.20	0.00	0.00	46.20	0.00
May	1	Late	1.14	4.04	40.40	10.57	12.10	29.88	12.04
May	2	Late	1.09	3.65	36.50	11.43	13.09	25.08	13.08
May	3	Late	1.03	3.35	36.80	0.00	0.00	36.80	0.00
Jun	1	Late	0.98	3.11	31.10	0.00	0.00	31.10	0.00
Jun	2	Late	0.93	2.97	29.70	24.18	7.96	6.45	6.74
Jun	3	Late	0.87	2.86	28.60	0.00	0.00	28.60	0.00
ME	-	-	1.13	4.63	46.87	29.20	21.71	25.79	11.40
MA	-	-	1.35	6.44	68.80	114.40	105.89	49.72	26.30
MI	-	-	0.40	1.36	13.60	0.00	0.00	6.45	0.00
SO	-	-	-	-	1687.40	1051.32	781.63	928.33	410.46

ME – média; MA – máximo; MI – mínimo; SO – soma.

Tabela 15 - Valores da evapotranspiração da cultura (ETc), para **ETo-80%**; Valores médios (M) e desvios padrões amostrais (DPA) da precipitação pluvial efetiva (PPTef) e necessidades de irrigação, **Época 2**, em função das simulações dos anos contrastantes (AN, AU e AS; PT e PS)

Mês	Dec.	Est.	Kc (Adm.)	ETc		PPTef (mm.dec ⁻¹)		NI (mm.dec ⁻¹)	
				(mm.d ⁻¹)	(mm.dec ⁻¹)	M	DPA	M	DPA
Jul	1	Init	0.40	1.46	14.60	5.28	6.05	9.35	6.00
Jul	2	Init	0.40	1.52	15.20	7.63	3.39	7.57	3.39
Jul	3	Init	0.40	1.64	18.10	0.00	0.00	18.10	0.00
Aug	1	Deve	0.50	2.24	22.40	0.00	0.00	22.40	0.00
Aug	2	Deve	0.66	3.14	31.40	1.17	1.33	30.23	1.33
Aug	3	Deve	0.83	4.19	46.10	32.38	15.32	14.92	13.54
Sep	1	Deve	0.99	5.29	52.90	42.60	39.89	22.77	20.92
Sep	2	Deve	1.15	6.13	61.30	5.82	7.19	55.48	7.19
Sep	3	Mid	1.31	6.84	68.40	55.30	18.41	15.23	15.29
Oct	1	Mid	1.35	7.44	74.40	14.68	7.83	59.72	7.83
Oct	2	Mid	1.35	7.43	74.30	67.68	34.81	17.68	20.48
Oct	3	Mid	1.35	7.22	79.40	40.92	27.51	39.72	25.03
Nov	1	Mid	1.35	7.24	72.40	66.37	55.44	26.65	29.70
Nov	2	Mid	1.35	7.41	74.10	13.63	4.72	60.48	4.71
Nov	3	Mid	1.35	7.17	71.70	39.35	29.37	35.00	24.34
Dec	1	Mid	1.35	6.53	65.30	49.12	50.35	30.78	28.30
Dec	2	Mid	1.35	6.48	64.80	98.70	84.54	19.20	22.33
Dec	3	Mid	1.35	6.69	73.60	16.40	5.53	57.17	5.57
Jan	1	Mid	1.35	6.37	63.70	82.70	57.26	14.25	18.50
Jan	2	Mid	1.35	7.03	70.30	36.33	34.91	35.97	32.11
Jan	3	Mid	1.35	6.47	71.10	31.42	19.00	39.73	18.98
Feb	1	Mid	1.35	6.56	65.60	25.67	29.00	40.80	27.51
Feb	2	Mid	1.35	6.44	64.40	40.42	16.56	24.68	15.16
Feb	3	Mid	1.35	6.60	52.80	28.95	15.03	23.85	15.03
Mar	1	Mid	1.35	6.29	62.90	17.50	5.72	45.42	5.70
Mar	2	Mid	1.35	6.02	60.20	14.70	13.00	45.55	13.02
Mar	3	Late	1.35	6.05	66.60	114.40	105.89	17.10	19.49
Apr	1	Late	1.30	5.81	58.10	7.75	7.07	50.35	7.07
Apr	2	Late	1.25	5.38	53.80	48.27	53.36	26.02	28.50
Apr	3	Late	1.19	4.96	49.60	0.00	0.00	49.60	0.00
May	1	Late	1.14	4.44	44.40	10.57	12.10	33.88	12.04
May	2	Late	1.09	4.01	40.10	11.43	13.09	28.67	13.09
May	3	Late	1.03	3.62	39.80	0.00	0.00	39.80	0.00
Jun	1	Late	0.98	3.36	33.60	0.00	0.00	33.60	0.00
Jun	2	Late	0.93	3.22	32.20	24.18	7.96	8.53	7.27
Jun	3	Late	0.87	3.05	30.50	0.00	0.00	30.50	0.00
ME	-	-	1.13	5.33	53.89	29.20	21.71	31.41	13.04
MA	-	-	1.35	7.44	79.40	114.40	105.89	60.48	32.11
MI	-	-	0.40	1.46	14.60	0.00	0.00	7.57	0.00
SO	-	-	-	-	1940.10	1051.32	781.63	1130.75	469.41

ME – média; MA – máximo; MI – mínimo; SO – soma.

Tabela 16 - Valores da evapotranspiração da cultura (ETc), para **ETo-50%**; Valores médios (M) e desvios padrões amostrais (DPA) da precipitação pluvial efetiva (PPTef) e necessidades de irrigação, **Época 3**, em função das simulações dos anos contrastantes (AN, AU e AS; PT e PS)

Mês	Dec.	Est.	Kc (Adm.)	ETc		PPTef (mm.dec ⁻¹)		NI (mm.dec ⁻¹)	
				(mm.d ⁻¹)	(mm.dec ⁻¹)	M	DPA	M	DPA
Oct	1	Init	0.40	1.91	19.10	14.68	7.83	5.95	5.72
Oct	2	Init	0.40	1.90	19.00	67.68	34.81	0.00	0.00
Oct	3	Init	0.40	1.86	20.50	40.92	27.51	0.87	2.12
Nov	1	Deve	0.50	2.28	22.80	66.37	55.44	2.65	4.98
Nov	2	Deve	0.66	3.02	30.20	13.63	4.72	16.58	4.71
Nov	3	Deve	0.82	3.59	35.90	39.35	29.37	9.48	9.92
Dec	1	Deve	0.98	4.07	40.70	49.12	50.35	15.68	17.25
Dec	2	Deve	1.14	4.65	46.50	98.70	84.54	10.07	13.32
Dec	3	Mid	1.30	5.46	60.10	16.40	5.53	43.67	5.57
Jan	1	Mid	1.35	5.36	53.60	82.70	57.26	9.20	14.15
Jan	2	Mid	1.35	5.68	56.80	36.33	34.91	26.97	26.30
Jan	3	Mid	1.35	5.56	61.20	31.42	19.00	30.18	18.17
Feb	1	Mid	1.35	5.58	55.80	25.67	29.00	32.57	24.75
Feb	2	Mid	1.35	5.55	55.50	40.42	16.56	17.27	12.45
Feb	3	Mid	1.35	5.69	45.50	28.95	15.03	17.18	14.05
Mar	1	Mid	1.35	5.55	55.50	17.50	5.72	38.00	5.72
Mar	2	Mid	1.35	5.14	51.40	14.70	13.00	36.75	13.02
Mar	3	Mid	1.35	5.19	57.10	114.40	105.89	12.38	14.58
Apr	1	Mid	1.35	5.32	53.20	7.75	7.07	45.43	7.07
Apr	2	Mid	1.35	5.17	51.70	48.27	53.36	24.97	27.35
Apr	3	Mid	1.35	5.22	52.20	0.00	0.00	52.20	0.00
May	1	Mid	1.35	4.78	47.80	10.57	12.10	37.23	12.10
May	2	Mid	1.35	4.52	45.20	11.43	13.09	33.78	13.08
May	3	Mid	1.35	4.37	48.10	0.00	0.00	48.10	0.00
Jun	1	Mid	1.35	4.29	42.90	0.00	0.00	42.90	0.00
Jun	2	Mid	1.35	4.33	43.30	24.18	7.96	19.17	7.99
Jun	3	Late	1.35	4.40	44.00	0.00	0.00	44.00	0.00
Jul	1	Late	1.31	4.42	44.20	5.28	6.05	38.95	6.00
Jul	2	Late	1.25	4.46	44.60	7.63	3.39	36.93	3.40
Jul	3	Late	1.20	4.57	50.30	0.00	0.00	50.30	0.00
Aug	1	Late	1.14	4.72	47.20	0.00	0.00	47.20	0.00
Aug	2	Late	1.09	4.76	47.60	1.17	1.33	46.43	1.33
Aug	3	Late	1.03	4.65	51.20	32.38	15.32	19.10	14.85
Sep	1	Late	0.98	4.56	45.60	42.60	39.89	17.95	17.88
Sep	2	Late	0.93	4.24	42.40	5.82	7.19	36.60	7.17
Sep	3	Late	0.87	3.96	39.60	55.30	18.41	1.68	3.57
ME	-	-	1.13	4.47	45.23	29.20	21.71	26.90	9.13
MA	-	-	1.35	5.69	61.20	114.40	105.89	52.20	27.35
MI	-	-	0.40	1.86	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO	-	-	-	-	1628.30	1051.32	781.63	968.38	328.54

ME – média; MA – máximo; MI – mínimo; SO – soma.

Tabela 17 - Valores da evapotranspiração da cultura (ETc), para **ETo-80%**; Valores médios (M) e desvios padrões amostrais (DPA) da precipitação pluvial efetiva (PPTef) e necessidades de irrigação, **Época 3**, em função das simulações dos anos contrastantes (AN, AU e AS; PT e PS)

Mês	Dec.	Est.	Kc (Adm.)	ETc		PPTef (mm.dec ⁻¹)		NI (mm.dec ⁻¹)	
				(mm.d ⁻¹)	(mm.dec ⁻¹)	M	DPA	M	DPA
Oct	1	Init	0.40	2.20	22.00	14.68	7.83	7.92	6.99
Oct	2	Init	0.40	2.20	22.00	67.68	34.81	0.00	0.00
Oct	3	Init	0.40	2.15	23.60	40.92	27.51	1.48	3.35
Nov	1	Deve	0.50	2.70	27.00	66.37	55.44	4.05	6.88
Nov	2	Deve	0.66	3.63	36.30	13.63	4.72	22.67	4.72
Nov	3	Deve	0.82	4.35	43.50	39.35	29.37	14.55	13.09
Dec	1	Deve	0.98	4.72	47.20	49.12	50.35	18.93	20.80
Dec	2	Deve	1.14	5.46	54.60	98.70	84.54	14.10	17.17
Dec	3	Mid	1.30	6.43	70.70	16.40	5.53	54.32	5.54
Jan	1	Mid	1.35	6.37	63.70	82.70	57.26	14.25	18.50
Jan	2	Mid	1.35	7.03	70.30	36.33	34.91	35.97	32.11
Jan	3	Mid	1.35	6.47	71.10	31.42	19.00	39.73	18.98
Feb	1	Mid	1.35	6.56	65.60	25.67	29.00	40.80	27.51
Feb	2	Mid	1.35	6.44	64.40	40.42	16.56	24.68	15.16
Feb	3	Mid	1.35	6.60	52.80	28.95	15.03	23.85	15.03
Mar	1	Mid	1.35	6.29	62.90	17.50	5.72	45.42	5.70
Mar	2	Mid	1.35	6.02	60.20	14.70	13.00	45.55	13.02
Mar	3	Mid	1.35	6.08	66.80	114.40	105.89	17.25	19.64
Apr	1	Mid	1.35	6.03	60.30	7.75	7.07	52.60	7.08
Apr	2	Mid	1.35	5.82	58.20	48.27	53.36	28.22	30.91
Apr	3	Mid	1.35	5.60	56.00	0.00	0.00	56.00	0.00
May	1	Mid	1.35	5.25	52.50	10.57	12.10	41.98	12.04
May	2	Mid	1.35	4.97	49.70	11.43	13.09	38.27	13.09
May	3	Mid	1.35	4.73	52.00	0.00	0.00	52.00	0.00
Jun	1	Mid	1.35	4.63	46.30	0.00	0.00	46.30	0.00
Jun	2	Mid	1.35	4.70	47.00	24.18	7.96	22.77	7.99
Jun	3	Late	1.35	4.70	47.00	0.00	0.00	47.00	0.00
Jul	1	Late	1.31	4.78	47.80	5.28	6.05	42.50	6.06
Jul	2	Late	1.25	4.76	47.60	7.63	3.39	39.93	3.40
Jul	3	Late	1.20	4.90	53.90	0.00	0.00	53.90	0.00
Aug	1	Late	1.14	5.07	50.70	0.00	0.00	50.70	0.00
Aug	2	Late	1.09	5.16	51.60	1.17	1.33	50.43	1.33
Aug	3	Late	1.03	5.23	57.50	32.38	15.32	25.10	15.35
Sep	1	Late	0.98	5.21	52.10	42.60	39.89	22.23	20.57
Sep	2	Late	0.93	4.93	49.30	5.82	7.19	43.48	7.19
Sep	3	Late	0.87	4.58	45.80	55.30	18.41	3.75	6.30
ME	-	-	1.13	5.08	51.39	29.20	21.71	31.74	10.43
MA	-	-	1.35	7.03	71.10	114.40	105.89	56.00	32.11
MI	-	-	0.40	2.15	22.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO	-	-	-	-	1850.00	1051.32	781.63	1142.68	375.49

ME – média; MA – máximo; MI – mínimo; SO – soma.

Na Figura 38, estão ilustrados os “perfis” de evapotranspiração da cultura (ETc), em função das diferentes épocas de início do ciclo e dos diferentes níveis de probabilidade teórica de “não-superação” da ETo (50% e 80%).

Figura 38 - Evapotranspiração da cultura (ETc) em função das diferentes épocas de início do ciclo e da probabilidade teórica de “não-superação” da ETo (50 e 80%)

Já, na Figura 39, estão ilustrados os valores de precipitação pluvial efetiva (PPTef = 80% da PPT) em função dos diferentes anos de PPT: ano médio (normal) (AN), ano seco (AS) e ano úmido (AU), determinados durante o período total do ano (PT) e durante o período seco (PS), de abril a setembro.

Figura 39 - Precipitação pluvial efetiva (PPTef = 80% PPT) em função da determinação dos anos normais (médios, AN), secos (AS) e úmidos (AU) para o período total de chuvas (ano, PT) e para o período seco (Abril a Setembro, PS); * mudança na escala (0 a 350)

Assim, é possível se observar a mesma alteração nos perfis de evapotranspiração da cultura (ET_c) em função das diferentes épocas de início do ciclo, da mesma forma e pelos mesmos motivos descritos anteriormente (simulações ano-a-ano). No entanto, neste caso, nota-se o incremento dos valores de ET_c em função do aumento do nível de probabilidade de “não-superação” dos valores de ET_o (de 50 para 80%), uma vez que, como já foi dito, a estimativa da ET_c , neste módulo, é função dos valores de entrada de ET_o e dos valores do coeficiente de cultivo (k_c) ao longo das fases de crescimento e desenvolvimento da cultura ($ET_c = ET_o \cdot k_c$).

Por sua vez, as necessidades de irrigação (NI) por decêndio (ETo-50%), bem como o acumulado médio mensal (ETo-50% e ETo-80%) para as diferentes épocas de cultivo, respectivamente, e em função dos diferentes anos determinados (AN, AU e AS; PT e PS), estão ilustradas nas figuras abaixo (Figuras 40, 41 e 42).

Figura 40 - Necessidade de irrigação (NI), na ÉPOCA 1 (01/04), em função da determinação dos anos normais (médios, AN), secos (AS) e úmidos (AU) para o período total de chuvas (ano, PT) e para o período seco (Abril a Setembro, PS), e ETo-50 e 80%

Apesar dos “padrões/tendências” das necessidades de irrigação (NI) ao longo do ciclo terem se mantido próximos quando comparados às simulações ano-a-ano (média de 31 anos), é possível se observar algumas variações acentuadas nos valores descendias e mensais de NI,

uma vez que, no critério de seleção dos anos contrastantes (AN, AS e AU), não é vista a distribuição dos valores PPTef acumulados ao longo dos períodos total (PT - ano) e seco (PS - abril a setembro), sendo assim, uma limitação da metodologia proposta. Isso é facilmente evidenciado quando se observam os gráficos da distribuição decendial da PPTef para os anos normais, secos e úmidos (Figura 39).

Figura 41 - Necessidade de irrigação (NI), na ÉPOCA 2 (01/07), em função da determinação dos anos normais (médios, AN), secos (AS) e úmidos (AU) para o período total de chuvas (ano, PT) e para o período seco (Abril a Setembro, PS), e ETo-50 e 80%

Da mesma maneira, isto é evidenciado para as demais épocas de cultivo: ÉPOCA 2 - 01/07 (Figura 41) e ÉPOCA 3 - 01/10 (Figura 42). Contudo, vale ressaltar que, quando se

utilizam os anos secos (AS) para as estimativas das necessidades de irrigação (NI), esses padrões/tendências são menos afetados e, evidentemente, representam uma maior segurança no atendimento nas necessidades hídricas via irrigação.

Figura 42 - Necessidade de irrigação (NI), na ÉPOCA 3 (01/10), em função da determinação dos anos normais (médios, AN), secos (AS) e úmidos (AU) para o período total de chuvas (ano, PT) e para o período seco (Abril a Setembro, PS), e ETo-50 e 80%

Os valores de ET_c (mm.dec⁻¹) (Figura 43), PPT_{ef} (mm.dec⁻¹) (Figura 44) e NI (mm.dec⁻¹) (Figuras 45, 46 e 47) - na integra - para as simulações realizadas em função dos níveis de probabilidade teórica de “não-superação” dos valores de ETo (50 e 80%), bem como dos níveis de probabilidade teórica “atingível” dos valores de PPT (AN, AS e AU)

determinados no período total (PT) e seco (PS), estão ilustrados a seguir através de gráficos de dispersão.

Figura 43 - “Perfis” de evapotranspiração da cultura - ET_c (mm.dec^{-1}), calculada para as diferentes probabilidades teóricas de “não-superação” da ETo (50 e 80%), em função das diferentes épocas de início do ciclo

Figura 44 - Precipitação pluvial efetiva - $PPTEf$ (mm.dec^{-1}) em função da determinação dos anos normais (médios, AN), secos (AS) e úmidos (AU), para o período total de chuvas (ano, PT) e para o período seco (Abril a Setembro, PS)

Figura 45 - Dispersão da necessidade de irrigação - NI (mm.dec^{-1}) para dos níveis de probabilidade de “não-superação” da ETo (50 e 80%), em função dos anos normais (AN), secos (AS) e úmidos (AU); período total de chuvas (PT - ano) e período seco (PS - abril a setembro); **ÉPOCA 1 - 01/04**

Figura 46 - Dispersão da necessidade de irrigação - NI (mm.dec^{-1}) para dos níveis de probabilidade de “não-superação” da ETo (50 e 80%), em função dos anos normais (AN), secos (AS) e úmidos (AU); período total de chuvas (PT - ano) e período seco (PS - abril a setembro); **ÉPOCA 2 - 01/07**

Figura 47 - Dispersão da necessidade de irrigação - NI (mm.dec-1) para dois níveis de probabilidade de “não-superação” da ETo (50 e 80%), em função dos anos normais (AN), secos (AS) e úmidos (AU); período total de chuvas (PT - ano) e período seco (PS - abril a setembro); **ÉPOCA 3 - 01/10**

4.3 Balanço hídrico diário da cultura - Módulo “Schedule”

Neste módulo (módulo de saída de dados), os resultados são apresentados na escala de tempo diária, em função dos diferentes *critérios/enfoques do manejo da irrigação* (I. SUP, I. DEF e SEQ); *épocas de início do ciclo de crescimento e desenvolvimento da cultura* (Época 1 - 01/04; Época 2 - 01/07; Época 3 - 01/10) e *capacidade relativa total de água disponível* (TAW, mm.m-1), que representa a capacidade de água disponível (CAD) relativa a 1,0 m (um metro) de profundidade de solo (CAD 50, 100 e 150 mm.m⁻¹).

Vale ressaltar que, neste módulo, o *CROPWAT 8.0* apresenta seus resultados de duas formas: *balanço hídrico diário da cultura (BHC)*, com 365 linhas de dados (dias do ciclo), e o *calendário de irrigação*, com número de linhas variável em função da quantidade de eventos de irrigação de cada simulação. Assim, neste caso, há sensibilidade a todas as fontes de variação citadas anteriormente e, logicamente, às variáveis meteorológicas (ETo e PPT) e aos parâmetros de cultura (módulo “CROP”), sendo este último invariável para todas as simulações.

Desta forma, apresentar-se-á, aqui, um resumo das informações das simulações realizadas em função dos critérios/enfoques do manejo da irrigação (I. SUP., I. DEF., e

SEQ.), diferentes épocas para início do ciclo de cana-soca (Época 1 – 01/04; Época 2 – 01/07; Época 3 – 01/10) e diferentes CAD's relativas (50, 100 e 150 mm.m⁻¹) para os 31 anos de dados disponíveis - série histórica (3 x 3 x 3 x 31 = 837 simulações; 279 por critério/enfoque do manejo da irrigação). Da mesma maneira, para os diferentes níveis de ETo e PPT (anos contrastantes): ETo-50% x AUPT; AMPT; ASPT; AUPS; AMPS e ASPs; e ETo-80% x AUPT; AMPT; ASPT; AUPS; AMPS e ASPs (12 “anos”) (3 x 3 x 3 x 12 = 324 simulações; 108 por critério/enfoque do manejo da irrigação).

Na tabela 18, são apresentados os valores (mínimos, 1º quartil, médios, 3º quartil, máximos, desvio padrão, assimetria e amplitude) de lâmina bruta (LB, mm), evapotranspiração da cultura (ETc, mm), precipitação pluvial total e precipitação pluvial efetiva (PPT e PPTef, mm) e as razões entre precipitação pluvial total e precipitação pluvial efetiva (PPTef/PPT, %), para os 31 anos de dados simulados (série histórica), para o **critério de irrigação suplementar (I. SUP)**.

Tabela 18 - Valores mínimos, 1º quartil, médios, 3º quartil, máximos, desvio padrão, assimetria e amplitude para: lâmina bruta (LB), evapotranspiração da cultura (ETc), precipitação pluvial total e efetiva (PPT e PPTef) e razão entre PPTef e PPT (PPTef/PPT), **Irrigação Suplementar**, para as simulações ano-a-ano (31 anos)

Continua...

EP	CAD	Mínimo	1º Quartil	Média	3º Quartil	Máximo	Desvio Padrão	Assimetria	Amplitude
Lâmina Bruta - LB (mm.ciclo⁻¹)									
01/04	50	905.4	1105.1	1245.7	1394.9	1617.7	198.1	0.14	712.3
01/04	100	557.5	876.5	1050.2	1278.7	1444.7	226.4	0.11	887.2
01/04	150	592.5	818.0	960.3	1074.3	1421.0	211.9	0.22	828.5
01/07	50	820.1	1031.7	1186.7	1318.7	1533.2	194.3	0.05	713.1
01/07	100	471.4	797.2	967.5	1125.3	1439.4	236.4	0.22	968.0
01/07	150	466.2	708.6	857.0	951.9	1411.2	238.9	0.36	945.0
01/10	50	813.7	994.9	1152.6	1263.2	1484.8	174.8	0.08	671.1
01/10	100	631.8	794.8	961.8	1111.2	1356.8	183.4	0.32	725.0
01/10	150	583.9	815.3	879.6	945.2	1298.4	193.0	0.44	714.5
Evapotranspiração da Cultura - ETc (mm.ciclo⁻¹)									
01/04	50	1533.3	1634.4	1673.7	1728.1	1771.4	60.1	-0.24	238.1
01/04	100	1533.3	1634.4	1673.7	1728.1	1771.4	60.1	-0.24	238.1
01/04	150	1533.3	1634.4	1673.7	1728.1	1771.4	60.1	-0.24	238.1
01/07	50	1539.4	1636.0	1672.2	1726.3	1760.7	54.9	-0.25	221.3
01/07	100	1539.4	1636.0	1672.2	1726.3	1760.7	54.9	-0.25	221.3
01/07	150	1539.4	1636.0	1672.2	1726.3	1760.7	54.9	-0.25	221.3
01/10	50	1501.0	1576.7	1606.1	1645.7	1695.5	48.8	-0.09	194.5
01/10	100	1501.0	1576.7	1606.1	1645.7	1695.5	48.8	-0.09	194.5
01/10	150	1501.0	1576.7	1606.1	1645.7	1695.5	48.8	-0.09	194.5
Precipitação Pluvial Total - PPT (mm.ciclo⁻¹)									
01/04	50	803.9	1220.0	1458.8	1698.0	2202.0	340.5	-0.19	1398.1
01/04	100	803.9	1220.0	1458.8	1698.0	2202.0	340.5	-0.19	1398.1
01/04	150	803.9	1220.0	1458.8	1698.0	2202.0	340.5	-0.19	1398.1
01/07	50	803.9	1220.0	1458.8	1698.0	2202.0	340.5	-0.19	1398.1
01/07	100	803.9	1220.0	1458.8	1698.0	2202.0	340.5	-0.19	1398.1
01/07	150	803.9	1220.0	1458.8	1698.0	2202.0	340.5	-0.19	1398.1
01/10	50	803.9	1220.0	1458.8	1698.0	2202.0	340.5	-0.19	1398.1
01/10	100	803.9	1220.0	1458.8	1698.0	2202.0	340.5	-0.19	1398.1
01/10	150	803.9	1220.0	1458.8	1698.0	2202.0	340.5	-0.19	1398.1
Precipitação Pluvial Efetiva - PPTef (mm.ciclo⁻¹)									
01/04	50	370.1	495.2	606.2	706.3	827.8	127.0	-0.25	457.7
01/04	100	499.9	605.7	803.3	946.2	1099.0	165.8	-0.32	599.1
01/04	150	473.7	786.0	904.2	1020.0	1150.0	165.9	-0.65	676.3
01/07	50	400.0	532.2	648.9	764.6	856.3	131.7	-0.23	456.3
01/07	100	496.2	696.8	865.2	1034.0	1149.0	180.0	-0.35	652.8
01/07	150	520.6	862.7	978.1	1110.0	1302.0	182.7	-0.50	781.4
01/10	50	402.2	528.4	618.5	728.0	823.4	121.7	-0.02	421.2
01/10	100	528.4	707.9	799.8	903.6	1043.0	136.8	-0.22	514.6
01/10	150	597.5	791.8	889.2	997.4	1084.0	135.7	-0.42	486.5

Tabela 18 - Valores mínimos, 1º quartil, médios, 3º quartil, máximos, desvio padrão, assimetria e amplitude para: lâmina bruta (LB), evapotranspiração da cultura (ETc), precipitação pluvial total e efetiva (PPT e PPTef) e razão entre PPTef e PPT (PPTef/PPT), **Irrigação Suplementar**, para as simulações ano-a-ano (31 anos) Conclusão

EP	CAD	Mínimo	1º Quartil	Média	3º Quartil	Máximo	Desvio Padrão	Assimetria	Amplitude
Razão entre Precipitação Pluvial Efetiva e Total - PPTef/PPT (%)									
01/04	50	24.1	38.0	42.3	46.3	57.9	6.3	-0.31	33.7
01/04	100	30.8	51.7	56.1	61.7	71.8	8.5	-0.73	41.0
01/04	150	45.2	53.8	63.6	73.5	84.3	11.0	0.17	39.1
01/07	50	29.6	40.4	45.3	49.7	57.3	6.6	-0.23	27.7
01/07	100	41.0	51.4	60.5	67.5	83.5	10.4	0.08	42.5
01/07	150	51.8	62.5	68.3	76.2	83.5	8.8	0.12	31.7
01/10	50	30.1	38.8	43.3	46.8	55.9	6.7	0.09	25.9
01/10	100	36.1	46.9	56.7	63.1	84.2	11.5	0.36	48.1
01/10	150	48.6	56.1	62.6	71.0	81.9	9.3	0.31	33.4

Da mesma forma, na tabela 19, são apresentados os valores de LB (mm), ETr (mm), PPTef (mm) e as razões ETr/ETc (%) e PPTef/PPT (%), para os 31 anos de dados simulados (série histórica), para o **critério de irrigação com déficit controlado (I. DEF)**.

Tabela 19 - Valores mínimos, 1º quartil, médios, 3º quartil, máximos, desvio padrão, assimetria e amplitude para: lâmina bruta (LB), evapotranspiração real (ETr), precipitação pluvial efetiva (PPTef), razão entre ETr e ETc (ETr/ETc), **Irrigação com Déficit**, para as simulações ano-a-ano (31 anos)

Continua...

EP	CAD	Mínimo	1º Quartil	Média	3º Quartil	Máximo	Desvio Padrão	Assimetria	Amplitude
Lâmina Bruta - LB (mm.ciclo ⁻¹)									
01/04	50	529.7	752.8	880.9	1022.2	1236.5	172.3	0.07	706.8
01/04	100	427.2	629.7	787.6	930.9	1132.1	174.8	0.15	704.9
01/04	150	316.2	618.4	718.3	892.7	1080.8	181.9	0.07	764.6
01/07	50	376.8	643.3	778.5	912.3	1230.5	206.7	0.16	853.7
01/07	100	104.2	429.0	641.1	827.6	1157.9	245.7	0.23	1053.7
01/07	150	143.3	308.6	533.5	771.9	1052.1	267.0	0.27	908.8
01/10	50	423.4	631.6	782.4	911.7	1176.4	186.3	0.15	753.0
01/10	100	323.7	614.1	675.1	833.0	1156.1	200.4	0.39	832.4
01/10	150	285.9	475.7	607.3	765.2	1072.2	197.0	0.29	786.3
Evapotranspiração Real - ETr (mm.ciclo ⁻¹)									
01/04	50	1398.6	1474.1	1501.5	1545.7	1573.2	46.9	-0.29	174.6
01/04	100	1439.6	1501.8	1539.8	1574.4	1630.5	51.2	-0.17	190.9
01/04	150	1443.3	1527.5	1555.8	1600.7	1655.4	52.2	-0.50	212.1
01/07	50	1376.2	1454.7	1484.0	1527.9	1547.3	44.3	-0.35	171.1
01/07	100	1409.7	1468.4	1503.8	1545.9	1577.5	45.2	-0.12	167.8
01/07	150	1446.5	1478.1	1519.1	1555.5	1590.5	43.7	-0.03	144.0
01/10	50	1348.6	1398.3	1429.5	1461.7	1504.7	39.4	-0.04	156.1
01/10	100	1357.4	1419.7	1444.3	1476.7	1518.2	41.4	-0.09	160.8
01/10	150	1365.9	1425.2	1449.1	1485.5	1522.2	41.1	-0.06	156.3

Tabela 19 - Valores mínimos, 1º quartil, médios, 3º quartil, máximos, desvio padrão, assimetria e amplitude para: lâmina bruta (LB), evapotranspiração real (ETr), precipitação pluvial efetiva (PPTef), razão entre ETr e ETc (ETr/ETc), **Irrigação com Déficit**, para as simulações ano-a-ano (31 anos)

Conclusão...									
EP	CAD	Mínimo	1º Quartil	Média	3º Quartil	Máximo	Desvio Padrão	Assimetria	Amplitude
Precipitação Pluvial Efetiva - PPTef (mm.ciclo ⁻¹)									
01/04	50	529.7	664.5	772.0	876.5	968.8	125.0	-0.21	439.1
01/04	100	604.5	789.0	920.2	1039.0	1148.0	149.2	-0.38	543.5
01/04	150	677.5	870.3	1005.6	1131.0	1265.0	160.7	-0.43	587.5
01/07	50	545.3	729.8	848.7	946.1	1108.0	154.2	-0.21	562.7
01/07	100	576.8	834.2	1001.8	1161.0	1404.0	207.6	-0.26	827.2
01/07	150	692.3	934.5	1099.1	1244.0	1525.0	219.7	-0.37	832.7
01/10	50	521.8	659.7	781.2	910.1	1078.0	143.7	0.03	556.2
01/10	100	562.0	763.5	903.9	1044.0	1106.0	155.0	-0.53	544.0
01/10	150	619.2	874.3	960.7	1049.0	1155.0	133.6	-0.75	535.8
Razão entre Evapotranspiração Real e da Cultura - ETr/ETc (%)									
01/04	50	88.1	88.7	89.7	90.4	92.3	1.3	0.59	4.2
01/04	100	89.3	90.7	92.0	93.0	94.4	1.4	-0.10	5.1
01/04	150	90.2	91.7	93.0	94.3	95.8	1.5	-0.14	5.6
01/07	50	87.8	88.5	88.8	89.1	89.4	0.4	-0.78	1.6
01/07	100	89.3	89.5	89.9	90.2	92.3	0.6	1.98	3.0
01/07	150	89.6	90.0	90.9	90.9	95.3	1.6	1.59	5.7
01/10	50	87.7	88.6	89.0	89.4	89.8	0.5	-0.47	2.2
01/10	100	89.4	89.7	89.9	90.2	90.6	0.3	0.45	1.2
01/10	150	89.6	89.9	90.2	90.5	91.0	0.4	0.44	1.4
Razão entre Precipitação Pluvial Efetiva e Total - PPTef/PPT (%)									
01/04	50	37.5	48.7	54.5	62.4	70.9	8.9	0.04	33.3
01/04	100	47.2	55.3	65.0	75.0	86.8	11.0	0.00	39.6
01/04	150	48.5	64.5	70.8	78.0	96.6	10.6	0.20	48.2
01/07	50	38.9	53.3	59.5	66.8	73.9	8.7	-0.29	35.0
01/07	100	48.6	61.5	69.9	78.0	86.2	10.1	-0.60	37.6
01/07	150	39.8	70.2	76.9	84.8	98.0	11.3	-0.88	58.2
01/10	50	35.0	48.0	55.2	61.3	87.1	10.4	0.51	52.0
01/10	100	43.9	57.4	63.5	69.7	87.6	9.5	0.21	43.7
01/10	150	49.2	60.3	68.0	76.4	95.6	11.4	0.54	46.3

Já, na tabela 20, são apresentados os valores de evapotranspiração real (ETr, mm), precipitação pluvial efetiva (PPTef, mm) e as razões entre evapotranspiração real e da cultura (ETr/ETc, %) e precipitação pluvial efetiva e total (PPTef/PPT, %), para os 31 anos de dados simulados (série histórica), **para a condição de sequeiro (SEQ)**.

Tabela 20 - Valores mínimos, 1º quartil, médios, 3º quartil, máximos, desvio padrão, assimetria e amplitude para: evapotranspiração real (ET_r), precipitação pluvial efetiva (PPT_{ef}), razão entre ET_r e ET_c (ET_r/ET_c) e razão entre PPT_{ef} e PPT (PPT_{ef}/PPT), **Sequeiro**, para as simulações ano-a-ano (31 anos)

EP	CAD	Mínimo	1º Quartil	Média	3º Quartil	Máximo	Desvio Padrão	Assimetria	Amplitude
Evapotranspiração Real - ET_r (mm.ciclo⁻¹)									
01/04	50	622.4	741.4	863.8	960.7	1049.6	118.8	-0.44	427.2
01/04	100	723.5	862.1	959.0	1054.9	1164.4	121.9	-0.31	440.9
01/04	150	768.4	911.0	1008.8	1097.9	1212.8	124.1	-0.29	444.4
01/07	50	674.6	850.8	969.2	1087.3	1192.5	143.3	-0.45	517.9
01/07	100	795.6	1001.2	1111.9	1234.4	1366.8	156.5	-0.41	571.2
01/07	150	875.2	1055.1	1201.4	1323.1	1447.6	164.1	-0.47	572.4
01/10	50	628.7	765.1	862.7	955.4	1053.8	119.2	-0.26	425.1
01/10	100	702.3	886.0	965.5	1047.3	1177.8	115.2	-0.35	475.5
01/10	150	745.3	959.3	1026.0	1105.0	1221.9	110.1	-0.37	476.6
Precipitação Pluvial Efetiva - PPT_{ef} (mm.ciclo⁻¹)									
01/04	50	661.0	813.1	904.2	984.1	1091.0	121.4	-0.48	430.0
01/04	100	741.4	931.2	1033.8	1140.0	1244.0	140.6	-0.50	502.6
01/04	150	784.2	1000.0	1097.8	1198.0	1318.0	151.0	-0.53	533.8
01/07	50	684.7	884.1	1001.3	1120.0	1249.0	149.9	-0.49	564.3
01/07	100	789.3	991.7	1149.5	1303.0	1446.0	175.1	-0.46	656.7
01/07	150	803.9	1062.0	1226.6	1402.0	1561.0	197.9	-0.48	757.1
01/10	50	594.8	784.8	888.0	984.1	1179.0	127.7	-0.14	584.2
01/10	100	632.2	890.2	975.2	1075.0	1211.0	126.9	-0.51	578.8
01/10	150	632.2	925.7	999.2	1089.0	1211.0	124.1	-0.69	578.8
Razão entre Evapotranspiração Real e da Cultura - ET_r/ET_c (%)									
01/04	50	35.5	43.8	51.8	59.0	68.5	8.3	-0.19	33.0
01/04	100	41.2	50.6	57.5	64.6	75.9	8.6	-0.09	34.7
01/04	150	43.8	54.4	60.5	67.2	78.5	8.8	-0.13	34.7
01/07	50	38.8	49.6	58.2	65.3	77.5	9.7	-0.24	38.7
01/07	100	45.7	57.3	66.7	75.9	88.8	10.7	-0.20	43.1
01/07	150	49.7	63.8	72.1	80.8	94.0	11.3	-0.28	44.3
01/10	50	37.2	47.2	53.9	61.1	68.8	8.4	-0.15	31.6
01/10	100	41.6	54.0	60.3	67.9	75.1	8.2	-0.24	33.5
01/10	150	44.1	59.0	64.0	71.0	77.9	7.9	-0.28	33.8
Razão entre Precipitação Pluvial Efetiva e Total - PPT_{ef}/PPT (%)									
01/04	50	44.7	54.5	64.1	71.7	84.5	10.6	0.21	39.8
01/04	100	51.4	63.4	73.2	82.1	97.4	11.8	0.15	46.0
01/04	150	54.0	67.2	77.6	87.0	98.3	11.6	-0.03	44.3
01/07	50	47.8	60.7	70.6	77.2	93.3	10.7	0.08	45.5
01/07	100	54.7	72.8	80.9	89.7	99.0	11.0	-0.25	44.4
01/07	150	61.1	78.0	86.0	94.4	100.0	10.4	-0.52	38.9
01/10	50	44.0	54.2	63.0	73.3	95.2	11.8	0.63	51.2
01/10	100	48.3	60.3	69.3	78.6	97.8	12.9	0.45	49.5
01/10	150	49.2	60.5	71.2	80.9	97.8	13.6	0.48	48.6

Observou-se que, as lâminas brutas médias (LB) na condição de irrigação suplementar (I. SUP) variaram entre 807,0 e 1245,7 mm em função das diferentes EP's e CAD's. Já, sob a condição de déficit controlado (I. DEF) estes valores ficaram entre 533,5 e 830,9 mm (Tabelas 18 e 19, respectivamente). Em termos médios da ETc (I. SUP) os valores apresentaram variação de 1.606,1 a 1673,7 mm (Tabela 18). Valores próximos de ETc para a cultura da cana-de-açúcar são encontrados na literatura (DOORENBOS e KASSAM, 1979;). Sob condições de déficit (I. DEF) os valores de ETr variaram entre 1.429,5 a 1.555,8 mm. Já, para a condição de sequeiro (SEQ) observou-se variação entre 862,7 e 1.201,4. Em termos de aproveitamento efetivo das precipitações pluviais, na condição de I. SUP observou-se variação entre 42,3 e 62,6% (Tabela 17), inferiores a condição de I. DEF (54,5 a 69,9%) (Tabela 18) e SEQ (64,1 a 86,0%) (Tabela 19), sendo estas maiores à medida que se aumentaram os valores de CAD. Os maiores valores observados para esta variável foram na época 2. Nas figuras abaixo, observam-se, através dos gráficos de dispersão, as variações, em função das CAD's, e a variabilidade, em função dos anos, dos valores de evapotranspiração da cultura (ETc, mm.ciclo⁻¹) (I. SUP) e evapotranspiração real (ETr, mm.ciclo⁻¹) (I. DEF e SEQ.) (Figura 48), bem como, das relações entre ETr/ETc (Figura 49) para cada critério/enfoque do manejo da irrigação e condição de sequeiro, e para cada uma das épocas de início do ciclo de cana-soca (EP - 01/04, 01/07 e 01/10).

Figura 48 - Dispersão dos valores de evapotranspiração - ETc ou ETr (mm.ciclo⁻¹), 1983 a 2013

Figura 49 - Dispersão das razões entre a evapotranspiração real e da cultura - ETr/ETc (Adm.), 1983 a 2013

Da mesma forma, nas figuras 50, 51 e 52, para os valores de precipitação pluvial efetiva (PPT_{ef} , $mm.ciclo^{-1}$), das relações entre PPT_{ef}/PPT (Adm.) e das perdas de PPT (P_{PPT} , $mm.ciclo^{-1}$), respectivamente.

Figura 50 - Dispersão dos valores de precipitação pluvial efetiva - PPT_{ef} ($mm.ciclo^{-1}$), 1983 a 2013

Figura 51 - Dispersão das razões entre a precipitação pluvial efetiva e total - PPTef/PPT (Adm.), 1983 a 2013

Figura 52 - Dispersão dos valores de perdas de precipitação pluvial - P_PPT (mm.ciclo⁻¹), 1983 a 2013

Já, conseqüentemente e da mesma forma, nas figuras 53 e 54, para as necessidades de irrigação (NI), em termos de lâmina líquida (LL) e bruta (LB) (mm.ciclo^{-1}), respectivamente.

Figura 53 - Dispersão dos valores de lâmina líquida de irrigação - LL (mm.ciclo^{-1}), 1983 a 2013

Figura 54 - Dispersão dos valores de lâmina bruta de irrigação - LB (mm.ciclo^{-1}), 1983 a 2013

Cabe ressaltar aqui que, nas figuras acima, estão demonstradas as variações e a variabilidade do uso de água pela cultura (E_{Tr} ou E_{Tc}) e das razões entre o uso real e potencial (E_{Tr}/E_{Tc}), da contribuição efetiva das precipitações pluviais (PPT_{ef}) e das razões entre precipitação pluvial efetiva e total (PPT_{ef}/PPT), das perdas de precipitação pluvial (P_{PPT}), bem como, das necessidades de irrigação (LL e LB) para os diferentes critérios/enfoques do manejo da irrigação, e na condição de sequeiro, e para diferentes épocas de início do ciclo. Desta forma, evidencia-se que, à medida que se aumenta a CAD, ocorrem incrementos nos valores de evapotranspiração real (E_{Tr}), nas razões entre E_{Tr} e E_{Tc} (E_{Tr}/E_{Tc}), no aproveitamento das precipitações pluviais (PPT_{ef}) e, consequentemente, reduz-se as necessidades de irrigação (NI).

Nas figuras a seguir (Figuras 55 a 67), são apresentados o comportamento e a dispersão (31 anos de simulações), das variáveis de saída do *balanço hídrico diário da cultura (BHC)*: *precipitação pluvial diária (PPT, mm.d⁻¹)*, *coeficiente de estresse hídrico (k_s , Adm.)*, *depleção de água no solo (Depl., % - p.100)*, *déficit de armazenamento (Déficit, mm)* e *evapotranspiração diária real ou da cultura (E_{Tr} ou E_{Tc} , mm.d⁻¹)*, em função dos critérios/enfoques do manejo da irrigação (I. SUP. e I. DEF.), e condição de sequeiro (SEQ.), e das diferentes capacidades relativas de água disponível (CAD's, mm.m⁻¹), para cada uma das épocas de início do ciclo (ÉPOCA 1 – 01/04, ÉPOCA 2 – 01/07 e ÉPOCA 3 – 01/10).

Figura 55 - Dispersão dos valores de precipitação pluvial - PPT (mm.d⁻¹), 1983 a 2013

Figura 56 - Comportamento e dispersão do coeficiente de estresse hídrico - k_s (Adm.) ao longo do ciclo;
ÉPOCA 1 (01/04)

Figura 57 - Comportamento e dispersão do coeficiente de estresse hídrico - k_s (Adm.) ao longo do ciclo;
ÉPOCA 2 (01/07)

Figura 58 - Comportamento e dispersão do coeficiente de estresse hídrico - k_s (Adm.) ao longo do ciclo; ÉPOCA 3 (01/10)

Figura 59 - Comportamento e dispersão da depleção de água no solo - Depl. (% $p*100$); ÉPOCA 1 (01/04)

Figura 60 - Comportamento e dispersão da depleção de água no solo - Depl. (% p*100); ÉPOCA 2 (01/07)

Figura 61 - Comportamento e dispersão da depleção de água no solo - Depl. (% p*100); ÉPOCA 3 (01/10)

Figura 62 - Comportamento e dispersão do déficit hídrico no solo (mm) ao longo do ciclo; **ÉPOCA 1 (01/04)**

Figura 63 - Comportamento e dispersão do déficit hídrico no solo (mm) ao longo do ciclo; **ÉPOCA 2 (01/07)**

Figura 64 - Comportamento e dispersão do déficit hídrico no solo (mm) ao longo do ciclo; **ÉPOCA 3 (01/10)**

Figura 65 - "Perfis" de evapotranspiração (ETc ou ETr, mm.d⁻¹), ao longo do ciclo, para a **ÉPOCA 1 (01/04)**

Figura 66 - “Perfis” de evapotranspiração (ET_c ou ET_r , mm.d^{-1}), ao longo do ciclo, para a **ÉPOCA 2 (01/07)**

Figura 67 - “Perfis” de evapotranspiração (ET_c ou ET_r , mm.d^{-1}), ao longo do ciclo, para a **ÉPOCA 3 (01/10)**

Nas Figuras 57 a 64, observou-se que os comportamentos/dispersões dos valores do coeficiente de estresse hídrico - k_s (adm.), depleção da água no solo - Depl. (% p.100) e déficit hídrico no solo (mm) apresentaram-se dentro dos limites atribuídos nas simulações para os diferentes critérios/enfoques do manejo da irrigação propostos e CAD's. Já, nas figuras 65, 66 e 67, é possível se observar a dispersão e os “padrões” da evapotranspiração (da cultura e real) para as simulações realizadas nas épocas 1 (01/04), 2 (01/07) e 3 (01/10), respectivamente, em função dos diferentes critérios/enfoques do manejo da irrigação (I. SUP e I. DEF) e condição de sequeiro (SEQ), e CAD's atribuídas.

Já, nas Figuras 68 a 82, são apresentados o comportamento e a dispersão/variabilidade (31 anos de simulações) dos valores das variáveis de saída do calendário de irrigação, ou seja, no momento dos eventos de irrigação, tais como: *coeficiente de estresse hídrico* (k_s , Adm.), *depleção de água no solo* (Depl., % - p.100), *déficit de armazenamento* (Déficit, mm), *porcentagem de evapotranspiração diária em relação a evapotranspiração da cultura* (%ETc, %) e *vazões específicas* (Q_e , $l.s^{-1}.ha^{-1}$) necessárias para o atendimento das necessidades de irrigação (NI), em função dos critérios/enfoques do manejo da irrigação (I. SUP. e I. DEF.) e CAD's (mm.m⁻¹), para cada uma das épocas de início do ciclo (ÉPOCA 1 – 01/04, ÉPOCA 2 – 01/07 e ÉPOCA 3 – 01/10). Evidentemente, neste caso, à condição de sequeiro (SEQ.) não possui variáveis de saída para o calendário de irrigação.

Figura 68 - Dispersão dos valores do coeficiente de estresse hídrico - k_s (Adm.) no momento da irrigação; **ÉPOCA 1 (01/04)**

Figura 69 - Dispersão dos valores do coeficiente de estresse hídrico - k_s (Adm.) no momento da irrigação;
ÉPOCA 2 (01/07)

Figura 70 - Dispersão dos valores do coeficiente de estresse hídrico - k_s (Adm.) no momento da irrigação;
ÉPOCA 3 (01/10)

Figura 71 - Dispersão dos valores da depleção de água no solo - Depl. (% p*100) no momento da irrigação;
ÉPOCA 1 (01/04)

Figura 72 - Dispersão dos valores da depleção de água no solo - Depl. (% p*100) no momento da irrigação;
ÉPOCA 2 (01/07)

Figura 73 - Dispersão dos valores da depleção de água no solo - Depl. (% p*100) no momento da irrigação; **ÉPOCA 3 (01/10)**

Figura 74 - Dispersão da evapotranspiração em relação à ETc (% da ETc) no momento da irrigação; **ÉPOCA 1 (01/04)**

Figura 75 - Dispersão da evapotranspiração em relação à ETr (% da ETr) no momento da irrigação; **ÉPOCA 2 (01/07)**

Figura 76 - Dispersão da evapotranspiração em relação à ETr (% da ETr) no momento da irrigação; **ÉPOCA 3 (01/10)**

Figura 77 - Dispersão dos valores de lâminas de irrigação bruta - LB (mm). ÉPOCA 1 (01/04)

Figura 78 - Dispersão dos valores de lâminas de irrigação bruta - LB (mm). ÉPOCA 2 (01/07)

Figura 79 - Dispersão dos valores de lâminas de irrigação bruta - LB (mm). ÉPOCA 3 (01/10)

Figura 80 - Dispersão dos valores de vazão específica necessária ao longo do ciclo - Qe ($L \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$); ÉPOCA 1 (01/04)

Figura 81 - Dispersão dos valores de vazão específica necessária ao longo do ciclo - Q_e ($\text{L.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$); ÉPOCA 2 (01/07)

Figura 82 - Dispersão dos valores de vazão específica necessária ao longo do ciclo - Q_e ($\text{L.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$); ÉPOCA 3 (01/10)

Figura 83 - Vazões específicas - Q_e ($\text{l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$) calculadas em função da **Planilha da ANA**

Comparando-se as figuras 80, 81 e 82 (épocas 1, 2 e 3 respectivamente), que mostram a variabilidade ano-a-ano para a série histórica e a tendência central (linha de tendência) dos valores das vazões específicas (Q_e , $\text{l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$), com os valores desta variável calculadas pela “Planilha-ANA” (Figura 83) observa-se que, apesar da metodologia proposta pela ANA aproximar-se dos valores da tendência central para a série histórica, esta não considera as variações ano-a-ano (valores extremos), limitando-se apenas à uma condição média.

Já, nas Tabelas 21 e 22, são apresentados os valores de lâmina bruta (LB, mm), lâmina líquida (LL, mm), evapotranspiração real e da cultura (ETr e ETc, mm) e as razões entre ETr/ETc (%), precipitação pluvial e precipitação pluvial efetiva (PPT e PPTef, mm) e as razões entre PPTef/PPT (%) para o **critério de irrigação suplementar (I. SUP)**, em função dos anos determinados com base na probabilidade teórica “atingível” dos valores de PPT acumulados no período anual (PT) e período seco (PS) (ANPS, ANPT, ASPS, ASPT, AUPT e AUT) e para dois níveis de probabilidade teórica de “não-superação” dos valores de **ETo (50 e 80%)**, respectivamente.

Tabela 21 - Valores de lâmina bruta (LB), lâmina líquida (LL), evapotranspiração real e da cultura (ETr e ETc) e razão entre evapotranspiração real e da cultura (ETr/ETc), precipitação pluvial total e efetiva (PPT e PPTef) e razão entre precipitação pluvial efetiva e total (PPTef/PPT), **irrigação suplementar**, para as simulações dos anos contrastantes (AN, AS e AU; PS e PT), com **ETo-50%** Continua...

Ano	EP	CAD	LB (mm)	LL (mm)	ETr (mm)	ETc (mm)	ETr/ETc (%)	PPT (mm)	PPTef (mm)	PPTef/PPT (%)
ANPS	01/04	50	1206.1	1025.2	1688.1	1688.1	100.0	1220.0	672.7	55.1
ANPS	01/04	100	1118.2	950.4	1688.1	1688.1	100.0	1220.0	789.1	64.7
ANPS	01/04	150	1055.7	897.3	1688.1	1688.1	100.0	1220.0	829.9	68.0
ANPS	01/07	50	1317.7	1120.0	1684.7	1684.7	100.0	1220.0	574.7	47.1
ANPS	01/07	100	954.9	811.6	1684.7	1684.7	100.0	1220.0	868.9	71.2
ANPS	01/07	150	943.9	802.4	1684.7	1684.7	100.0	1220.0	896.7	73.5
ANPS	01/10	50	1313.4	1116.4	1624.4	1624.4	100.0	1220.0	503.0	41.2
ANPS	01/10	100	1023.4	869.9	1624.4	1624.4	100.0	1220.0	786.2	64.4
ANPS	01/10	150	941.2	800.0	1624.4	1624.4	100.0	1220.0	851.9	69.8
ANPT	01/04	50	1110.7	944.1	1688.1	1688.1	100.0	1521.0	732.1	48.1
ANPT	01/04	100	955.5	812.2	1688.1	1688.1	100.0	1521.0	965.2	63.5
ANPT	01/04	150	825.6	701.7	1688.1	1688.1	100.0	1521.0	1038.0	68.2
ANPT	01/07	50	1151.4	978.7	1684.7	1684.7	100.0	1521.0	677.4	44.5
ANPT	01/07	100	871.6	740.9	1684.7	1684.7	100.0	1521.0	1045.0	68.7
ANPT	01/07	150	820.9	697.8	1684.7	1684.7	100.0	1521.0	1115.0	73.3
ANPT	01/10	50	1136.5	966.0	1624.4	1624.4	100.0	1521.0	658.3	43.3
ANPT	01/10	100	960.4	816.3	1624.4	1624.4	100.0	1521.0	896.5	58.9
ANPT	01/10	150	936.8	796.3	1624.4	1624.4	100.0	1521.0	925.8	60.9

Tabela 21 - Valores de lâmina bruta (LB), lâmina líquida (LL), evapotranspiração real e da cultura (ETr e ETc) e razão entre evapotranspiração real e da cultura (ETr/ETc), precipitação pluvial total e efetiva (PPT e PPTef) e razão entre precipitação pluvial efetiva e total (PPTef/PPT), **irrigação suplementar**, para as simulações dos anos contrastantes (AN, AS e AU; PS e PT), com **ETo-50%** Conclusão

Ano	EP	CAD	LB (mm)	LL (mm)	ETr (mm)	ETc (mm)	ETr/ETc (%)	PPT (mm)	PPTef (mm)	PPTef/PPT (%)
ASPS	01/04	50	1404.1	1193.5	1688.1	1688.1	100.0	658.3	491.4	74.6
ASPS	01/04	100	1350.0	1147.5	1688.1	1688.1	100.0	658.3	537.3	81.6
ASPS	01/04	150	1280.1	1088.1	1688.1	1688.1	100.0	658.3	610.5	92.7
ASPS	01/07	50	1430.9	1216.2	1684.7	1684.7	100.0	658.3	465.5	70.7
ASPS	01/07	100	1275.4	1084.1	1684.7	1684.7	100.0	658.3	594.8	90.4
ASPS	01/07	150	1300.6	1105.5	1684.7	1684.7	100.0	658.3	540.3	82.1
ASPS	01/10	50	1352.9	1149.9	1624.4	1624.4	100.0	658.3	459.4	69.8
ASPS	01/10	100	1189.5	1011.1	1624.4	1624.4	100.0	658.3	567.2	86.2
ASPS	01/10	150	1178.0	1001.3	1624.4	1624.4	100.0	658.3	600.6	91.2
ASPT	01/04	50	1281.0	1088.9	1688.1	1688.1	100.0	1006.0	582.8	57.9
ASPT	01/04	100	1101.9	936.6	1688.1	1688.1	100.0	1006.0	764.6	76.0
ASPT	01/04	150	940.2	799.2	1688.1	1688.1	100.0	1006.0	841.8	83.7
ASPT	01/07	50	1251.8	1064.0	1684.7	1684.7	100.0	1006.0	592.1	58.9
ASPT	01/07	100	1028.6	874.3	1684.7	1684.7	100.0	1006.0	800.1	79.5
ASPT	01/07	150	1066.1	906.2	1684.7	1684.7	100.0	1006.0	841.5	83.6
ASPT	01/10	50	1276.8	1085.3	1624.4	1624.4	100.0	1006.0	539.1	53.6
ASPT	01/10	100	1183.2	1005.7	1624.4	1624.4	100.0	1006.0	656.8	65.3
ASPT	01/10	150	1062.2	902.9	1624.4	1624.4	100.0	1006.0	774.2	77.0
AUPS	01/04	50	1124.3	955.6	1688.1	1688.1	100.0	1739.0	760.5	43.7
AUPS	01/04	100	1021.5	868.3	1688.1	1688.1	100.0	1739.0	875.1	50.3
AUPS	01/04	150	829.2	704.9	1688.1	1688.1	100.0	1739.0	1100.0	63.3
AUPS	01/07	50	1191.2	1012.5	1684.7	1684.7	100.0	1739.0	707.5	40.7
AUPS	01/07	100	868.6	738.3	1684.7	1684.7	100.0	1739.0	992.3	57.1
AUPS	01/07	150	822.5	699.1	1684.7	1684.7	100.0	1739.0	1055.0	60.7
AUPS	01/10	50	1219.0	1036.2	1624.4	1624.4	100.0	1739.0	593.9	34.2
AUPS	01/10	100	953.4	810.4	1624.4	1624.4	100.0	1739.0	847.2	48.7
AUPS	01/10	150	941.8	800.5	1624.4	1624.4	100.0	1739.0	867.8	49.9
AUPT	01/04	50	1075.6	914.3	1688.1	1688.1	100.0	1738.0	763.0	43.9
AUPT	01/04	100	876.2	744.8	1688.1	1688.1	100.0	1738.0	1045.0	60.1
AUPT	01/04	150	829.6	705.2	1688.1	1688.1	100.0	1738.0	1071.0	61.6
AUPT	01/07	50	1022.2	868.9	1684.7	1684.7	100.0	1738.0	787.3	45.3
AUPT	01/07	100	869.4	739.0	1684.7	1684.7	100.0	1738.0	1095.0	63.0
AUPT	01/07	150	706.3	600.3	1684.7	1684.7	100.0	1738.0	1205.0	69.3
AUPT	01/10	50	1061.0	901.8	1624.4	1624.4	100.0	1738.0	724.7	41.7
AUPT	01/10	100	948.0	805.8	1624.4	1624.4	100.0	1738.0	935.1	53.8
AUPT	01/10	150	822.0	698.7	1624.4	1624.4	100.0	1738.0	1014.0	58.3

Tabela 22 - Valores de lâmina bruta (LB), lâmina líquida (LL), evapotranspiração real e da cultura (ETr e ETc) e razão entre evapotranspiração real e da cultura (ETr/ETc), precipitação pluvial total e efetiva (PPT e PPTef) e razão entre precipitação pluvial efetiva e total (PPTef/PPT), **irrigação suplementar**, para as simulações dos anos contrastantes (AN, AS e AU; PS e PT), com **ETo-80%** Continua...

Ano	EP	CAD	LB (mm)	LL (mm)	ETr (mm)	ETc (mm)	ETr/ETc (%)	PPT (mm)	PPTef (mm)	PPTef/PPT (%)
ANPS	01/04	50	1539.5	1308.5	1930.4	1930.4	100.0	1220.0	617.8	50.6
ANPS	01/04	100	1368.5	1163.3	1930.4	1930.4	100.0	1220.0	782.1	64.1
ANPS	01/04	150	1291.2	1097.5	1930.4	1930.4	100.0	1220.0	921.8	75.6
ANPS	01/07	50	1590.4	1351.9	1936.9	1936.9	100.0	1220.0	579.1	47.5
ANPS	01/07	100	1372.1	1166.3	1936.9	1936.9	100.0	1220.0	781.3	64.0
ANPS	01/07	150	1172.8	996.9	1936.9	1936.9	100.0	1220.0	915.5	75.0
ANPS	01/10	50	1455.9	1237.5	1845.8	1845.8	100.0	1220.0	599.6	49.1
ANPS	01/10	100	1261.8	1072.6	1845.8	1845.8	100.0	1220.0	768.4	63.0
ANPS	01/10	150	1167.9	992.7	1845.8	1845.8	100.0	1220.0	863.2	70.8
ANPT	01/04	50	1411.5	1199.8	1930.4	1930.4	100.0	1521.0	747.9	49.2
ANPT	01/04	100	1209.7	1028.2	1930.4	1930.4	100.0	1521.0	946.6	62.2
ANPT	01/04	150	1062.0	902.7	1930.4	1930.4	100.0	1521.0	1071.0	70.4
ANPT	01/07	50	1323.2	1124.7	1936.9	1936.9	100.0	1521.0	812.9	53.4
ANPT	01/07	100	1101.4	936.2	1936.9	1936.9	100.0	1521.0	1031.0	67.8
ANPT	01/07	150	941.9	800.6	1936.9	1936.9	100.0	1521.0	1249.0	82.1
ANPT	01/10	50	1336.8	1136.2	1845.8	1845.8	100.0	1521.0	709.5	46.6
ANPT	01/10	100	1180.2	1003.2	1845.8	1845.8	100.0	1521.0	938.1	61.7
ANPT	01/10	150	1046.0	889.1	1845.8	1845.8	100.0	1521.0	1077.0	70.8
ASPS	01/04	50	1740.4	1479.3	1930.4	1930.4	100.0	658.3	447.0	67.9
ASPS	01/04	100	1619.9	1376.9	1930.4	1930.4	100.0	658.3	563.2	85.6
ASPS	01/04	150	1646.6	1399.6	1930.4	1930.4	100.0	658.3	526.7	80.0
ASPS	01/07	50	1716.4	1458.9	1936.9	1936.9	100.0	658.3	472.0	71.7
ASPS	01/07	100	1589.2	1350.8	1936.9	1936.9	100.0	658.3	543.1	82.5
ASPS	01/07	150	1539.0	1308.1	1936.9	1936.9	100.0	658.3	642.6	97.6
ASPS	01/10	50	1609.0	1367.7	1845.8	1845.8	100.0	658.3	453.9	69.0
ASPS	01/10	100	1592.3	1353.5	1845.8	1845.8	100.0	658.3	473.0	71.9
ASPS	01/10	150	1420.7	1207.6	1845.8	1845.8	100.0	658.3	632.6	96.1
ASPT	01/04	50	1532.4	1302.5	1930.4	1930.4	100.0	1006.0	601.0	59.7
ASPT	01/04	100	1282.9	1090.4	1930.4	1930.4	100.0	1006.0	817.1	81.2
ASPT	01/04	150	1310.1	1113.6	1930.4	1930.4	100.0	1006.0	807.0	80.2
ASPT	01/07	50	1564.4	1329.7	1936.9	1936.9	100.0	1006.0	607.2	60.4
ASPT	01/07	100	1270.9	1080.3	1936.9	1936.9	100.0	1006.0	895.7	89.0
ASPT	01/07	150	1300.9	1105.7	1936.9	1936.9	100.0	1006.0	857.2	85.2
ASPT	01/10	50	1469.0	1248.6	1845.8	1845.8	100.0	1006.0	597.1	59.4
ASPT	01/10	100	1337.4	1136.8	1845.8	1845.8	100.0	1006.0	753.8	74.9
ASPT	01/10	150	1291.3	1097.6	1845.8	1845.8	100.0	1006.0	743.6	73.9
AUPS	01/04	50	1538.7	1307.9	1930.4	1930.4	100.0	1739.0	618.4	35.6
AUPS	01/04	100	1131.1	961.5	1930.4	1930.4	100.0	1739.0	1092.0	62.8
AUPS	01/04	150	1065.6	905.8	1930.4	1930.4	100.0	1739.0	1221.0	70.2

Tabela 22 - Valores de lâmina bruta (LB), lâmina líquida (LL), evapotranspiração real e da cultura (ETr e ETc) e razão entre evapotranspiração real e da cultura (ETr/ETc), precipitação pluvial total e efetiva (PPT e PPTef) e razão entre precipitação pluvial efetiva e total (PPTef/PPT), **irrigação suplementar**, para as simulações dos anos contrastantes (AN, AS e AU; PS e PT), com **ETo-80%** Conclusão

Ano	EP	CAD	LB (mm)	LL (mm)	ETr (mm)	ETc (mm)	ETr/ETc (%)	PPT (mm)	PPTef (mm)	PPTef/PPT (%)
AUPS	01/07	50	1546.7	1314.7	1936.9	1936.9	100.0	1739.0	616.2	35.4
AUPS	01/07	100	1035.2	879.9	1936.9	1936.9	100.0	1739.0	1172.0	67.4
AUPS	01/07	150	1061.0	901.8	1936.9	1936.9	100.0	1739.0	1076.0	61.9
AUPS	01/10	50	1404.3	1193.6	1845.8	1845.8	100.0	1739.0	650.5	37.4
AUPS	01/10	100	1179.9	1002.9	1845.8	1845.8	100.0	1739.0	933.8	53.7
AUPS	01/10	150	1065.9	906.0	1845.8	1845.8	100.0	1739.0	1075.0	61.8
AUPT	01/04	50	1358.5	1154.8	1930.4	1930.4	100.0	1738.0	761.6	43.8
AUPT	01/04	100	1126.1	957.2	1930.4	1930.4	100.0	1738.0	1083.0	62.3
AUPT	01/04	150	948.9	806.5	1930.4	1930.4	100.0	1738.0	1206.0	69.4
AUPT	01/07	50	1284.7	1092.0	1936.9	1936.9	100.0	1738.0	814.4	46.9
AUPT	01/07	100	1040.8	884.6	1936.9	1936.9	100.0	1738.0	1156.0	66.5
AUPT	01/07	150	832.4	707.6	1936.9	1936.9	100.0	1738.0	1401.0	80.6
AUPT	01/10	50	1314.9	1117.7	1845.8	1845.8	100.0	1738.0	728.1	41.9
AUPT	01/10	100	1107.9	941.7	1845.8	1845.8	100.0	1738.0	1027.0	59.1
AUPT	01/10	150	1055.2	896.9	1845.8	1845.8	100.0	1738.0	1082.0	62.3

Nas Tabelas 23 e 24, são apresentados os valores de lâmina bruta (LB, mm), lâmina líquida (LL, mm), evapotranspiração real e da cultura (ETr e ETc, mm) e as razões entre ETr/ETc (%), precipitação pluvial e precipitação pluvial efetiva (PPT e PPTef, mm) e as razões entre PPTef/PPT (%) para o **critério de irrigação com déficit (I. DEF)**, em função dos anos determinados com base na probabilidade “atingível” dos valores de PPT acumulados no período anual (PT) e período seco (PS) (ANPS, ANPT, ASPS, ASPT, AUPT e AUT) e para dois níveis de probabilidade de “não-superação” da **ETo (50 e 80%)**, respectivamente.

Tabela 23 - Valores de lâmina bruta (LB), lâmina líquida (LL), evapotranspiração real e da cultura (ETr e ETc) e razão entre evapotranspiração real e da cultura (ETr/ETc), precipitação pluvial total e efetiva (PPT e PPTef) e razão entre precipitação pluvial efetiva e total (PPTef/PPT), **irrigação com déficit**, para as simulações dos anos contrastantes (AN, AS e AU; PS e PT), com **ETo-50%** Continua...

Ano	EP	CAD	LB (mm)	LL (mm)	ETr (mm)	ETc (mm)	ETr/ETc (%)	PPT (mm)	PPTef (mm)	PPTef/PPT (%)
ANPS	01/04	50	971.3	825.6	1503.8	1688.1	89.1	1220.0	688.4	56.4
ANPS	01/04	100	832.6	707.7	1538.8	1688.1	91.2	1220.0	875.9	71.8
ANPS	01/04	150	608.7	517.4	1527.7	1688.1	90.5	1220.0	1151.0	94.3
ANPS	01/07	50	759.0	645.2	1492.6	1684.7	88.6	1220.0	846.9	69.4
ANPS	01/07	100	821.5	698.3	1512.2	1684.7	89.8	1220.0	818.8	67.1
ANPS	01/07	150	600.5	510.4	1515.9	1684.7	90.0	1220.0	1120.0	91.8
ANPS	01/10	50	853.6	725.5	1451.4	1624.4	89.3	1220.0	750.3	61.5
ANPS	01/10	100	815.6	693.3	1471.2	1624.4	90.6	1220.0	792.3	64.9
ANPS	01/10	150	767.9	652.7	1479.3	1624.4	91.1	1220.0	858.9	70.4
ANPT	01/04	50	706.2	600.2	1499.5	1688.1	88.8	1521.0	931.8	61.3
ANPT	01/04	100	637.6	541.9	1507.2	1688.1	89.3	1521.0	993.2	65.3
ANPT	01/04	150	460.4	391.3	1576.7	1688.1	93.4	1521.0	1282.0	84.3
ANPT	01/07	50	754.5	641.3	1501.1	1684.7	89.1	1521.0	952.2	62.6
ANPT	01/07	100	633.8	538.7	1512.0	1684.7	89.7	1521.0	1091.0	71.7
ANPT	01/07	150	459.1	390.2	1515.5	1684.7	90.0	1521.0	1315.0	86.5
ANPT	01/10	50	795.6	676.3	1445.6	1624.4	89.0	1521.0	876.4	57.6
ANPT	01/10	100	723.8	615.2	1458.5	1624.4	89.8	1521.0	942.1	61.9
ANPT	01/10	150	611.4	519.7	1472.6	1624.4	90.7	1521.0	991.3	65.2
ASPS	01/04	50	1179.0	1002.1	1486.9	1688.1	88.1	658.3	481.6	73.2
ASPS	01/04	100	1125.8	956.9	1506.1	1688.1	89.2	658.3	545.9	82.9
ASPS	01/04	150	1044.0	887.4	1522.8	1688.1	90.2	658.3	614.1	93.3
ASPS	01/07	50	1128.2	959.0	1484.8	1684.7	88.1	658.3	488.8	74.3
ASPS	01/07	100	1046.6	889.6	1505.8	1684.7	89.4	658.3	592.7	90.0
ASPS	01/07	150	1070.4	909.8	1511.4	1684.7	89.7	658.3	578.1	87.8
ASPS	01/10	50	1120.9	952.8	1436.2	1624.4	88.4	658.3	468.5	71.2
ASPS	01/10	100	1028.7	874.4	1456.5	1624.4	89.7	658.3	581.0	88.3
ASPS	01/10	150	941.6	800.4	1471.0	1624.4	90.6	658.3	567.9	86.3
ASPT	01/04	50	1005.2	854.4	1497.6	1688.1	88.7	1006.0	618.2	61.5
ASPT	01/04	100	830.8	706.2	1518.6	1688.1	90.0	1006.0	769.2	76.5
ASPT	01/04	150	925.5	786.7	1516.5	1688.1	89.8	1006.0	743.0	73.9
ASPT	01/07	50	959.6	815.6	1495.5	1684.7	88.8	1006.0	648.5	64.5
ASPT	01/07	100	715.1	607.8	1513.6	1684.7	89.8	1006.0	885.5	88.0
ASPT	01/07	150	766.7	651.7	1514.4	1684.7	89.9	1006.0	871.5	86.6
ASPT	01/10	50	961.4	817.2	1438.9	1624.4	88.6	1006.0	632.9	62.9
ASPT	01/10	100	925.1	786.3	1452.1	1624.4	89.4	1006.0	691.5	68.7
ASPT	01/10	150	922.7	784.3	1455.9	1624.4	89.6	1006.0	697.3	69.3
AUPS	01/04	50	913.3	776.3	1508.3	1688.1	89.3	1739.0	776.9	44.7
AUPS	01/04	100	522.1	443.8	1543.2	1688.1	91.4	1739.0	1325.0	76.2
AUPS	01/04	150	463.1	393.6	1590.1	1688.1	94.2	1739.0	1414.0	81.3

Tabela 23 - Valores de lâmina bruta (LB), lâmina líquida (LL), evapotranspiração real e da cultura (ETr e ETc) e razão entre evapotranspiração real e da cultura (ETr/ETc), precipitação pluvial total e efetiva (PPT e PPTef) e razão entre precipitação pluvial efetiva e total (PPTef/PPT), **irrigação com déficit**, para as simulações dos anos contrastantes (AN, AS e AU; PS e PT), com **ETo-50%** Conclusão

Ano	EP	CAD	LB (mm)	LL (mm)	ETr (mm)	ETc (mm)	ETr/ETc (%)	PPT (mm)	PPTef (mm)	PPTef/PPT (%)
AUPS	01/07	50	702.8	597.4	1498.5	1684.7	88.9	1739.0	954.5	54.9
AUPS	01/07	100	610.8	519.2	1511.6	1684.7	89.7	1739.0	1132.0	65.1
AUPS	01/07	150	167.4	142.3	1522.0	1684.7	90.3	1739.0	1666.0	95.8
AUPS	01/10	50	854.6	726.4	1454.2	1624.4	89.5	1739.0	755.8	43.5
AUPS	01/10	100	734.6	624.4	1469.6	1624.4	90.5	1739.0	960.1	55.2
AUPS	01/10	150	627.2	533.1	1470.1	1624.4	90.5	1739.0	1198.0	68.9
AUPT	01/04	50	654.5	556.3	1507.8	1688.1	89.3	1738.0	1050.0	60.4
AUPT	01/04	100	534.1	454.0	1525.1	1688.1	90.3	1738.0	1194.0	68.7
AUPT	01/04	150	462.1	392.8	1594.7	1688.1	94.5	1738.0	1362.0	78.4
AUPT	01/07	50	690.5	586.9	1499.3	1684.7	89.0	1738.0	1050.0	60.4
AUPT	01/07	100	535.4	455.1	1515.8	1684.7	90.0	1738.0	1287.0	74.1
AUPT	01/07	150	308.2	262.0	1513.7	1684.7	89.8	1738.0	1379.0	79.3
AUPT	01/10	50	699.6	594.7	1446.8	1624.4	89.1	1738.0	1012.0	58.2
AUPT	01/10	100	613.1	521.2	1459.1	1624.4	89.8	1738.0	1053.0	60.6
AUPT	01/10	150	627.8	533.7	1458.9	1624.4	89.8	1738.0	1064.0	61.2

Tabela 24 - Valores de lâmina bruta (LB), lâmina líquida (LL), evapotranspiração real e da cultura (ETr e ETc) e razão entre evapotranspiração real e da cultura (ETr/ETc), precipitação pluvial total e efetiva (PPT e PPTef) e razão entre precipitação pluvial efetiva e total (PPTef/PPT), **irrigação com déficit**, para as simulações dos anos contrastantes (AN, AS e AU; PS e PT), com **ETo-80%** Continua...

Ano	EP	CAD	LB (mm)	LL (mm)	ETr (mm)	ETc (mm)	ETr/ETc (%)	PPT (mm)	PPTef (mm)	PPTef/PPT (%)
ANPS	01/04	50	1138.1	967.3	1707.7	1930.4	88.5	1220.0	754.8	61.9
ANPS	01/04	100	928.6	789.3	1735.5	1930.4	89.9	1220.0	987.3	80.9
ANPS	01/04	150	921.9	783.6	1763.5	1930.4	91.4	1220.0	1096.0	89.8
ANPS	01/07	50	1028.2	874.0	1710.7	1936.9	88.3	1220.0	815.4	66.8
ANPS	01/07	100	939.7	798.8	1739.8	1936.9	89.8	1220.0	916.5	75.1
ANPS	01/07	150	926.0	787.1	1742.9	1936.9	90.0	1220.0	962.2	78.9
ANPS	01/10	50	970.9	825.2	1642.5	1845.8	89.0	1220.0	828.0	67.9
ANPS	01/10	100	926.8	787.8	1667.2	1845.8	90.3	1220.0	969.9	79.5
ANPS	01/10	150	920.1	782.1	1666.9	1845.8	90.3	1220.0	966.2	79.2
ANPT	01/04	50	976.6	830.1	1711.3	1930.4	88.7	1521.0	926.7	60.9
ANPT	01/04	100	828.2	703.9	1742.0	1930.4	90.2	1521.0	1084.0	71.3
ANPT	01/04	150	901.0	765.9	1729.0	1930.4	89.6	1521.0	1062.0	69.8
ANPT	01/07	50	872.2	741.4	1722.4	1936.9	88.9	1521.0	1059.0	69.6
ANPT	01/07	100	737.4	626.8	1745.6	1936.9	90.1	1521.0	1224.0	80.5
ANPT	01/07	150	790.9	672.3	1742.4	1936.9	90.0	1521.0	1245.0	81.9
ANPT	01/10	50	1024.0	870.4	1627.8	1845.8	88.2	1521.0	790.8	52.0
ANPT	01/10	100	922.9	784.4	1649.5	1845.8	89.4	1521.0	897.4	59.0
ANPT	01/10	150	906.9	770.8	1652.5	1845.8	89.5	1521.0	924.3	60.8
ASPS	01/04	50	1404.1	1193.5	1702.6	1930.4	88.2	658.3	505.1	76.7
ASPS	01/04	100	1345.4	1143.6	1735.0	1930.4	89.9	658.3	601.2	91.3
ASPS	01/04	150	1356.5	1153.0	1729.1	1930.4	89.6	658.3	572.1	86.9
ASPS	01/07	50	1387.0	1178.9	1705.6	1936.9	88.1	658.3	514.7	78.2
ASPS	01/07	100	1249.3	1061.9	1736.1	1936.9	89.6	658.3	628.3	95.4
ASPS	01/07	150	1225.2	1041.5	1737.8	1936.9	89.7	658.3	643.6	97.8
ASPS	01/10	50	1382.8	1175.4	1627.2	1845.8	88.2	658.3	432.5	65.7
ASPS	01/10	100	1247.3	1060.2	1647.5	1845.8	89.3	658.3	581.9	88.4
ASPS	01/10	150	1217.6	1035.0	1670.5	1845.8	90.5	658.3	592.4	90.0
ASPT	01/04	50	1138.1	967.4	1697.3	1930.4	87.9	1006.0	727.2	72.3
ASPT	01/04	100	1144.3	972.6	1728.2	1930.4	89.5	1006.0	763.5	75.9
ASPT	01/04	150	910.3	773.7	1747.5	1930.4	90.5	1006.0	919.1	91.4
ASPT	01/07	50	1130.3	960.7	1713.2	1936.9	88.5	1006.0	767.9	76.3
ASPT	01/07	100	1046.0	889.1	1736.5	1936.9	89.7	1006.0	838.9	83.4
ASPT	01/07	150	918.8	781.0	1744.8	1936.9	90.1	1006.0	905.2	90.0
ASPT	01/10	50	1123.3	954.8	1635.1	1845.8	88.6	1006.0	718.4	71.4
ASPT	01/10	100	1044.0	887.4	1646.5	1845.8	89.2	1006.0	812.4	80.8
ASPT	01/10	150	915.7	778.4	1658.3	1845.8	89.8	1006.0	848.5	84.3
AUPS	01/04	50	1031.4	876.7	1715.8	1930.4	88.9	1739.0	886.7	51.0
AUPS	01/04	100	828.9	704.6	1754.8	1930.4	90.9	1739.0	1169.0	67.2
AUPS	01/04	150	612.4	520.6	1750.9	1930.4	90.7	1739.0	1571.0	90.3

Tabela 24 - Valores de lâmina bruta (LB), lâmina líquida (LL), evapotranspiração real e da cultura (ETr e ETc) e razão entre evapotranspiração real e da cultura (ETr/ETc), precipitação pluvial total e efetiva (PPT e PPTef) e razão entre precipitação pluvial efetiva e total (PPTef/PPT), **irrigação com déficit**, para as simulações dos anos contrastantes (AN, AS e AU; PS e PT), com **ETo-80%** Conclusão

Ano	EP	CAD	LB (mm)	LL (mm)	ETr (mm)	ETc (mm)	ETr/ETc (%)	PPT (mm)	PPTef (mm)	PPTef/PPT (%)
AUPS	01/07	50	927.7	788.5	1717.0	1936.9	88.6	1739.0	1020.0	58.7
AUPS	01/07	100	724.6	615.9	1742.8	1936.9	90.0	1739.0	1269.0	73.0
AUPS	01/07	150	606.0	515.1	1744.8	1936.9	90.1	1739.0	1518.0	87.3
AUPS	01/10	50	914.5	777.3	1646.6	1845.8	89.2	1739.0	971.0	55.8
AUPS	01/10	100	936.5	796.0	1662.6	1845.8	90.1	1739.0	984.1	56.6
AUPS	01/10	150	779.9	662.9	1679.4	1845.8	91.0	1739.0	1196.0	68.8
AUPT	01/04	50	975.6	829.3	1711.1	1930.4	88.6	1738.0	914.6	52.6
AUPT	01/04	100	818.3	695.6	1741.9	1930.4	90.2	1738.0	1126.0	64.8
AUPT	01/04	150	604.6	513.9	1748.2	1930.4	90.6	1738.0	1349.0	77.6
AUPT	01/07	50	819.4	696.5	1723.8	1936.9	89.0	1738.0	1191.0	68.5
AUPT	01/07	100	726.0	617.1	1739.7	1936.9	89.8	1738.0	1349.0	77.6
AUPT	01/07	150	779.4	662.5	1741.7	1936.9	89.9	1738.0	1322.0	76.1
AUPT	01/10	50	923.6	785.0	1632.1	1845.8	88.4	1738.0	962.4	55.4
AUPT	01/10	100	830.0	705.5	1651.7	1845.8	89.5	1738.0	1079.0	62.1
AUPT	01/10	150	741.0	629.9	1667.2	1845.8	90.3	1738.0	1123.0	64.6

Da mesma forma, nas Tabelas 25 e 26, são apresentados os valores de lâmina bruta (LB, mm), lâmina líquida (LL, mm), evapotranspiração real e da cultura (ETr e ETc, mm) e as razões entre ETr/ETc (%), precipitação pluvial e precipitação pluvial efetiva (PPT e PPTef, mm) e as razões entre PPTef/PPT (%) para a **condição de sequeiro (SEQ)**, ANPS, ANPT, ASPS, ASPT, AUPT e AUT e para dois níveis de probabilidade de “não-superação” da **ETo (50 e 80%)**, respectivamente.

Tabela 25 - Valores de lâmina bruta (LB), lâmina líquida (LL), evapotranspiração real e da cultura (ETr e ETc) e razão entre evapotranspiração real e da cultura (ETr/ETc), precipitação pluvial total e efetiva (PPT e PPTef) e razão entre precipitação pluvial efetiva e total (PPTef/PPT), **sequeiro**, para as simulações dos anos contrastantes (AN, AS e AU; PS e PT), com **ETo-50%** Continua...

Ano	EP	CAD	LB (mm)	LL (mm)	ETr (mm)	ETc (mm)	ETr/ETc (%)	PPT (mm)	PPTef (mm)	PPTef/PPT (%)
ANPS	01/04	50	0.0	0.0	901.0	1688.1	53.4	1220.0	949.1	77.8
ANPS	01/04	100	0.0	0.0	992.2	1688.1	58.8	1220.0	1058.0	86.7
ANPS	01/04	150	0.0	0.0	1058.0	1688.1	62.7	1220.0	1199.0	98.3
ANPS	01/07	50	0.0	0.0	973.4	1684.7	57.8	1220.0	983.3	80.6
ANPS	01/07	100	0.0	0.0	1104.6	1684.7	65.6	1220.0	1135.0	93.0
ANPS	01/07	150	0.0	0.0	1210.3	1684.7	71.8	1220.0	1220.0	100.0
ANPS	01/10	50	0.0	0.0	812.7	1624.4	50.0	1220.0	837.7	68.7
ANPS	01/10	100	0.0	0.0	894.4	1624.4	55.1	1220.0	965.9	79.2
ANPS	01/10	150	0.0	0.0	964.9	1624.4	59.4	1220.0	1022.0	83.8
ANPT	01/04	50	0.0	0.0	986.5	1688.1	58.4	1521.0	1054.0	69.3
ANPT	01/04	100	0.0	0.0	1116.5	1688.1	66.1	1521.0	1230.0	80.9
ANPT	01/04	150	0.0	0.0	1193.6	1688.1	70.7	1521.0	1290.0	84.8
ANPT	01/07	50	0.0	0.0	1057.9	1684.7	62.8	1521.0	1172.0	77.1
ANPT	01/07	100	0.0	0.0	1192.1	1684.7	70.8	1521.0	1349.0	88.7
ANPT	01/07	150	0.0	0.0	1277.6	1684.7	75.8	1521.0	1410.0	92.7
ANPT	01/10	50	0.0	0.0	891.8	1624.4	54.9	1521.0	1003.0	65.9
ANPT	01/10	100	0.0	0.0	954.9	1624.4	58.8	1521.0	1021.0	67.1
ANPT	01/10	150	0.0	0.0	999.1	1624.4	61.5	1521.0	1021.0	67.1
ASPS	01/04	50	0.0	0.0	602.2	1688.1	35.7	658.3	599.0	91.0
ASPS	01/04	100	0.0	0.0	644.5	1688.1	38.2	658.3	655.0	99.5
ASPS	01/04	150	0.0	0.0	686.7	1688.1	40.7	658.3	658.3	100.0
ASPS	01/07	50	0.0	0.0	663.5	1684.7	39.4	658.3	615.1	93.4
ASPS	01/07	100	0.0	0.0	739.0	1684.7	43.9	658.3	658.3	100.0
ASPS	01/07	150	0.0	0.0	786.4	1684.7	46.7	658.3	658.3	100.0
ASPS	01/10	50	0.0	0.0	611.8	1624.4	37.7	658.3	576.9	87.6
ASPS	01/10	100	0.0	0.0	691.3	1624.4	42.6	658.3	631.6	95.9
ASPS	01/10	150	0.0	0.0	730.3	1624.4	45.0	658.3	631.6	95.9
ASPT	01/04	50	0.0	0.0	833.3	1688.1	49.4	1006.0	833.4	82.8
ASPT	01/04	100	0.0	0.0	932.7	1688.1	55.3	1006.0	908.0	90.3
ASPT	01/04	150	0.0	0.0	1005.2	1688.1	59.5	1006.0	940.1	93.4
ASPT	01/07	50	0.0	0.0	877.1	1684.7	52.1	1006.0	900.5	89.5
ASPT	01/07	100	0.0	0.0	981.1	1684.7	58.2	1006.0	975.3	96.9
ASPT	01/07	150	0.0	0.0	1054.5	1684.7	62.6	1006.0	1003.0	99.7
ASPT	01/10	50	0.0	0.0	723.9	1624.4	44.6	1006.0	753.8	74.9
ASPT	01/10	100	0.0	0.0	805.6	1624.4	49.6	1006.0	803.2	79.8
ASPT	01/10	150	0.0	0.0	854.3	1624.4	52.6	1006.0	805.8	80.1
AUPS	01/04	50	0.0	0.0	1014.4	1688.1	60.1	1739.0	1111.0	63.9
AUPS	01/04	100	0.0	0.0	1144.8	1688.1	67.8	1739.0	1373.0	79.0
AUPS	01/04	150	0.0	0.0	1216.6	1688.1	72.1	1739.0	1485.0	85.4

Tabela 25 - Valores de lâmina bruta (LB), lâmina líquida (LL), evapotranspiração real e da cultura (ETr e ETc) e razão entre evapotranspiração real e da cultura (ETr/ETc), precipitação pluvial total e efetiva (PPT e PPTef) e razão entre precipitação pluvial efetiva e total (PPTef/PPT), **sequeiro**, para as simulações dos anos contrastantes (AN, AS e AU; PS e PT), com **ETo-50%** Conclusão

Ano	EP	CAD	LB (mm)	LL (mm)	ETr (mm)	ETc (mm)	ETr/ETc (%)	PPT (mm)	PPTef (mm)	PPTef/PPT (%)
AUPS	01/07	50	0.0	0.0	1086.1	1684.7	64.5	1739.0	1152.0	66.2
AUPS	01/07	100	0.0	0.0	1275.8	1684.7	75.7	1739.0	1444.0	83.0
AUPS	01/07	150	0.0	0.0	1397.1	1684.7	82.9	1739.0	1666.0	95.8
AUPS	01/10	50	0.0	0.0	878.8	1624.4	54.1	1739.0	929.6	53.5
AUPS	01/10	100	0.0	0.0	981.4	1624.4	60.4	1739.0	1162.0	66.8
AUPS	01/10	150	0.0	0.0	1060.5	1624.4	65.3	1739.0	1350.0	77.6
AUPT	01/04	50	0.0	0.0	1031.7	1688.1	61.1	1738.0	1149.0	66.1
AUPT	01/04	100	0.0	0.0	1165.3	1688.1	69.0	1738.0	1289.0	74.2
AUPT	01/04	150	0.0	0.0	1246.1	1688.1	73.8	1738.0	1427.0	82.1
AUPT	01/07	50	0.0	0.0	1114.2	1684.7	66.1	1738.0	1286.0	74.0
AUPT	01/07	100	0.0	0.0	1256.8	1684.7	74.6	1738.0	1433.0	82.5
AUPT	01/07	150	0.0	0.0	1348.3	1684.7	80.0	1738.0	1571.0	90.4
AUPT	01/10	50	0.0	0.0	943.4	1624.4	58.1	1738.0	1104.0	63.5
AUPT	01/10	100	0.0	0.0	1003.0	1624.4	61.7	1738.0	1119.0	64.4
AUPT	01/10	150	0.0	0.0	1046.7	1624.4	64.4	1738.0	1119.0	64.4

Tabela 26 - Valores de lâmina bruta (LB), lâmina líquida (LL), evapotranspiração real e da cultura (ETr e ETc) e razão entre evapotranspiração real e da cultura (ETr/ETc), precipitação pluvial total e efetiva (PPT e PPTef) e razão entre precipitação pluvial efetiva e total (PPTef/PPT), **sequeiro**, para as simulações dos anos contrastantes (AN, AS e AU; PS e PT), com **ETo-80%** Continua...

Ano	EP	CAD	LB (mm)	LL (mm)	ETr (mm)	ETc (mm)	ETr/ETc (%)	PPT (mm)	PPTef (mm)	PPTef/PPT (%)
ANPS	01/04	50	0.0	0.0	931.7	1930.4	48.3	1220.0	987.1	80.9
ANPS	01/04	100	0.0	0.0	1015.1	1930.4	52.6	1220.0	1131.0	92.7
ANPS	01/04	150	0.0	0.0	1070.2	1930.4	55.4	1220.0	1211.0	99.3
ANPS	01/07	50	0.0	0.0	999.8	1936.9	51.6	1220.0	1012.0	83.0
ANPS	01/07	100	0.0	0.0	1128.4	1936.9	58.3	1220.0	1158.0	94.9
ANPS	01/07	150	0.0	0.0	1211.2	1936.9	62.5	1220.0	1220.0	100.0
ANPS	01/10	50	0.0	0.0	863.1	1845.8	46.8	1220.0	897.7	73.6
ANPS	01/10	100	0.0	0.0	948.4	1845.8	51.4	1220.0	1009.0	82.7
ANPS	01/10	150	0.0	0.0	1008.6	1845.8	54.6	1220.0	1055.0	86.5
ANPT	01/04	50	0.0	0.0	1040.4	1930.4	53.9	1521.0	1102.0	72.5
ANPT	01/04	100	0.0	0.0	1164.9	1930.4	60.3	1521.0	1274.0	83.8
ANPT	01/04	150	0.0	0.0	1247.0	1930.4	64.6	1521.0	1336.0	87.8
ANPT	01/07	50	0.0	0.0	1102.9	1936.9	56.9	1521.0	1216.0	79.9
ANPT	01/07	100	0.0	0.0	1231.8	1936.9	63.6	1521.0	1388.0	91.3
ANPT	01/07	150	0.0	0.0	1319.5	1936.9	68.1	1521.0	1450.0	95.3
ANPT	01/10	50	0.0	0.0	934.5	1845.8	50.6	1521.0	1045.0	68.7
ANPT	01/10	100	0.0	0.0	1019.3	1845.8	55.2	1521.0	1084.0	71.3
ANPT	01/10	150	0.0	0.0	1068.9	1845.8	57.9	1521.0	1089.0	71.6
ASPS	01/04	50	0.0	0.0	609.2	1930.4	31.6	658.3	605.2	91.9
ASPS	01/04	100	0.0	0.0	652.1	1930.4	33.8	658.3	658.3	100.0
ASPS	01/04	150	0.0	0.0	695.0	1930.4	36.0	658.3	658.3	100.0
ASPS	01/07	50	0.0	0.0	669.2	1936.9	34.6	658.3	620.6	94.3
ASPS	01/07	100	0.0	0.0	739.5	1936.9	38.2	658.3	658.3	100.0
ASPS	01/07	150	0.0	0.0	786.9	1936.9	40.6	658.3	658.3	100.0
ASPS	01/10	50	0.0	0.0	636.8	1845.8	34.5	658.3	598.7	90.9
ASPS	01/10	100	0.0	0.0	703.1	1845.8	38.1	658.3	639.7	97.2
ASPS	01/10	150	0.0	0.0	742.8	1845.8	40.2	658.3	639.7	97.2
ASPT	01/04	50	0.0	0.0	872.4	1930.4	45.2	1006.0	870.8	86.6
ASPT	01/04	100	0.0	0.0	971.5	1930.4	50.3	1006.0	944.0	93.8
ASPT	01/04	150	0.0	0.0	1013.4	1930.4	52.5	1006.0	944.0	93.8
ASPT	01/07	50	0.0	0.0	912.8	1936.9	47.1	1006.0	935.8	93.0
ASPT	01/07	100	0.0	0.0	1010.9	1936.9	52.2	1006.0	1004.0	99.8
ASPT	01/07	150	0.0	0.0	1056.5	1936.9	54.5	1006.0	1004.0	99.8
ASPT	01/10	50	0.0	0.0	762.9	1845.8	41.3	1006.0	792.4	78.8
ASPT	01/10	100	0.0	0.0	861.9	1845.8	46.7	1006.0	859.2	85.4
ASPT	01/10	150	0.0	0.0	920.9	1845.8	49.9	1006.0	871.3	86.6
AUPS	01/04	50	0.0	0.0	1074.7	1930.4	55.7	1739.0	1170.0	67.3
AUPS	01/04	100	0.0	0.0	1188.7	1930.4	61.6	1739.0	1443.0	83.0
AUPS	01/04	150	0.0	0.0	1266.3	1930.4	65.6	1739.0	1619.0	93.1

Tabela 26 - Valores de lâmina bruta (LB), lâmina líquida (LL), evapotranspiração real e da cultura (ETr e ETc) e razão entre evapotranspiração real e da cultura (ETr/ETc), precipitação pluvial total e efetiva (PPT e PPTef) e razão entre precipitação pluvial efetiva e total (PPTef/PPT), **sequeiro**, para as simulações dos anos contrastantes (AN, AS e AU; PS e PT), com **ETo-80%** Conclusão

Ano	EP	CAD	LB (mm)	LL (mm)	ETr (mm)	ETc (mm)	ETr/ETc (%)	PPT (mm)	PPTef (mm)	PPTef/PPT (%)
AUPS	01/07	50	0.0	0.0	1144.2	1936.9	59.1	1739.0	1276.0	73.4
AUPS	01/07	100	0.0	0.0	1309.5	1936.9	67.6	1739.0	1563.0	89.9
AUPS	01/07	150	0.0	0.0	1429.5	1936.9	73.8	1739.0	1711.0	98.4
AUPS	01/10	50	0.0	0.0	949.7	1845.8	51.5	1739.0	1074.0	61.8
AUPS	01/10	100	0.0	0.0	1048.2	1845.8	56.8	1739.0	1317.0	75.7
AUPS	01/10	150	0.0	0.0	1121.8	1845.8	60.8	1739.0	1412.0	81.2
AUPT	01/04	50	0.0	0.0	1089.8	1930.4	56.5	1738.0	1200.0	69.0
AUPT	01/04	100	0.0	0.0	1226.3	1930.4	63.5	1738.0	1408.0	81.0
AUPT	01/04	150	0.0	0.0	1307.1	1930.4	67.7	1738.0	1486.0	85.5
AUPT	01/07	50	0.0	0.0	1162.5	1936.9	60.0	1738.0	1334.0	76.8
AUPT	01/07	100	0.0	0.0	1304.9	1936.9	67.4	1738.0	1546.0	89.0
AUPT	01/07	150	0.0	0.0	1392.0	1936.9	71.9	1738.0	1624.0	93.4
AUPT	01/10	50	0.0	0.0	990.2	1845.8	53.6	1738.0	1150.0	66.2
AUPT	01/10	100	0.0	0.0	1071.0	1845.8	58.0	1738.0	1186.0	68.2
AUPT	01/10	150	0.0	0.0	1116.7	1845.8	60.5	1738.0	1187.0	68.3

Nas figuras abaixo, observam-se, através dos gráficos de dispersão, as variações, em função das CAD's, e a variabilidade, em função dos anos contrastantes, dos valores de evapotranspiração da cultura (ETc, mm.ciclo⁻¹) - para o critério de irrigação suplementar (I. SUP) - e evapotranspiração real (ETr, mm.ciclo⁻¹) - para o critério de irrigação com déficit (I. DEF) e condição de sequeiro (SEQ.) - (Figura 84), bem como, das razões entre ETr/ETc (Figura 85) para cada critério/enfoque do manejo da irrigação e condição de sequeiro, e para cada uma das épocas de início do ciclo de cana-soca (EP - 01/04, 01/07 e 01/10), nos *dois níveis de probabilidade de "não-superação" da ETo (50 e 80%)*, respectivamente.

A

B

Figura 84 - Dispersão dos valores de evapotranspiração - ETc ou ETr (mm.ciclo⁻¹), anos contrastantes, (A) ET0-50% e (B) ET0-80%

A

B

Figura 85 - Dispersão da razão entre a evapotranspiração real e da cultura - E_{Tr}/E_{Tc} (Adm.), anos contrastantes, (A) ETo-50% e (B) ETo-80%

Da mesma forma, nas figuras 86, 87 e 88, para os valores de precipitação pluvial efetiva (PPT_{ef} , mm.ciclo^{-1}), das relações entre PPT_{ef}/PPT (Adm.) e das perdas de PPT (P_{PPT} , mm.ciclo^{-1}), nos *dois níveis de ETo (50 e 80%)*, respectivamente.

Figura 86 - Dispersão dos valores de precipitação pluvial efetiva - PPT_{ef} (mm.ciclo^{-1}), anos contrastantes, (A) ETo-50% e (B) ETo-80%

A

B

Figura 87 - Dispersão da razão entre a precipitação pluvial efetiva e total - PPT_{ef}/PPT (Adm.), anos contrastantes, (A) ETo-50% e (B) ETo-80%

A

B

Figura 88 - Dispersão dos valores de perdas de precipitação pluvial - P_PPT (mm.ciclo⁻¹), anos contrastantes, (A) ETo-50% e (B) ETo-80%

Já, conseqüentemente e da mesma maneira, nas figuras 89 e 90, para as necessidades de irrigação (NI), em termos de lâmina líquida (LL) e bruta (LB) (mm.ciclo^{-1}), nos *dois níveis de ETo (50 e 80%)*, respectivamente.

Figura 89 - Dispersão dos valores de lâmina líquida de irrigação - LL (mm.ciclo^{-1}), anos contrastantes, (A) ETo-50% e (B) ETo-80%

A

B

Figura 90 - Dispersão dos valores de lâmina bruta de irrigação - LB (mm.ciclo⁻¹), anos contrastantes, (A) ET₀-50% e (B) ET₀-80%

Neste caso, é possível se observar as variações da evapotranspiração (real ou da cultura) para os diferentes critérios de manejo da irrigação, e condição de sequeiro, em função das diferentes capacidades relativas de água disponível no solo (CAD's), bem como, da dispersão dos valores em função dos anos determinados com base na probabilidade teórica “atingível” dos valores de PPT acumulados no período anual (PT) e período seco (PS) (ANPS, ANPT, ASPS, ASPT, AUPT e AUT), em dois níveis de probabilidade teórica de “não-superação” dos valores de **ET_o** (50 e 80%), respectivamente.

Nas figuras a seguir (Figuras 91 a 105), são apresentados o comportamento e a dispersão, para os diferentes anos de PPT (AN, AU e AS; determinados no PT e PS) e ET_o (50 e 80%), das variáveis de saída do *balanço hídrico diário da cultura (BHC)*: *precipitação pluvial diária (PPT, mm.d⁻¹)*, *coeficiente de estresse hídrico (ks, Adm.)*, *depleção de água no solo (Depl., % - p.100)*, *déficit de armazenamento (Déficit, mm)* e *evapotranspiração diária real ou da cultura (ET_r ou ET_c, mm.d⁻¹)*, em função dos critérios/enfoques do manejo da irrigação (I. SUP. e I. DEF.) e condição de sequeiro (SEQ.), bem como das diferentes capacidades relativas de água disponível (CAD's, mm.m⁻¹), para cada uma das épocas de início do ciclo (ÉPOCA 1 – 01/04, ÉPOCA 2 – 01/07 e ÉPOCA 3 – 01/10).

Figura 91 - Valores de precipitação pluvial - PPT (mm.d⁻¹) em função da determinação dos anos contrastantes (AN, AS e AU) para o PS e PT, na **ÉPOCA 1 - 01/04**

Figura 92 - Valores de precipitação pluvial - PPT (mm.d⁻¹) em função da determinação dos anos contrastantes (AN, AS e AU) para o PS e PT, na **ÉPOCA 2 - 01/07**

Figura 93 - Valores de precipitação pluvial - PPT (mm.d⁻¹) em função da determinação dos anos contrastantes (AN, AS e AU) para o PS e PT, na **ÉPOCA 3 - 01/10**

Figura 94 - Comportamento e dispersão dos valores do coeficiente de estresse hídrico - k_s (Adm.) ao longo do ciclo; ÉPOCA 1 (01/04)

Figura 95 - Comportamento e dispersão dos valores do coeficiente de estresse hídrico - k_s (Adm.) ao longo do ciclo; ÉPOCA 2 (01/07)

Figura 96 - Comportamento e dispersão dos valores do coeficiente de estresse hídrico - k_s (Adm.) ao longo do ciclo; **ÉPOCA 3 (01/10)**

Figura 97 - Comportamento e dispersão da depleção de água no solo - Depl. (% p*100) ao longo do ciclo; **ÉPOCA 1 (01/04)**

Figura 98 - Comportamento e dispersão da depleção de água no solo - Depl. (% p*100) ao longo do ciclo;
ÉPOCA 2 (01/07)

Figura 99 - Comportamento e dispersão da depleção de água no solo - Depl. (% p*100) ao longo do ciclo;
ÉPOCA 3 (01/10)

Figura 100 - Comportamento e dispersão do déficit hídrico no solo (mm) ao longo do ciclo; **ÉPOCA 1 (01/04)**

Figura 101 - Comportamento e dispersão do déficit hídrico no solo (mm) ao longo do ciclo; **ÉPOCA 2 (01/07)**

Figura 102 - Comportamento e dispersão do déficit hídrico no solo (mm) ao longo do ciclo; **ÉPOCA 3 (01/10)**

Figura 103 - “Perfis” de evapotranspiração (ETc ou ETr, mm.d⁻¹) ao longo do ciclo; **ÉPOCA 1 (01/04)**

Figura 104 - “Perfis” de evapotranspiração (ET_c ou ET_r , mm.d^{-1}) ao longo do ciclo; ÉPOCA 2 (01/07)

Figura 105 - “Perfis” de evapotranspiração (ET_c ou ET_r , mm.d^{-1}) ao longo do ciclo; ÉPOCA 3 (01/10)

Nas figuras a seguir (Figuras 106 a 120), são apresentados o comportamento e a dispersão/variabilidade (diferentes anos de PPT - AN, AU e AS; PT e OS; e ET_o - 50 e 80%), dos valores das variáveis de saída do *calendário de irrigação*, ou seja, no memento dos eventos de irrigação, tais como: *coeficiente de estresse hídrico* (k_s , Adm.), *depleção de água no solo* (*Depl.*, % - *p.100*), *déficit de armazenamento* (*Déficit*, mm), *porcentagem de evapotranspiração diária em relação a evapotranspiração da cultura* (%ET_c, %) e *vazões específicas* (Q_e , $l.s^{-1}.ha^{-1}$) necessárias para o atendimento das necessidades de irrigação (NI), em função dos critérios/enfoques do manejo da irrigação (I. SUP. e I. DEF.) e das diferentes capacidades relativas de água disponível (CAD's, $mm.m^{-1}$), para cada uma das épocas de início do ciclo (ÉPOCA 1 – 01/04, ÉPOCA 2 – 01/07 e ÉPOCA 3 – 01/10). Evidentemente, neste caso, à condição de sequeiro (SEQ.) não possui variáveis de saída para o calendário de irrigação.

Figura 106 - Dispersão dos valores do coeficiente de estresse hídrico - k_s (Adm.) no momento da irrigação; **ÉPOCA 1 (01/04)**

Figura 107 - Dispersão dos valores do coeficiente de estresse hídrico - K_s (Adm.) no momento da irrigação;
ÉPOCA 2 (01/07)

Figura 108 - Dispersão dos valores do coeficiente de estresse hídrico - K_s (Adm.) no momento da irrigação;
ÉPOCA 3 (01/10)

Figura 109 - Dispersão dos valores da depleção de água no solo - Depl. (% p*100) no momento da irrigação;
ÉPOCA 1 (01/04)

Figura 110 - Dispersão dos valores da depleção de água no solo - Depl. (% p*100) no momento da irrigação;
ÉPOCA 2 (01/07)

Figura 111 - Dispersão dos valores da depleção de água no solo - Depl. (% p*100) no momento da irrigação; **ÉPOCA 3 (01/10)**

Figura 112 - Dispersão da evapotranspiração em relação à ETc (% da ETc) no momento da irrigação; **ÉPOCA 1 (01/04)**

Figura 113 - Dispersão da evapotranspiração em relação à ETc (% da ETc) no momento da irrigação; **ÉPOCA 2 (01/07)**

Figura 114 - Dispersão da evapotranspiração em relação à ETc (% da ETc) no momento da irrigação; **ÉPOCA 3 (01/10)**

Figura 115 - Dispersão dos valores de lâminas de irrigação bruta - LB (mm); **ÉPOCA 1 (01/04)**

Figura 116 - Dispersão dos valores de lâminas de irrigação bruta - LB (mm); **ÉPOCA 2 (01/07)**

Figura 117 - Dispersão dos valores de lâminas de irrigação bruta - LB (mm); **ÉPOCA 3 (01/10)**

Figura 118 - Dispersão dos valores de vazão específica necessária ao longo do ciclo - Q_e ($\text{l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$); **ÉPOCA 1**

Figura 119 - Dispersão dos valores de vazão específica necessária ao longo do ciclo - Q_e ($\text{L.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$); ÉPOCA 2

Figura 120 - Dispersão dos valores de vazão específica necessária ao longo do ciclo - Q_e ($\text{L.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$); ÉPOCA 3

4.4 Déficit de evapotranspiração e redução da produtividade - Módulo “Schedule”

Nas tabelas 27 e 28 são apresentados os valores (mínimos, 1º quartil, médios, 3º quartil, máximos, desvio padrão, assimetria e amplitude) de *redução da evapotranspiração da cultura (RETc, %)* e *redução da produtividade (RP, %)* nas diferentes fases de crescimento e desenvolvimento da cultura: (A) inicial; (B) desenvolvimento; (C) intermediária e (D) final, bem como, no período/ciclo total (T), para o **critério de irrigação com déficit (I. DEF)**, em função dos *31 anos de dados simulados (1983 a 2013)*.

Tabela 27 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) (RETc, %), **I. DEF**, para as simulações ano-a-ano (31 anos) Continua...

EP	CAD	Mínimo	1º Quartil	Média	3º Quartil	Máximo	Desvio Padrão	Assimetria	Amplitude
Redução da Evapotranspiração da Cultura - RETc (A) (%)									
01/04	50	0.0	0.0	1.2	0.2	11.2	2.9	2.18	11.2
01/04	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/04	150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/07	50	0.0	0.0	2.4	5.1	8.1	2.9	0.72	8.1
01/07	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/07	150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/10	50	0.0	0.0	0.4	0.0	9.7	1.8	4.70	9.7
01/10	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/10	150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
Redução da Evapotranspiração da Cultura - RETc (B) (%)									
01/04	50	5.8	11.1	11.9	12.8	15.3	1.9	-0.81	9.5
01/04	100	0.0	8.5	9.7	11.7	14.1	3.4	-1.58	14.1
01/04	150	0.0	2.3	6.6	10.9	14.0	4.6	-0.14	14.0
01/07	50	6.3	9.6	11.2	12.9	14.4	2.2	-0.45	8.1
01/07	100	5.3	8.3	9.9	11.9	14.2	2.4	-0.39	8.9
01/07	150	0.0	6.7	8.4	11.1	12.8	3.3	-0.78	12.8
01/10	50	0.0	0.7	6.5	11.5	13.5	4.8	-0.08	13.5
01/10	100	0.0	0.0	2.0	1.6	12.5	3.8	1.67	12.5
01/10	150	0.0	0.0	0.4	0.0	8.8	1.7	4.16	8.8
Redução da Evapotranspiração da Cultura - RETc (C) (%)									
01/04	50	9.1	10.5	11.4	12.4	13.2	1.1	-0.25	4.1
01/04	100	7.1	9.1	9.8	10.8	12.9	1.3	-0.10	5.8
01/04	150	4.8	8.0	9.1	10.4	11.8	1.6	-0.35	7.0
01/07	50	4.9	8.8	10.1	11.4	13.0	1.9	-0.79	8.1
01/07	100	1.5	5.1	7.5	10.3	12.3	3.0	-0.23	10.8
01/07	150	0.3	3.0	5.8	8.3	11.9	3.2	0.28	11.6
01/10	50	10.4	11.9	12.4	13.2	14.3	1.0	-0.22	3.9
01/10	100	10.1	11.7	12.4	12.9	13.9	0.9	-0.98	3.8
01/10	150	9.3	11.8	12.2	12.8	13.4	0.9	-1.36	4.1

Tabela 27 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) (RETc, %), I. DEF, para as simulações ano-a-ano (31 anos) Conclusão

EP	CAD	Mínimo	1º Quartil	Média	3º Quartil	Máximo	Desvio Padrão	Assimetria	Amplitude
Redução da Evapotranspiração da Cultura - RETc (D) (%)									
01/04	50	0.0	4.1	7.7	10.7	13.7	4.0	-0.44	13.7
01/04	100	0.0	0.0	3.7	6.0	12.5	4.0	0.75	12.5
01/04	150	0.0	0.0	2.9	6.0	14.2	4.0	1.20	14.2
01/07	50	7.0	11.8	15.4	18.0	30.1	4.9	1.08	23.1
01/07	100	6.2	11.5	18.6	24.0	35.4	7.6	0.20	29.2
01/07	150	9.4	13.2	20.2	26.5	39.1	8.4	0.62	29.7
01/10	50	8.8	10.6	11.6	12.5	13.7	1.4	-0.41	4.9
01/10	100	7.5	9.5	10.8	11.8	14.4	1.5	0.13	6.9
01/10	150	8.1	9.4	10.9	12.3	15.3	1.7	0.37	7.2
Redução da Evapotranspiração da Cultura - RETc (T) (%)									
01/04	50	7.7	9.6	10.3	11.3	11.9	1.3	-0.58	4.2
01/04	100	5.6	7.0	8.0	9.3	10.7	1.4	0.13	5.1
01/04	150	4.2	5.7	7.0	8.3	9.8	1.5	0.16	5.6
01/07	50	10.6	10.9	11.2	11.5	12.2	0.4	0.82	1.6
01/07	100	7.7	9.8	10.1	10.5	10.7	0.6	-1.98	3.0
01/07	150	4.7	9.1	9.1	10.0	10.4	1.6	-1.60	5.7
01/10	50	10.2	10.6	11.0	11.4	12.3	0.6	0.46	2.1
01/10	100	9.4	9.8	10.1	10.3	10.6	0.3	-0.44	1.2
01/10	150	9.0	9.5	9.8	10.1	10.4	0.4	-0.41	1.4

Diante dos valores apresentados na tabela 27, observou-se que as RETc's (%), em termos médios, mantiveram-se dentro da condição inicialmente proposta (10% de redução da ETc). Contudo, à medida que a CAD relativa foi aumentada (50, 100 e 150 mm.m⁻¹), as reduções tenderam a ser menores, uma vez que, nestas condições, leva-se um tempo maior para se atingir a condição de déficit hídrico determinada como critério para aplicação de lâminas de irrigação, possibilitando-se assim a ocorrência de eventos de precipitação pluvial, que elevam os níveis de armazenamento de água no solo a condições não limitantes.

Tabela 28 - Redução da produtividade (RP, %), I. DEF, para as simulações ano-a-ano (31 anos) Continua...

EP	CAD	Mínimo	1º Quartil	Média	3º Quartil	Máximo	Desvio Padrão	Assimetria	Amplitude
Redução da Produtividade - RP (A) (%)									
01/04	50	0.0	0.0	0.6	0.1	5.6	1.4	2.19	5.6
01/04	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/04	150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/07	50	0.0	0.0	1.2	2.5	4.1	1.4	0.72	4.1
01/07	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/07	150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/10	50	0.0	0.0	0.2	0.0	4.9	0.9	4.73	4.9
01/10	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/10	150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
Redução da Produtividade - RP (B) (%)									
01/04	50	4.4	8.3	8.9	9.6	11.5	1.4	-0.75	7.1
01/04	100	0.0	6.4	7.2	8.8	10.6	2.5	-1.57	10.6
01/04	150	0.0	1.7	5.0	8.2	10.5	3.5	-0.13	10.5
01/07	50	4.7	7.2	8.4	9.7	10.8	1.6	-0.47	6.1
01/07	100	4.0	6.2	7.4	8.9	10.6	1.8	-0.41	6.6
01/07	150	0.0	5.0	6.3	8.3	9.6	2.5	-0.78	9.6
01/10	50	0.0	0.5	4.9	8.6	10.1	3.6	-0.07	10.1
01/10	100	0.0	0.0	1.5	1.2	9.3	2.9	1.67	9.3
01/10	150	0.0	0.0	0.3	0.0	6.6	1.3	4.17	6.6
Redução da Produtividade - RP (C) (%)									
01/04	50	10.9	12.6	13.7	14.8	15.8	1.4	-0.27	4.9
01/04	100	8.5	10.9	11.7	12.9	15.5	1.6	-0.09	7.0
01/04	150	5.8	9.6	10.9	12.5	14.2	1.9	-0.33	8.4
01/07	50	5.9	10.5	12.1	13.6	15.6	2.3	-0.76	9.7
01/07	100	1.8	6.1	9.0	12.3	14.7	3.6	-0.23	12.9
01/07	150	0.4	3.6	7.0	10.0	14.3	3.8	0.29	13.9
01/10	50	12.5	14.2	14.9	15.8	17.1	1.2	-0.22	4.6
01/10	100	12.2	14.1	14.9	15.5	16.7	1.1	-0.95	4.5
01/10	150	11.2	14.1	14.7	15.3	16.1	1.0	-1.34	4.9
Redução da Produtividade - RP (D) (%)									
01/04	50	0.0	0.4	0.8	1.1	1.4	0.4	-0.34	1.4
01/04	100	0.0	0.0	0.4	0.6	1.3	0.4	0.72	1.3
01/04	150	0.0	0.0	0.3	0.6	1.4	0.4	1.19	1.4
01/07	50	0.7	1.2	1.5	1.8	3.0	0.5	1.04	2.3
01/07	100	0.6	1.2	1.9	2.4	3.5	0.8	0.17	2.9
01/07	150	0.9	1.3	2.0	2.6	3.9	0.8	0.61	3.0
01/10	50	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	0.1	-0.18	0.5
01/10	100	0.7	1.0	1.1	1.2	1.4	0.2	-0.14	0.7
01/10	150	0.8	0.9	1.1	1.2	1.5	0.2	0.26	0.7

Tabela 28 - Redução da produtividade (RP, %), I. DEF, para as simulações ano-a-ano (31 anos) Conclusão

EP	CAD	Mínimo	1º Quartil	Média	3º Quartil	Máximo	Desvio Padrão	Assimetria	Amplitude
Redução da Produtividade - RP (T) (%)									
01/04	50	9.3	11.5	12.3	13.6	14.3	1.6	-0.58	5.0
01/04	100	6.7	8.4	9.6	11.2	12.8	1.7	0.10	6.1
01/04	150	5.0	6.8	8.4	10.0	11.8	1.9	0.14	6.8
01/07	50	12.7	13.1	13.5	13.8	14.6	0.5	0.75	1.9
01/07	100	9.3	11.8	12.1	12.6	12.8	0.7	-1.92	3.5
01/07	150	5.7	10.9	11.0	12.0	12.5	1.9	-1.59	6.8
01/10	50	12.2	12.7	13.2	13.7	14.8	0.7	0.52	2.6
01/10	100	11.2	11.8	12.1	12.3	12.7	0.4	-0.50	1.5
01/10	150	10.8	11.4	11.7	12.1	12.4	0.4	-0.39	1.6

Já, na tabela 29, são apresentados os valores (mínimos, 1º quartil, médios, 3º quartil, máximos, desvio padrão, assimetria e amplitude) de *redução da produtividade acumulada*.

Tabela 29 - Redução da produtividade acumulada (RPA, %), I. DEF, para as simulações ano-a-ano (31 anos) Continua...

EP	CAD	Mínimo	1º Quartil	Média	3º Quartil	Máximo	Desvio Padrão	Assimetria	Amplitude
Redução da Produtividade Acumulada - RPA (A) (%)									
01/04	50	0.0	0.0	0.6	0.1	5.6	1.4	2.19	5.6
01/04	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/04	150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/07	50	0.0	0.0	1.2	2.5	4.1	1.4	0.72	4.1
01/07	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/07	150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/10	50	0.0	0.0	0.2	0.0	4.9	0.9	4.73	4.9
01/10	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/10	150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
Redução da Produtividade Acumulada - RPA (B) (%)									
01/04	50	4.4	8.5	9.5	10.7	12.6	1.7	-0.53	8.2
01/04	100	0.0	6.4	7.2	8.8	10.6	2.5	-1.57	10.6
01/04	150	0.0	1.7	5.0	8.2	10.5	3.5	-0.13	10.5
01/07	50	5.3	8.1	9.5	10.8	13.6	2.2	0.00	8.3
01/07	100	4.0	6.2	7.4	8.9	10.6	1.8	-0.41	6.6
01/07	150	0.0	5.0	6.3	8.3	9.6	2.5	-0.78	9.6
01/10	50	0.0	1.6	5.1	8.7	10.1	3.6	-0.11	10.1
01/10	100	0.0	0.0	1.5	1.2	9.3	2.9	1.67	9.3
01/10	150	0.0	0.0	0.3	0.0	6.6	1.3	4.17	6.6

Tabela 29 - Redução da produtividade acumulada (RPA, %), **I. DEF**, para as simulações ano-a-ano (31 anos)
Conclusão

EP	CAD	Mínimo	1º Quartil	Média	3º Quartil	Máximo	Desvio Padrão	Assimetria	Amplitude
Redução da Produtividade Acumulada - RPA (C) (%)									
01/04	50	18.6	20.7	21.9	23.5	25.1	1.8	-0.03	6.5
01/04	100	10.9	17.0	18.1	19.9	21.3	2.2	-1.17	10.4
01/04	150	10.1	13.2	15.3	17.7	21.1	2.9	0.07	11.0
01/07	50	13.8	18.9	20.5	22.2	25.8	2.9	-0.36	12.0
01/07	100	7.7	13.5	15.8	18.7	21.0	3.5	-0.51	13.3
01/07	150	5.6	10.8	12.9	15.7	18.7	3.8	-0.34	13.1
01/10	50	15.5	17.6	19.3	20.9	23.2	2.1	-0.16	7.7
01/10	100	14.1	15.2	16.2	16.7	20.6	1.6	1.43	6.5
01/10	150	11.2	14.3	15.0	15.7	18.7	1.3	-0.05	7.5
Redução da Produtividade Acumulada - RPA (D) (%)									
01/04	50	19.1	20.9	22.5	24.2	25.9	1.8	0.09	6.8
01/04	100	11.4	17.6	18.4	20.0	21.7	2.2	-1.12	10.3
01/04	150	10.1	13.2	15.5	17.9	21.2	3.0	0.02	11.1
01/07	50	15.9	20.1	21.7	23.3	26.6	2.6	-0.25	10.7
01/07	100	9.9	15.4	17.3	19.7	21.9	2.9	-0.65	12.0
01/07	150	8.4	12.7	14.7	17.4	19.6	3.2	-0.34	11.2
01/10	50	16.4	18.6	20.2	21.8	24.2	2.2	-0.12	7.8
01/10	100	15.4	16.0	17.1	17.5	21.4	1.6	1.49	6.0
01/10	150	12.4	15.1	15.9	16.5	19.5	1.2	0.04	7.1

Nas tabelas 30 e 31 são apresentados os valores (mínimos, 1º quartis, médios, 3º quartis, máximos, desvio padrão, assimetria e amplitude) de *redução da evapotranspiração da cultura (RETc, %)* e *redução da produtividade (RP, %)* nas diferentes fases de crescimento e desenvolvimento da cultura: (A) inicial; (B) desenvolvimento; (C) intermediária e (D) final, bem como, no período/ciclo total (T), para a condição de **sequeiro (SEQ)**, em função dos 31 anos de dados simulados (1983 a 2013).

Tabela 30 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) (RETc, %), **SEQ.**, para as simulações ano-a-ano (31 anos) Continua...

EP	CAD	Mínimo	1º Quartil	Média	3º Quartil	Máximo	Desvio Padrão	Assimetria	Amplitude
Redução da Evapotranspiração da Cultura - RETc (A) (%)									
01/04	50	0.0	0.0	1.3	0.2	12.9	3.1	2.39	12.9
01/04	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/04	150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/07	50	0.0	0.0	2.4	5.1	8.1	2.9	0.72	8.1
01/07	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/07	150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/10	50	0.0	0.0	0.6	0.0	14.4	2.6	4.88	14.4
01/10	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/10	150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
Redução da Evapotranspiração da Cultura - RETc (B) (%)									
01/04	50	5.8	42.4	51.7	63.2	82.1	17.5	-0.77	76.3
01/04	100	0.0	16.2	26.3	38.5	54.0	14.8	0.02	54.0
01/04	150	0.0	2.3	9.6	16.3	29.5	9.0	0.79	29.5
01/07	50	27.5	47.9	66.5	87.4	96.9	21.3	-0.15	69.4
01/07	100	9.4	28.4	47.3	66.4	80.5	22.2	-0.13	71.1
01/07	150	0.0	10.6	30.2	45.4	63.3	20.5	-0.02	63.3
01/10	50	0.0	0.7	12.7	15.3	83.4	16.7	2.54	83.4
01/10	100	0.0	0.0	3.7	1.6	62.2	11.5	4.29	62.2
01/10	150	0.0	0.0	1.5	0.0	42.0	7.5	4.98	42.0
Redução da Evapotranspiração da Cultura - RETc (C) (%)									
01/04	50	44.8	55.8	62.8	68.8	80.4	9.8	0.05	35.6
01/04	100	39.2	52.0	60.6	68.2	80.7	10.8	-0.04	41.5
01/04	150	35.6	51.5	59.3	67.4	80.5	11.2	-0.06	44.9
01/07	50	15.4	23.6	32.3	40.3	57.7	11.3	0.58	42.3
01/07	100	4.2	18.4	26.4	34.4	49.8	11.9	0.35	45.6
01/07	150	2.8	15.3	24.7	30.5	50.6	12.4	0.41	47.8
01/10	50	24.7	32.0	40.7	46.3	66.7	10.1	0.49	42.0
01/10	100	16.0	22.3	31.8	37.3	63.7	11.3	0.66	47.7
01/10	150	9.3	15.4	25.7	32.2	58.8	11.5	0.68	49.5

Tabela 30 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) (RETc, %), **SEQ.**, para as simulações ano-a-ano (31 anos) Conclusão

EP	CAD	Mínimo	1º Quartil	Média	3º Quartil	Máximo	Desvio Padrão	Assimetria	Amplitude
Redução da Evapotranspiração da Cultura - RETc (D) (%)									
01/04	50	0.0	4.3	15.7	25.2	43.6	11.4	0.43	43.6
01/04	100	0.0	0.0	8.7	12.4	41.2	10.3	1.42	41.2
01/04	150	0.0	0.0	6.8	9.7	39.9	10.2	1.71	39.9
01/07	50	23.6	45.3	56.8	69.0	80.4	15.0	-0.12	56.8
01/07	100	20.3	35.5	46.8	59.5	80.3	16.3	0.13	60.0
01/07	150	10.9	23.4	37.9	51.4	80.1	17.7	0.29	69.2
01/10	50	0.0	69.2	79.0	91.8	98.9	18.4	-2.43	98.9
01/10	100	62.6	70.7	82.0	92.2	99.9	11.5	-0.12	37.3
01/10	150	62.7	72.7	82.2	91.5	99.5	11.0	-0.11	36.8
Redução da Evapotranspiração da Cultura - RETc (T) (%)									
01/04	50	31.5	41.0	48.2	56.2	64.5	8.3	0.19	33.0
01/04	100	24.1	35.4	42.5	49.4	58.8	8.6	0.09	34.7
01/04	150	21.5	32.8	39.5	45.6	56.2	8.8	0.13	34.7
01/07	50	22.5	34.7	41.8	50.4	61.2	9.7	0.24	38.7
01/07	100	11.2	24.1	33.3	42.7	54.3	10.7	0.20	43.1
01/07	150	6.0	19.2	27.9	36.2	50.3	11.3	0.28	44.3
01/10	50	31.2	38.9	46.1	52.8	62.8	8.4	0.15	31.6
01/10	100	24.9	32.1	39.7	46.0	58.4	8.2	0.24	33.5
01/10	150	22.1	29.0	36.0	41.0	55.9	7.9	0.28	33.8

Já, na condição de sequeiro, observou-se que as RETc's (%), em termos médios (tabela 30), variaram significativamente fase-a-fase em função das diferentes épocas de início do ciclo. Evidentemente, nesta condição, a satisfação das necessidades hídricas da cultura em cada fase de cultivo é dependente da distribuição das PPT's ao longo do ano, sendo sensivelmente alterada em função das épocas de início do ciclo. Considerando-se a RETc (T), pode-se evidenciar, novamente, a influência dos diferentes níveis de CAD nas RETc's (%).

Tabela 31 - Redução da produtividade (RP, %), **SEQ.**, para as simulações ano-a-ano (31 anos) Continua...

EP	CAD	Mínimo	1º Quartil	Média	3º Quartil	Máximo	Desvio Padrão	Assimetria	Amplitude
Redução da Produtividade - RP (A) (%)									
01/04	50	0.0	0.0	0.6	0.1	6.5	1.5	2.41	6.5
01/04	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/04	150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/07	50	0.0	0.0	1.2	2.5	4.1	1.4	0.72	4.1
01/07	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/07	150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/10	50	0.0	0.0	0.3	0.0	7.2	1.3	4.89	7.2
01/10	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/10	150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0

Tabela 31 - Redução da produtividade (RP, %), SEQ., para as simulações ano-a-ano (31 anos) Conclusão

EP	CAD	Mínimo	1º Quartil	Média	3º Quartil	Máximo	Desvio Padrão	Assimetria	Amplitude
Redução da Produtividade - RP (B) (%)									
01/04	50	4.4	31.8	38.8	47.4	61.5	13.1	-0.77	57.1
01/04	100	0.0	12.2	19.7	28.9	40.5	11.1	0.02	40.5
01/04	150	0.0	1.7	7.2	12.2	22.1	6.7	0.79	22.1
01/07	50	20.6	35.9	49.9	65.5	72.7	16.0	-0.15	52.1
01/07	100	7.0	21.3	35.5	49.8	60.4	16.6	-0.13	53.4
01/07	150	0.0	7.9	22.7	34.0	47.5	15.4	-0.02	47.5
01/10	50	0.0	0.5	9.5	11.5	62.5	12.5	2.54	62.5
01/10	100	0.0	0.0	2.8	1.2	46.6	8.6	4.29	46.6
01/10	150	0.0	0.0	1.1	0.0	31.5	5.7	4.99	31.5
Redução da Produtividade - RP (C) (%)									
01/04	50	53.8	67.0	75.3	82.6	96.4	11.7	0.04	42.6
01/04	100	47.0	62.3	72.7	81.9	96.8	12.9	-0.04	49.8
01/04	150	42.7	61.8	71.1	80.8	96.6	13.4	-0.07	53.9
01/07	50	18.5	28.3	38.8	48.4	69.2	13.6	0.58	50.7
01/07	100	5.1	22.0	31.7	41.3	59.7	14.3	0.35	54.6
01/07	150	3.4	18.4	29.6	36.6	60.8	14.9	0.41	57.4
01/10	50	29.7	38.5	48.8	55.5	80.1	12.1	0.50	50.4
01/10	100	19.2	26.7	38.2	44.8	76.4	13.5	0.66	57.2
01/10	150	11.2	18.5	30.8	38.6	70.5	13.8	0.68	59.3
Redução da Produtividade - RP (D) (%)									
01/04	50	0.0	0.4	1.6	2.5	4.4	1.1	0.44	4.4
01/04	100	0.0	0.0	0.9	1.2	4.1	1.0	1.43	4.1
01/04	150	0.0	0.0	0.7	1.0	4.0	1.0	1.70	4.0
01/07	50	2.4	4.5	5.7	6.9	8.0	1.5	-0.11	5.6
01/07	100	2.0	3.5	4.7	5.9	8.0	1.6	0.12	6.0
01/07	150	1.1	2.3	3.8	5.1	8.0	1.8	0.29	6.9
01/10	50	6.2	7.0	8.2	9.3	10.0	1.2	-0.12	3.8
01/10	100	6.3	7.1	8.2	9.2	10.0	1.1	-0.11	3.7
01/10	150	6.3	7.3	8.2	9.1	10.0	1.1	-0.10	3.7
Redução da Produtividade - RP (T) (%)									
01/04	50	37.9	49.2	57.8	67.4	77.4	10.0	0.19	39.5
01/04	100	28.9	42.5	51.0	59.3	70.5	10.3	0.09	41.6
01/04	150	25.8	39.3	47.4	54.7	67.4	10.6	0.13	41.6
01/07	50	27.0	41.7	50.2	60.5	73.5	11.7	0.24	46.5
01/07	100	13.5	28.9	39.9	51.2	65.1	12.9	0.20	51.6
01/07	150	7.2	23.0	33.5	43.5	60.4	13.6	0.28	53.2
01/10	50	37.4	46.6	55.4	63.4	75.4	10.0	0.15	38.0
01/10	100	29.9	38.6	47.7	55.2	70.1	9.8	0.24	40.2
01/10	150	26.5	34.8	43.2	49.2	67.0	9.5	0.28	40.5

Já, na tabela 32, são apresentados os valores (mínimos, 1º quartil, médios, 3º quartil, máximos, desvio padrão, assimetria e amplitude) de *redução da produtividade acumulada*.

Tabela 32 - Redução da produtividade acumulada (RPA, %), **SEQ.**, para as simulações ano-a-ano (31 anos)

EP	CAD	Mínimo	1º Quartil	Média	3º Quartil	Máximo	Desvio Padrão	Assimetria	Amplitude
Redução da Produtividade Acumulada - RPA (A) (%)									
01/04	50	0.0	0.0	0.6	0.1	6.5	1.5	2.41	6.5
01/04	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/04	150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/07	50	0.0	0.0	1.2	2.5	4.1	1.4	0.72	4.1
01/07	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/07	150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/10	50	0.0	0.0	0.3	0.0	7.2	1.3	4.89	7.2
01/10	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
01/10	150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
Redução da Produtividade Acumulada - RPA (B) (%)									
01/04	50	4.4	31.8	39.1	48.3	61.5	13.4	-0.72	57.1
01/04	100	0.0	12.2	19.7	28.9	40.5	11.1	0.02	40.5
01/04	150	0.0	1.7	7.2	12.2	22.1	6.7	0.79	22.1
01/07	50	20.8	36.6	50.4	65.6	73.5	16.0	-0.17	52.7
01/07	100	7.0	21.3	35.5	49.8	60.4	16.6	-0.13	53.4
01/07	150	0.0	7.9	22.7	34.0	47.5	15.4	-0.02	47.5
01/10	50	0.0	1.6	9.8	11.5	62.5	12.4	2.55	62.5
01/10	100	0.0	0.0	2.8	1.2	46.6	8.6	4.29	46.6
01/10	150	0.0	0.0	1.1	0.0	31.5	5.7	4.99	31.5
Redução da Produtividade Acumulada - RPA (C) (%)									
01/04	50	63.9	79.6	84.8	90.6	98.4	8.3	-0.47	34.5
01/04	100	48.4	70.9	77.8	85.1	97.9	11.5	-0.45	49.5
01/04	150	42.7	64.0	73.0	81.6	97.2	12.9	-0.23	54.5
01/07	50	42.6	57.4	69.1	81.9	88.7	13.5	-0.32	46.1
01/07	100	22.5	40.9	55.3	70.6	79.8	16.6	-0.30	57.3
01/07	150	9.5	28.2	44.9	59.2	73.5	18.1	-0.16	64.0
01/10	50	29.8	40.8	53.4	61.9	82.1	14.3	0.33	52.3
01/10	100	19.2	26.7	39.7	48.6	76.4	15.0	0.60	57.2
01/10	150	11.2	18.5	31.5	40.9	70.5	14.6	0.64	59.3
Redução da Produtividade Acumulada - RPA (D) (%)									
01/04	50	64.1	79.9	85.0	90.8	98.4	8.2	-0.47	34.3
01/04	100	48.4	70.9	78.0	85.2	97.9	11.5	-0.45	49.5
01/04	150	42.7	64.0	73.2	81.7	97.2	12.9	-0.24	54.5
01/07	50	47.0	59.1	70.8	82.8	89.6	12.8	-0.30	42.6
01/07	100	24.3	43.6	57.3	72.2	81.3	16.1	-0.29	57.0
01/07	150	10.7	30.6	46.9	60.9	74.4	17.8	-0.16	63.7
01/10	50	34.7	46.2	57.2	65.5	83.6	13.3	0.29	48.9
01/10	100	24.5	34.0	44.6	52.1	78.5	14.0	0.55	54.0
01/10	150	17.6	26.6	37.1	46.4	73.2	13.6	0.59	55.6

Analisando-se as reduções relativas da evapotranspiração da cultura (RET_c , %) e, conseqüentemente, as reduções relativas de produtividade da cultura (RP, %) e reduções relativas da produtividade acumuladas (RPA, %) fase-a-fase, conforme modelo proposto por Doorenbos e Kassam (1979), observou-se que, em termos médios, a RP (%) para o ciclo da cana-de-açúcar sob condição de déficit hídrico controlado (I. DEF) mantiveram-se próximas a 12% ($ky=1,2$), sendo menores a medida que as CAD's foram aumentadas (Tabelas 27 e 28). Já, na condição de sequeiro (SEQ), observaram-se RP's superiores a 50% para a CAD de 50 $mm.m^{-1}$, independente das épocas de início do ciclo, e tendência de redução da RP à medida aumentaram-se as CAD's (Tabelas 30 e 31). Os menores valores de RP, nesta condição, foram observados para a época 2 (01/07). Para a RPA, na condição de I. DEF observaram-se variações entre 14,7 e 22,5 % em função das épocas e CAD's (Tabela 29). Já, na condição de sequeiro (SEQ) as variações observadas foram de 37,1 a 85% (Tabela 32).

Nas figuras a seguir (Figura 120 a 125), observam-se as variações, em função das diferentes capacidades relativas de água disponível no solo (CAD's), e a variabilidade, em função dos anos de dados simulados (31 anos), das *reduções da evapotranspiração da cultura* (RET_c , %) em cada uma das fases de crescimento e desenvolvimento da cultura (A - inicial; B - desenvolvimento; C - intermediária e D - final) e para o ciclo (T), respectivamente, para os diferentes critérios/enfoques do manejo da irrigação e épocas de início do ciclo.

Figura 121 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) na fase inicial (A)

Figura 122 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) na fase de desenvolvimento (B)

Figura 123 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) na fase intermediária (C)

Figura 124 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) na fase final (D)

Figura 125 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) no ciclo total (T)

Da mesma forma, nas figuras 126 a 130, estão ilustradas as *reduções da produtividade esperada da cultura (RP, %)* para cada uma das fases de crescimento e desenvolvimento (A - inicial; B - desenvolvimento; C - intermediária e D - final) e para o ciclo (T), respectivamente.

Figura 126 - Redução da produtividade na fase inicial (A)

Figura 127 - Redução da produtividade na fase de desenvolvimento (B)

Figura 128 - Redução da produtividade na fase intermediária (C)

Figura 129 - Redução da produtividade na fase final (D)

Figura 130 - Redução da produtividade no ciclo total (T)

Por fim, nas figuras 131 a 134, estão ilustradas as *reduções da produtividade acumulada (RPA, %)*.

Figura 131 - Redução da produtividade acumulada na fase inicial (A)

Figura 132 - Redução da produtividade acumulada na fase de desenvolvimento (B)

Figura 133 - Redução da produtividade acumulada na fase intermediária (C)

Figura 134 - Redução da produtividade acumulada na fase final (D)

Já, para o **critério de irrigação com déficit (I. DEF)**, os valores de *redução da evapotranspiração da cultura (RET_c , %)*, *redução da produtividade (RP , %)* e *redução da produtividade acumulada (RPA , %)* nas diferentes fases de crescimento e desenvolvimento da cultura: (A) inicial; (B) desenvolvimento; (C) intermediária e (D) final, bem como, no período/ciclo total (T), com base nos anos determinados em função da probabilidade teórica “atingível” dos valores de PPT acumulados no período anual (PT) e período seco (PS) (ANPS, ANPT, ASPS, ASPT, AUPT e AUT), nos dois níveis de probabilidade de “não-superação” da ETo (50 e 80%), respectivamente, são apresentados nas Tabelas 33 e 34.

Tabela 33 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) (RETc, %), redução da produtividade (RP, %) e redução da produtividade acumulada (RPA, %), **I. DEF**, para as simulações dos anos contrastantes, **ETo-50%**

Continua...

Ano	EP	CAD	RETc (%)					RP (%)					RPA (%)			
			A	B	C	D	T	A	B	C	D	T	A	B	C	D
ANPS	01/04	50	4.4	12.7	11.9	8.5	10.9	2.2	9.6	14.2	0.9	13.1	2.2	11.5	24.1	24.8
ANPS	01/04	100	0.0	9.3	9.4	8.2	8.8	0.0	6.9	11.3	0.8	10.6	0.0	6.9	17.5	18.2
ANPS	01/04	150	0.0	8.8	8.2	14.1	9.5	0.0	6.6	9.8	1.4	11.4	0.0	6.6	15.8	17.0
ANPS	01/07	50	0.6	9.3	11.3	14.2	11.4	0.3	6.9	13.6	1.4	13.7	0.3	7.2	19.8	21.0
ANPS	01/07	100	0.0	4.8	11.6	11.1	10.2	0.0	3.6	13.9	1.1	12.3	0.0	3.6	17.1	18.0
ANPS	01/07	150	0.0	1.4	10.4	15.6	10.0	0.0	1.1	12.5	1.6	12.0	0.0	1.1	13.5	14.8
ANPS	01/10	50	0.0	9.8	12.6	8.3	10.6	0.0	7.4	15.1	0.8	12.8	0.0	7.4	21.4	22.0
ANPS	01/10	100	0.0	0.0	12.8	8.5	9.4	0.0	0.0	15.3	0.8	11.3	0.0	0.0	15.3	16.0
ANPS	01/10	150	0.0	0.0	12.2	7.9	8.9	0.0	0.0	14.6	0.8	10.7	0.0	0.0	14.6	15.3
ANPT	01/04	50	0.0	11.0	11.5	11.6	11.2	0.0	8.2	13.8	1.2	13.4	0.0	8.2	20.9	21.8
ANPT	01/04	100	0.0	13.2	10.2	12.1	10.7	0.0	9.9	12.2	1.2	12.9	0.0	9.9	20.9	21.9
ANPT	01/04	150	0.0	0.6	9.0	3.9	6.6	0.0	0.4	10.8	0.4	7.9	0.0	0.4	11.1	11.5
ANPT	01/07	50	0.0	12.6	10.9	11.0	10.9	0.0	9.4	13.1	1.1	13.1	0.0	9.4	21.3	22.2
ANPT	01/07	100	0.0	9.5	10.8	10.3	10.3	0.0	7.1	13.0	1.0	12.3	0.0	7.1	19.2	20.0
ANPT	01/07	150	0.0	11.5	9.8	10.8	10.0	0.0	8.6	11.8	1.1	12.0	0.0	8.6	19.4	20.3
ANPT	01/10	50	0.0	7.5	11.9	12.4	11.0	0.0	5.7	14.3	1.2	13.2	0.0	5.7	19.1	20.1
ANPT	01/10	100	0.0	0.0	13.1	10.7	10.2	0.0	0.0	15.7	1.1	12.3	0.0	0.0	15.7	16.6
ANPT	01/10	150	0.0	0.0	11.8	10.2	9.3	0.0	0.0	14.2	1.0	11.2	0.0	0.0	14.2	15.1
ASPS	01/04	50	6.3	13.0	12.3	11.0	11.9	3.1	9.7	14.8	1.1	14.3	3.1	12.6	25.5	26.3
ASPS	01/04	100	0.0	12.8	11.2	10.1	10.8	0.0	9.6	13.4	1.0	12.9	0.0	9.6	21.7	22.5
ASPS	01/04	150	0.0	9.5	9.2	12.4	9.8	0.0	7.1	11.1	1.2	11.7	0.0	7.1	17.4	18.5
ASPS	01/07	50	2.3	10.7	12.6	11.8	11.9	1.2	8.0	15.1	1.2	14.2	1.2	9.1	22.8	23.7
ASPS	01/07	100	0.0	6.4	10.9	13.8	10.6	0.0	4.8	13.1	1.4	12.7	0.0	4.8	17.3	18.4
ASPS	01/07	150	0.0	9.2	10.1	12.6	10.3	0.0	6.9	12.2	1.3	12.3	0.0	6.9	18.2	19.3
ASPS	01/10	50	0.0	13.1	12.4	10.5	11.6	0.0	9.8	14.9	1.1	13.9	0.0	9.8	23.3	24.1
ASPS	01/10	100	0.0	2.3	12.9	10.5	10.3	0.0	1.7	15.5	1.0	12.4	0.0	1.7	16.9	17.8
ASPS	01/10	150	0.0	0.0	12.4	9.2	9.4	0.0	0.0	14.9	0.9	11.3	0.0	0.0	14.9	15.7
ASPT	01/04	50	0.0	12.8	11.3	12.0	11.3	0.0	9.6	13.5	1.2	13.5	0.0	9.6	21.8	22.8
ASPT	01/04	100	0.0	10.6	10.1	10.8	10.0	0.0	8.0	12.1	1.1	12.0	0.0	8.0	19.1	20.0
ASPT	01/04	150	0.0	4.5	11.1	11.3	10.2	0.0	3.4	13.3	1.1	12.2	0.0	3.4	16.2	17.2
ASPT	01/07	50	0.0	13.1	10.6	13.1	11.2	0.0	9.8	12.7	1.3	13.5	0.0	9.8	21.3	22.3
ASPT	01/07	100	0.0	11.7	10.1	10.6	10.2	0.0	8.8	12.1	1.1	12.2	0.0	8.8	19.8	20.6
ASPT	01/07	150	0.0	9.8	9.7	12.7	10.1	0.0	7.4	11.6	1.3	12.1	0.0	7.4	18.1	19.2
ASPT	01/10	50	0.0	9.1	12.8	11.3	11.4	0.0	6.8	15.3	1.1	13.7	0.0	6.8	21.1	22.0
ASPT	01/10	100	0.0	1.1	12.6	12.7	10.6	0.0	0.8	15.1	1.3	12.7	0.0	0.8	15.9	16.9
ASPT	01/10	150	0.0	0.0	12.1	13.6	10.4	0.0	0.0	14.5	1.4	12.4	0.0	0.0	14.5	15.7
AUPS	01/04	50	2.9	13.7	11.2	8.7	10.6	1.4	10.3	13.5	0.9	12.8	1.4	11.6	23.5	24.2
AUPS	01/04	100	0.0	8.8	8.4	9.8	8.6	0.0	6.6	10.1	1.0	10.3	0.0	6.6	16.1	16.9
AUPS	01/04	150	0.0	9.4	7.0	2.0	5.8	0.0	7.1	8.4	0.2	7.0	0.0	7.1	14.9	15.0

Tabela 33 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) (RETc, %), redução da produtividade (RP, %) e redução da produtividade acumulada (RPA, %), **I. DEF**, para as simulações dos anos contrastantes, **ETo-50%**

Ano	EP	CAD	RETc (%)					RP (%)					RPA (%)				Conclusão
			A	B	C	D	T	A	B	C	D	T	A	B	C	D	
AUPS	01/07	50	0.0	7.5	11.3	13.9	11.1	0.0	5.6	13.6	1.4	13.3	0.0	5.6	18.5	19.6	
AUPS	01/07	100	0.0	6.3	10.2	14.2	10.3	0.0	4.7	12.3	1.4	12.3	0.0	4.7	16.4	17.6	
AUPS	01/07	150	0.0	0.0	9.9	16.3	9.7	0.0	0.0	11.9	1.6	11.6	0.0	0.0	11.9	13.4	
AUPS	01/10	50	0.0	7.7	12.6	8.8	10.5	0.0	5.8	15.1	0.9	12.6	0.0	5.8	20.0	20.7	
AUPS	01/10	100	0.0	0.0	12.5	9.5	9.5	0.0	0.0	15.0	1.0	11.4	0.0	0.0	15.0	15.8	
AUPS	01/10	150	0.0	0.0	12.7	8.9	9.5	0.0	0.0	15.2	0.9	11.4	0.0	0.0	15.2	16.0	
AUPT	01/04	50	0.0	10.3	11.3	10.5	10.7	0.0	7.7	13.5	1.1	12.8	0.0	7.7	20.2	21.1	
AUPT	01/04	100	0.0	11.8	10.0	9.1	9.7	0.0	8.9	11.9	0.9	11.6	0.0	8.9	19.7	20.5	
AUPT	01/04	150	0.0	0.2	8.3	1.5	5.5	0.0	0.2	9.9	0.2	6.6	0.0	0.2	10.1	10.2	
AUPT	01/07	50	0.0	14.5	10.4	11.8	11.0	0.0	10.9	12.4	1.2	13.2	0.0	10.9	22.0	22.9	
AUPT	01/07	100	0.0	8.7	10.0	12.1	10.0	0.0	6.6	12.0	1.2	12.0	0.0	6.6	17.8	18.8	
AUPT	01/07	150	0.0	12.1	8.0	16.2	10.1	0.0	9.1	9.6	1.6	12.2	0.0	9.1	17.8	19.1	
AUPT	01/10	50	0.0	4.8	12.7	11.8	10.9	0.0	3.6	15.3	1.2	13.1	0.0	3.6	18.3	19.3	
AUPT	01/10	100	0.0	0.0	12.2	12.5	10.2	0.0	0.0	14.7	1.3	12.2	0.0	0.0	14.7	15.7	
AUPT	01/10	150	0.0	0.0	12.6	11.7	10.2	0.0	0.0	15.2	1.2	12.2	0.0	0.0	15.2	16.1	

Tabela 34 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) (RETc, %), redução da produtividade (RP, %) e redução da produtividade acumulada (RPA, %), **I. DEF**, para as simulações dos anos contrastantes, **ETo-80%** Continua...

Ano	EP	CAD	RETc (%)					RP (%)					RPA (%)			
			A	B	C	D	T	A	B	C	D	T	A	B	C	D
ANPS	01/04	50	8.8	11.9	11.9	10.9	11.5	4.4	8.9	14.2	1.1	13.8	4.4	13.0	25.4	26.2
ANPS	01/04	100	0.0	13.5	9.8	10.6	10.1	0.0	10.1	11.7	1.1	12.1	0.0	10.1	20.7	21.5
ANPS	01/04	150	0.0	8.0	9.2	8.3	8.6	0.0	6.0	11.1	0.8	10.4	0.0	6.0	16.4	17.1
ANPS	01/07	50	2.2	10.9	11.7	13.2	11.7	1.1	8.2	14.1	1.3	14.0	1.1	9.2	21.9	23.0
ANPS	01/07	100	0.0	4.1	11.4	11.7	10.2	0.0	3.1	13.7	1.2	12.2	0.0	3.1	16.3	17.3
ANPS	01/07	150	0.0	8.3	10.8	9.9	10.0	0.0	6.2	13.0	1.0	12.0	0.0	6.2	18.4	19.2
ANPS	01/10	50	0.0	13.1	11.6	9.9	11.0	0.0	9.8	14.0	1.0	13.2	0.0	9.8	22.4	23.2
ANPS	01/10	100	0.0	1.5	13.4	7.3	9.7	0.0	1.2	16.1	0.7	11.6	0.0	1.2	17.1	17.7
ANPS	01/10	150	0.0	0.0	13.4	8.3	9.7	0.0	0.0	16.1	0.8	11.6	0.0	0.0	16.1	16.8
ANPT	01/04	50	0.0	13.4	11.1	12.3	11.3	0.0	10.1	13.3	1.2	13.6	0.0	10.1	22.1	23.0
ANPT	01/04	100	0.0	12.2	9.7	10.0	9.8	0.0	9.1	11.6	1.0	11.7	0.0	9.1	19.7	20.5
ANPT	01/04	150	0.0	2.6	11.6	11.6	10.4	0.0	1.9	13.9	1.2	12.5	0.0	1.9	15.6	16.6
ANPT	01/07	50	0.0	12.4	11.3	10.7	11.1	0.0	9.3	13.6	1.1	13.3	0.0	9.3	21.6	22.5
ANPT	01/07	100	0.0	10.4	10.2	9.6	9.9	0.0	7.8	12.3	1.0	11.9	0.0	7.8	19.1	19.9
ANPT	01/07	150	0.0	10.0	9.4	13.3	10.0	0.0	7.5	11.2	1.3	12.1	0.0	7.5	17.9	19.0
ANPT	01/10	50	0.0	8.9	12.7	13.2	11.8	0.0	6.7	15.2	1.3	14.2	0.0	6.7	20.9	21.9
ANPT	01/10	100	0.0	1.6	12.9	12.2	10.6	0.0	1.2	15.5	1.2	12.8	0.0	1.2	16.5	17.5
ANPT	01/10	150	0.0	0.0	12.7	13.0	10.5	0.0	0.0	15.2	1.3	12.6	0.0	0.0	15.2	16.3
ASPS	01/04	50	11.1	10.0	12.7	10.3	11.8	5.6	7.5	15.3	1.0	14.2	5.6	12.7	26.0	26.7
ASPS	01/04	100	0.0	12.8	10.8	8.5	10.1	0.0	9.6	13.0	0.8	12.1	0.0	9.6	21.3	22.0
ASPS	01/04	150	0.0	8.7	11.6	9.4	10.4	0.0	6.5	13.9	0.9	12.5	0.0	6.5	19.5	20.3
ASPS	01/07	50	4.6	12.0	12.0	12.4	11.9	2.3	9.0	14.5	1.2	14.3	2.3	11.1	24.0	24.9
ASPS	01/07	100	0.0	12.3	9.7	12.4	10.4	0.0	9.2	11.6	1.2	12.4	0.0	9.2	19.7	20.7
ASPS	01/07	150	0.0	6.9	10.8	12.2	10.3	0.0	5.2	13.0	1.2	12.3	0.0	5.2	17.5	18.5
ASPS	01/10	50	0.0	12.4	12.2	12.4	11.8	0.0	9.3	14.6	1.2	14.2	0.0	9.3	22.6	23.5
ASPS	01/10	100	0.0	13.5	10.4	11.3	10.7	0.0	10.1	12.5	1.1	12.9	0.0	10.1	21.4	22.3
ASPS	01/10	150	0.0	2.8	12.6	7.8	9.5	0.0	2.1	15.1	0.8	11.4	0.0	2.1	16.9	17.5
ASPT	01/04	50	0.0	12.9	12.1	12.8	12.1	0.0	9.7	14.6	1.3	14.5	0.0	9.7	22.9	23.8
ASPT	01/04	100	0.0	10.1	10.5	11.7	10.5	0.0	7.6	12.6	1.2	12.6	0.0	7.6	19.2	20.1
ASPT	01/04	150	0.0	9.2	10.0	9.2	9.5	0.0	6.9	12.0	0.9	11.4	0.0	6.9	18.1	18.9
ASPT	01/07	50	0.0	13.7	11.4	12.0	11.6	0.0	10.3	13.6	1.2	13.9	0.0	10.3	22.5	23.4
ASPT	01/07	100	0.0	11.1	10.8	9.5	10.3	0.0	8.3	13.0	1.0	12.4	0.0	8.3	20.2	21.0
ASPT	01/07	150	0.0	8.9	11.1	8.2	9.9	0.0	6.7	13.3	0.8	11.9	0.0	6.7	19.1	19.8
ASPT	01/10	50	0.0	9.0	12.2	12.5	11.4	0.0	6.8	14.7	1.3	13.7	0.0	6.8	20.5	21.5
ASPT	01/10	100	0.0	5.4	12.5	11.6	10.8	0.0	4.1	15.0	1.2	13.0	0.0	4.1	18.4	19.4
ASPT	01/10	150	0.0	0.0	13.3	10.4	10.2	0.0	0.0	16.0	1.0	12.2	0.0	0.0	16.0	16.8
AUPS	01/04	50	6.9	12.9	11.8	9.3	11.1	3.5	9.7	14.1	0.9	13.3	3.5	12.8	25.1	25.8
AUPS	01/04	100	0.0	14.3	8.7	9.0	9.1	0.0	10.7	10.5	0.9	10.9	0.0	10.7	20.1	20.8
AUPS	01/04	150	0.0	8.6	8.1	13.5	9.3	0.0	6.4	9.7	1.3	11.2	0.0	6.4	15.5	16.7

Tabela 34 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) (RETc, %), redução da produtividade (RP, %) e redução da produtividade acumulada (RPA, %), **I. DEF**, para as simulações dos anos contrastantes, **ETo-80%** Conclusão

Ano	EP	CAD	RETc (%)					RP (%)					RPA (%)			
			A	B	C	D	T	A	B	C	D	T	A	B	C	D
AUPS	01/07	50	0.6	9.9	11.6	12.9	11.4	0.3	7.4	13.9	1.3	13.6	0.3	7.7	20.5	21.6
AUPS	01/07	100	0.0	4.7	11.1	11.4	10.0	0.0	3.5	13.4	1.1	12.0	0.0	3.5	16.4	17.4
AUPS	01/07	150	0.0	0.6	10.8	14.7	9.9	0.0	0.5	13.0	1.5	11.9	0.0	0.5	13.4	14.6
AUPS	01/10	50	0.0	11.9	11.8	9.4	10.8	0.0	8.9	14.2	0.9	12.9	0.0	8.9	21.8	22.6
AUPS	01/10	100	0.0	0.0	13.9	8.1	9.9	0.0	0.0	16.7	0.8	11.9	0.0	0.0	16.7	17.4
AUPS	01/10	150	0.0	0.0	12.4	7.8	9.0	0.0	0.0	14.9	0.8	10.8	0.0	0.0	14.9	15.6
AUPT	01/04	50	0.0	13.5	11.1	12.4	11.4	0.0	10.2	13.3	1.2	13.6	0.0	10.2	22.1	23.0
AUPT	01/04	100	0.0	13.1	9.4	10.3	9.8	0.0	9.8	11.3	1.0	11.7	0.0	9.8	20.0	20.8
AUPT	01/04	150	0.0	1.8	10.9	9.7	9.4	0.0	1.3	13.1	1.0	11.3	0.0	1.3	14.3	15.1
AUPT	01/07	50	0.0	11.9	11.1	11.4	11.0	0.0	8.9	13.3	1.1	13.2	0.0	8.9	21.1	22.0
AUPT	01/07	100	0.0	11.3	10.3	10.4	10.2	0.0	8.5	12.3	1.0	12.2	0.0	8.5	19.7	20.6
AUPT	01/07	150	0.0	10.0	9.0	14.5	10.1	0.0	7.5	10.8	1.4	12.1	0.0	7.5	17.5	18.7
AUPT	01/10	50	0.0	8.3	12.0	14.0	11.6	0.0	6.2	14.4	1.4	13.9	0.0	6.2	19.8	20.9
AUPT	01/10	100	0.0	0.4	13.6	10.9	10.5	0.0	0.3	16.3	1.1	12.6	0.0	0.3	16.5	17.5
AUPT	01/10	150	0.0	0.0	13.1	9.0	9.7	0.0	0.0	15.7	0.9	11.6	0.0	0.0	15.7	16.4

Da mesma forma, porém **na condição de sequeiro (SEQ.)**, os valores de *redução da evapotranspiração da cultura (RETc, %)*, *redução da produtividade (RP, %)* e *redução da produtividade acumulada (RPA, %)* nas diferentes fases de crescimento e desenvolvimento da cultura: (A) inicial; (B) desenvolvimento; (C) intermediária e (D) final, bem como, no período/ciclo total (T), nos dois níveis de probabilidade de “não-superação” da ETo (50 e 80%), respectivamente, são apresentados nas Tabelas 35 e 36.

Tabela 35 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) (RETc, %), redução da produtividade (RP, %) e redução da produtividade acumulada (RPA, %), **SEQ.**, para as simulações dos anos contrastantes, **ETo-50%** Continua...

Ano	EP	CAD	RETc (%)					RP (%)					RPA (%)			
			A	B	C	D	T	A	B	C	D	T	A	B	C	D
ANPS	01/04	50	4.4	77.7	50.9	28.0	46.6	2.2	58.3	61.0	2.8	56.0	2.2	59.2	84.1	84.6
ANPS	01/04	100	0.0	53.0	48.5	22.8	41.2	0.0	39.7	58.2	2.3	49.5	0.0	39.7	74.8	75.4
ANPS	01/04	150	0.0	29.4	48.4	17.2	37.3	0.0	22.1	58.0	1.7	44.8	0.0	22.1	67.3	67.9
ANPS	01/07	50	0.6	29.7	35.2	75.2	42.2	0.3	22.3	42.2	7.5	50.7	0.3	22.5	55.2	58.6
ANPS	01/07	100	0.0	14.1	30.4	63.2	34.4	0.0	10.6	36.5	6.3	41.3	0.0	10.6	43.2	46.8
ANPS	01/07	150	0.0	1.4	26.7	53.1	28.2	0.0	1.1	32.0	5.3	33.8	0.0	1.1	32.7	36.3
ANPS	01/10	50	0.0	9.8	55.8	65.5	50.0	0.0	7.4	67.0	6.6	60.0	0.0	7.4	69.4	71.4
ANPS	01/10	100	0.0	0.0	48.6	67.0	44.9	0.0	0.0	58.4	6.7	53.9	0.0	0.0	58.4	61.2
ANPS	01/10	150	0.0	0.0	40.2	68.6	40.6	0.0	0.0	48.3	6.9	48.7	0.0	0.0	48.3	51.8
ANPT	01/04	50	0.0	36.4	52.1	22.1	41.6	0.0	27.3	62.5	2.2	49.9	0.0	27.3	72.7	73.3
ANPT	01/04	100	0.0	13.2	47.5	12.1	33.9	0.0	9.9	57.0	1.2	40.6	0.0	9.9	61.3	61.7
ANPT	01/04	150	0.0	0.6	45.5	3.9	29.3	0.0	0.4	54.6	0.4	35.1	0.0	0.4	54.8	55.0
ANPT	01/07	50	0.0	55.0	30.5	48.9	37.2	0.0	41.2	36.6	4.9	44.6	0.0	41.2	62.7	64.6
ANPT	01/07	100	0.0	35.5	22.5	47.6	29.2	0.0	26.6	27.0	4.8	35.1	0.0	26.6	46.4	49.0
ANPT	01/07	150	0.0	18.2	18.6	46.8	24.2	0.0	13.6	22.3	4.7	29.0	0.0	13.6	32.9	36.0
ANPT	01/10	50	0.0	7.5	44.6	72.3	45.1	0.0	5.7	53.5	7.2	54.1	0.0	5.7	56.2	59.3
ANPT	01/10	100	0.0	0.0	39.8	71.9	41.2	0.0	0.0	47.8	7.2	49.5	0.0	0.0	47.8	51.5
ANPT	01/10	150	0.0	0.0	35.0	71.9	38.5	0.0	0.0	42.0	7.2	46.2	0.0	0.0	42.0	46.2
ASPS	01/04	50	6.3	85.7	68.3	52.1	64.3	3.1	64.3	81.9	5.2	77.2	3.1	65.4	93.8	94.1
ASPS	01/04	100	0.0	60.3	68.4	53.0	61.8	0.0	45.2	82.0	5.3	74.2	0.0	45.2	90.2	90.7
ASPS	01/04	150	0.0	35.5	68.4	53.1	59.3	0.0	26.6	82.1	5.3	71.2	0.0	26.6	86.8	87.5
ASPS	01/07	50	2.3	54.0	57.9	79.4	60.6	1.2	40.5	69.5	7.9	72.7	1.2	41.2	82.1	83.5
ASPS	01/07	100	0.0	37.2	57.7	70.7	56.1	0.0	27.9	69.2	7.1	67.4	0.0	27.9	77.8	79.4
ASPS	01/07	150	0.0	20.9	57.3	69.4	53.3	0.0	15.6	68.8	6.9	64.0	0.0	15.6	73.7	75.5
ASPS	01/10	50	0.0	22.3	69.6	76.2	62.3	0.0	16.8	83.6	7.6	74.8	0.0	16.8	86.3	87.4
ASPS	01/10	100	0.0	2.3	65.0	78.2	57.4	0.0	1.7	78.0	7.8	68.9	0.0	1.7	78.4	80.1
ASPS	01/10	150	0.0	0.0	60.4	80.2	55.0	0.0	0.0	72.5	8.0	66.0	0.0	0.0	72.5	74.7
ASPT	01/04	50	0.0	46.9	59.7	35.3	50.6	0.0	35.2	71.6	3.5	60.8	0.0	35.2	81.6	82.2
ASPT	01/04	100	0.0	22.1	58.7	24.2	44.7	0.0	16.6	70.5	2.4	53.7	0.0	16.6	75.4	76.0
ASPT	01/04	150	0.0	4.5	57.6	17.1	40.5	0.0	3.4	69.1	1.7	48.5	0.0	3.4	70.1	70.6
ASPT	01/07	50	0.0	67.0	40.2	63.2	47.9	0.0	50.2	48.2	6.3	57.5	0.0	50.2	74.2	75.8
ASPT	01/07	100	0.0	47.0	35.0	62.6	41.8	0.0	35.2	41.9	6.3	50.1	0.0	35.2	62.4	64.7
ASPT	01/07	150	0.0	28.3	32.4	62.0	37.4	0.0	21.2	38.8	6.2	44.9	0.0	21.2	51.8	54.8
ASPT	01/10	50	0.0	14.4	56.9	81.7	55.4	0.0	10.8	68.3	8.2	66.5	0.0	10.8	71.7	74.0
ASPT	01/10	100	0.0	1.1	51.5	81.2	50.4	0.0	0.8	61.8	8.1	60.5	0.0	0.8	62.1	65.2
ASPT	01/10	150	0.0	0.0	46.5	81.2	47.4	0.0	0.0	55.8	8.1	56.9	0.0	0.0	55.8	59.4
AUPS	01/04	50	2.9	77.1	43.5	19.8	39.9	1.4	57.8	52.2	2.0	47.9	1.4	58.4	80.1	80.5
AUPS	01/04	100	0.0	51.9	39.3	9.8	32.2	0.0	39.0	47.2	1.0	38.6	0.0	39.0	67.8	68.1
AUPS	01/04	150	0.0	28.5	39.5	2.0	27.9	0.0	21.4	47.4	0.2	33.5	0.0	21.4	58.6	58.7

Tabela 35 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) (RETc, %), redução da produtividade (RP, %) e redução da produtividade acumulada (RPA, %), **SEQ.**, para as simulações dos anos contrastantes, **ETo-50%** Conclusão

Ano	EP	CAD	RETc (%)					RP (%)					RPA (%)			
			A	B	C	D	T	A	B	C	D	T	A	B	C	D
AUPS	01/07	50	0.0	24.9	25.6	74.7	35.5	0.0	18.7	30.7	7.5	42.6	0.0	18.7	43.7	47.9
AUPS	01/07	100	0.0	6.3	15.8	62.7	24.3	0.0	4.7	19.0	6.3	29.1	0.0	4.7	22.8	27.7
AUPS	01/07	150	0.0	0.0	9.9	50.4	17.1	0.0	0.0	11.9	5.0	20.5	0.0	0.0	11.9	16.4
AUPS	01/10	50	0.0	7.7	50.4	62.7	45.9	0.0	5.8	60.5	6.3	55.1	0.0	5.8	62.8	65.1
AUPS	01/10	100	0.0	0.0	41.1	62.8	39.6	0.0	0.0	49.4	6.3	47.5	0.0	0.0	49.4	52.5
AUPS	01/10	150	0.0	0.0	32.1	63.6	34.7	0.0	0.0	38.5	6.4	41.7	0.0	0.0	38.5	42.5
AUPT	01/04	50	0.0	34.6	49.4	18.7	38.9	0.0	25.9	59.3	1.9	46.7	0.0	25.9	69.9	70.4
AUPT	01/04	100	0.0	11.8	44.3	9.1	31.0	0.0	8.9	53.2	0.9	37.2	0.0	8.9	57.3	57.7
AUPT	01/04	150	0.0	0.2	41.5	1.5	26.2	0.0	0.2	49.8	0.2	31.4	0.0	0.2	49.9	50.0
AUPT	01/07	50	0.0	51.6	27.4	44.5	33.9	0.0	38.7	32.9	4.5	40.6	0.0	38.7	58.9	60.7
AUPT	01/07	100	0.0	32.3	18.9	42.3	25.4	0.0	24.2	22.7	4.2	30.5	0.0	24.2	41.4	43.9
AUPT	01/07	150	0.0	15.5	14.3	41.3	20.0	0.0	11.6	17.2	4.1	24.0	0.0	11.6	26.8	29.8
AUPT	01/10	50	0.0	4.8	41.0	69.4	41.9	0.0	3.6	49.2	6.9	50.3	0.0	3.6	51.1	54.5
AUPT	01/10	100	0.0	0.0	35.9	69.1	38.3	0.0	0.0	43.0	6.9	45.9	0.0	0.0	43.0	47.0
AUPT	01/10	150	0.0	0.0	31.1	69.1	35.6	0.0	0.0	37.3	6.9	42.7	0.0	0.0	37.3	41.7

Tabela 36 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) (RETc, %), redução da produtividade (RP, %) e redução da produtividade acumulada (RPA, %), **SEQ.**, para as simulações dos anos contrastantes, **ETo-80%**

Continua...

Ano	EP	CAD	RETc (%)					RP (%)					RPA (%)			
			A	B	C	D	T	A	B	C	D	T	A	B	C	D
ANPS	01/04	50	8.8	80.7	55.8	35.5	51.7	4.4	60.5	66.9	3.6	62.1	4.4	62.2	87.5	88.0
ANPS	01/04	100	0.0	58.8	53.1	34.4	47.4	0.0	44.1	63.7	3.4	56.9	0.0	44.1	79.7	80.4
ANPS	01/04	150	0.0	36.2	52.7	32.8	44.6	0.0	27.2	63.2	3.3	53.5	0.0	27.2	73.2	74.1
ANPS	01/07	50	2.2	35.4	43.6	76.8	48.4	1.1	26.6	52.3	7.7	58.1	1.1	27.4	65.3	68.0
ANPS	01/07	100	0.0	21.6	39.8	65.9	41.7	0.0	16.2	47.7	6.6	50.1	0.0	16.2	56.2	59.1
ANPS	01/07	150	0.0	8.3	38.0	59.7	37.5	0.0	6.2	45.6	6.0	45.0	0.0	6.2	49.0	52.0
ANPS	01/10	50	0.0	15.6	60.3	66.6	53.2	0.0	11.7	72.3	6.7	63.9	0.0	11.7	75.6	77.2
ANPS	01/10	100	0.0	1.5	55.1	68.1	48.6	0.0	1.2	66.1	6.8	58.3	0.0	1.2	66.5	68.7
ANPS	01/10	150	0.0	0.0	49.1	69.5	45.4	0.0	0.0	58.9	6.9	54.4	0.0	0.0	58.9	61.7
ANPT	01/04	50	0.0	39.9	55.7	30.1	46.1	0.0	29.9	66.8	3.0	55.3	0.0	29.9	76.8	77.5
ANPT	01/04	100	0.0	17.7	52.8	20.5	39.7	0.0	13.3	63.3	2.0	47.6	0.0	13.3	68.2	68.8
ANPT	01/04	150	0.0	2.6	51.4	12.8	35.4	0.0	1.9	61.7	1.3	42.5	0.0	1.9	62.4	62.9
ANPT	01/07	50	0.0	60.9	37.2	53.8	43.1	0.0	45.7	44.6	5.4	51.7	0.0	45.7	69.9	71.5
ANPT	01/07	100	0.0	43.4	30.8	52.9	36.4	0.0	32.5	36.9	5.3	43.7	0.0	32.5	57.4	59.7
ANPT	01/07	150	0.0	26.8	27.4	52.3	31.9	0.0	20.1	32.9	5.2	38.3	0.0	20.1	46.4	49.2
ANPT	01/10	50	0.0	13.7	50.2	75.0	49.4	0.0	10.3	60.2	7.5	59.2	0.0	10.3	64.3	67.0
ANPT	01/10	100	0.0	1.6	45.4	74.4	44.8	0.0	1.2	54.5	7.4	53.7	0.0	1.2	55.0	58.4
ANPT	01/10	150	0.0	0.0	41.2	74.3	42.1	0.0	0.0	49.4	7.4	50.5	0.0	0.0	49.4	53.2
ASPS	01/04	50	11.1	88.0	72.2	57.9	68.4	5.6	66.0	86.7	5.8	82.1	5.6	67.9	95.7	96.0
ASPS	01/04	100	0.0	65.8	72.2	58.9	66.2	0.0	49.3	86.6	5.9	79.5	0.0	49.3	93.2	93.6
ASPS	01/04	150	0.0	42.1	72.2	59.3	64.0	0.0	31.6	86.6	5.9	76.8	0.0	31.6	90.8	91.4
ASPS	01/07	50	4.6	59.6	63.7	81.5	65.4	2.3	44.7	76.5	8.1	78.5	2.3	46.0	87.3	88.3
ASPS	01/07	100	0.0	44.7	63.6	75.0	61.8	0.0	33.5	76.3	7.5	74.2	0.0	33.5	84.3	85.5
ASPS	01/07	150	0.0	29.6	63.5	73.8	59.4	0.0	22.2	76.2	7.4	71.2	0.0	22.2	81.5	82.8
ASPS	01/10	50	0.0	31.2	72.9	77.8	65.5	0.0	23.4	87.5	7.8	78.6	0.0	23.4	90.4	91.1
ASPS	01/10	100	0.0	13.5	70.3	79.6	61.9	0.0	10.1	84.4	8.0	74.3	0.0	10.1	86.0	87.1
ASPS	01/10	150	0.0	2.8	68.5	81.2	59.8	0.0	2.1	82.2	8.1	71.7	0.0	2.1	82.6	84.0
ASPT	01/04	50	0.0	51.5	62.8	42.5	54.8	0.0	38.6	75.3	4.3	65.8	0.0	38.6	84.9	85.5
ASPT	01/04	100	0.0	27.9	62.7	31.7	49.7	0.0	20.9	75.2	3.2	59.6	0.0	20.9	80.4	81.0
ASPT	01/04	150	0.0	9.2	62.1	31.7	47.5	0.0	6.9	74.5	3.2	57.0	0.0	6.9	76.3	77.0
ASPT	01/07	50	0.0	71.5	46.1	66.8	52.9	0.0	53.7	55.4	6.7	63.4	0.0	53.7	79.3	80.7
ASPT	01/07	100	0.0	53.7	42.2	66.3	47.8	0.0	40.3	50.6	6.6	57.4	0.0	40.3	70.5	72.5
ASPT	01/07	150	0.0	36.4	42.4	65.9	45.5	0.0	27.3	50.9	6.6	54.5	0.0	27.3	64.3	66.6
ASPT	01/10	50	0.0	21.1	60.9	83.4	58.7	0.0	15.8	73.1	8.3	70.4	0.0	15.8	77.4	79.3
ASPT	01/10	100	0.0	5.4	55.7	82.9	53.3	0.0	4.1	66.9	8.3	64.0	0.0	4.1	68.2	70.8
ASPT	01/10	150	0.0	0.0	51.5	82.8	50.1	0.0	0.0	61.8	8.3	60.1	0.0	0.0	61.8	65.0
AUPS	01/04	50	6.9	80.2	47.5	26.9	44.3	3.5	60.2	57.1	2.7	53.2	3.5	61.6	83.5	83.9
AUPS	01/04	100	0.0	57.9	44.4	20.7	38.4	0.0	43.4	53.3	2.1	46.1	0.0	43.4	73.6	74.1
AUPS	01/04	150	0.0	35.3	44.4	13.5	34.4	0.0	26.5	53.3	1.3	41.3	0.0	26.5	65.7	66.1

Tabela 36 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) (RETc, %), redução da produtividade (RP, %) e redução da produtividade acumulada (RPA, %), **SEQ.**, para as simulações dos anos contrastantes, **ETo-80%** Conclusão

Ano	EP	CAD	RETc (%)					RP (%)					RPA (%)			
			A	B	C	D	T	A	B	C	D	T	A	B	C	D
AUPS	01/07	50	0.6	28.9	33.4	76.4	40.9	0.3	21.6	40.1	7.6	49.1	0.3	21.9	53.2	56.8
AUPS	01/07	100	0.0	10.6	27.5	65.5	32.4	0.0	7.9	33.0	6.5	38.9	0.0	7.9	38.3	42.3
AUPS	01/07	150	0.0	0.6	23.1	55.6	26.2	0.0	0.5	27.7	5.6	31.4	0.0	0.5	28.1	32.1
AUPS	01/10	50	0.0	11.9	54.5	63.1	48.5	0.0	8.9	65.4	6.3	58.3	0.0	8.9	68.5	70.5
AUPS	01/10	100	0.0	0.0	48.3	62.7	43.2	0.0	0.0	58.0	6.3	51.9	0.0	0.0	58.0	60.6
AUPS	01/10	150	0.0	0.0	40.7	64.0	39.2	0.0	0.0	48.8	6.4	47.1	0.0	0.0	48.8	52.1
AUPT	01/04	50	0.0	37.9	53.3	26.7	43.5	0.0	28.5	63.9	2.7	52.3	0.0	28.5	74.2	74.9
AUPT	01/04	100	0.0	16.0	49.3	17.1	36.5	0.0	12.0	59.1	1.7	43.8	0.0	12.0	64.0	64.7
AUPT	01/04	150	0.0	1.8	47.8	9.7	32.3	0.0	1.3	57.4	1.0	38.7	0.0	1.3	57.9	58.3
AUPT	01/07	50	0.0	57.9	34.2	50.0	40.0	0.0	43.4	41.0	5.0	48.0	0.0	43.4	66.6	68.3
AUPT	01/07	100	0.0	40.5	27.0	48.1	32.6	0.0	30.4	32.4	4.8	39.2	0.0	30.4	52.9	55.2
AUPT	01/07	150	0.0	24.2	23.7	47.4	28.1	0.0	18.2	28.4	4.7	33.8	0.0	18.2	41.4	44.2
AUPT	01/10	50	0.0	11.1	46.7	72.3	46.4	0.0	8.3	56.1	7.2	55.6	0.0	8.3	59.7	62.6
AUPT	01/10	100	0.0	0.4	41.9	71.9	42.0	0.0	0.3	50.3	7.2	50.4	0.0	0.3	50.5	54.0
AUPT	01/10	150	0.0	0.0	37.7	71.7	39.5	0.0	0.0	45.3	7.2	47.4	0.0	0.0	45.3	49.2

Nas figuras a seguir (Figura 135 a 139), observam-se as variações, em função das diferentes capacidades relativas de água disponível no solo (CAD's), e a variabilidade, em função dos anos determinados com base em diferentes probabilidades teóricas “atingíveis” dos valores de PPT acumulados no período anual (PT) e período seco (PS) (ANPS, ANPT, ASPS, ASPT, AUPT e AUT), das *reduções da evapotranspiração da cultura (RETc, %)* em cada uma das fases de crescimento e desenvolvimento da cultura (A - inicial; B - desenvolvimento; C - intermediária e D - final) e para o ciclo (T), para os diferentes critérios/enfoques do manejo da irrigação e épocas de início do ciclo, nos dois níveis de probabilidade teórica de “não-superação” da ETo (50 e 80%), respectivamente.

1

2

Figura 135 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) na fase inicial (A), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%

1

2

Figura 136 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) na fase de desenvolvimento (B), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%

1

2

Figura 137 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) na fase intermediária (C), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%

1

2

Figura 138 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) na fase final (D), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%

1

2

Figura 139 - Redução da evapotranspiração (déficit de evapotranspiração) no ciclo total (T), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%

Da mesma forma, nas Figuras 140 a 144, observam-se as *reduções da produtividade esperada da cultura (RP, %)* para cada uma das fases de crescimento e desenvolvimento (A - inicial; B - desenvolvimento; C - intermediária e D - final) e para o ciclo (T), respectivamente.

Figura 140 - Redução da produtividade na fase inicial (A), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%

1

2

Figura 141 - Redução da produtividade na fase de desenvolvimento (B), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%

1

2

Figura 142 - Redução da produtividade na fase intermediária (C), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%

1

2

Figura 143 - Redução da produtividade na fase final (D), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%

1

2

Figura 144 - Redução da produtividade no ciclo total (T), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%

Por fim, nas Figuras 145 a 148, estão ilustradas as *reduções da produtividade acumuladas (RPA, %)*.

1

2

Figura 145 - Redução da produtividade acumulada na fase inicial (A), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%

1

2

Figura 146 - Redução da produtividade acumulada na fase de desenvolvimento (B), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%

1

2

Figura 147 - Redução da produtividade acumulada na fase intermediária (C), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%

1

2

Figura 148 - Redução da produtividade acumulada na fase final (D), (1) ETo-50% e (2) ETo-80%

4.5 Vazões de outorga: Módulo “Scheme” do CROPWAT e Planilha-ANA

Nas Figuras 149 a 152, respectivamente, estão ilustrados graficamente os valores das vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), no **critério de irrigação suplementar**, calculadas em função das diferentes metodologias abordadas (CROPWAT 8.0: simulações ano-a-ano e simulações dos anos com diferentes probabilidades dos valores de PPT: ANPS, ANPT, ASPS, ASPT, AUPT e AUT e dois níveis de ETo: 50 e 80%; e Planilha-ANA) para a área cultivada na época 1 - 01/04 (10 mil ha).

Figura 149 - Dispersão dos valores das vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), simulações ano-a-ano (31 anos), ÉPOCA 1 (10 mil ha); I. SUP

Figura 150 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) com diferentes probabilidades teóricas de “não-superação”, ÉPOCA 1 (10 mil ha); I. SUP

Figura 151 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) para os anos contrastantes, **ÉPOCA 1** (10 mil ha); **I. SUP**

Figura 152 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), Planilha-ANA, **ÉPOCA 1** (10 mil ha); **I. SUP**

Já, na tabela 37, são apresentados, numericamente, os valores mensais das vazões de outorga para a área cultivada na *época 1 - 01/04* no **critério/enfoque de manejo da irrigação suplementar (I. SUP)**, bem como as razões percentuais entre os valores obtidos na “Planilha-ANA” e nas demais metodologias (metodologia ano-a-ano: 31 anos, com probabilidade teórica de “não-superação” igual a 80%, e para os ASPT e ASPs com nível de ETo igual a 80% de probabilidade teórica de “não-superação”), possibilitando-se assim a comparação dos resultados obtidos.

Tabela 37 - Vazões outorgáveis calculadas pela Planilha-ANA, ano-a-ano com probabilidade teórica de “não-superação” de 80%, ano seco período total (anual) e ano seco período seco (abril a setembro) com nível de ETo de 80% de probabilidade teórica de “não-superação”; Razões percentuais entre “Planilha-ANA” e metodologias propostas; **Irrigação Suplementar; Época 1**

Mês	ANA	AA (80%)	ASPT(80%)	ASPS(80%)
Q_ÉPOCA1 (m³.s⁻¹)				
Jan	1.40	2.30	2.50	5.30
Fev	1.40	2.60	3.80	3.50
Mar	0.70	2.00	3.40	2.40
Abr	0.00	1.20	1.00	1.90
Mai	2.00	2.00	1.60	2.80
Jun	4.50	4.30	3.90	4.00
Jul	5.80	5.70	5.50	5.90
Ago	7.10	7.10	6.20	7.00
Set	6.60	7.20	6.50	5.30
Out	4.80	5.80	4.90	6.30
Nov	3.90	4.40	4.70	6.50
Dez	2.00	3.40	4.40	4.90
Razões Percentuais (%) - Base "Planilha-ANA"				
Jan	100.0	60.9	56.0	26.4
Fev	100.0	53.8	36.8	40.0
Mar	100.0	35.0	20.6	29.2
Abr	-	0.0	0.0	0.0
Mai	100.0	100.0	125.0	71.4
Jun	100.0	104.7	115.4	112.5
Jul	100.0	101.8	105.5	98.3
Ago	100.0	100.0	114.5	101.4
Set	100.0	91.7	101.5	124.5
Out	100.0	82.8	98.0	76.2
Nov	100.0	88.6	83.0	60.0
Dez	100.0	58.8	45.5	40.8

Evidencia-se que, durante o período compreendido entre os meses de abril a setembro onde se registram menores acumulados em termos de precipitações pluviais (período seco), a metodologia de cálculo proposta pela ANA (Planilha-ANA) (ANA, 2013) quando comparada a análise ano-a-ano com 80% de probabilidade de “não-superação” (condição ideal), atende as necessidades de projeto, conforme pode-se visualizar nas razões percentuais (%).

Contudo, evidencia-se também que, durante o período onde se concentram as precipitações pluviais (outubro a março), a metodologia proposta pela ANA tende a subestimar os valores mensais das vazões outorgáveis, uma vez que esta não dispõe de um critério adequado que considere as variações anuais deste elemento meteorológico (simulações ano-a-ano), limitando a outorga a uma condição média “provável”. Assim, em anos atípicos com precipitações abaixo desta condição, podem ocorrer restrições hídricas à cultura por limitação de captação, mesmo tendo-se vazões na fonte de captação (corpos hídricos) significativamente acima da condição crítica (período seco).

Entretanto, diante da morosidade da análise de séries históricas, ano-a-ano, é compreensível que se busque facilitar as estimativas das vazões de captação demandadas, visando facilitar o processo de outorga. Desta forma, na metodologia alternativa proposta pela FAO (simulações dos anos com diferentes probabilidades teóricas de valores “atingíveis” de PPT acumulada anual: ASPT, AUPT e AUT) e na metodologia aqui proposta (ANPS, ANPT, ASPS), buscou-se caracterizar essa variabilidade através de uma análise prévia e simplificada das séries históricas, determinando-se assim diferentes condições contrastantes (anos úmidos e secos). Assim, como se pode observar na Tabela 37, estas estimativas se aproximam ou, muitas vezes, superam a condição “ideal” (AA, 80%), porém, devido à determinação dos anos não levar em consideração a distribuição dos acumulados (anual e período seco), pode-se ocorrer limitações em meses atípicos dentro do período considerado, caracterizando-se como uma limitação à metodologia.

Ainda, analisando-se os valores para a época 1 (01/04), observa-se que, como o início do ciclo da cana-soca coincide com o início do período com menores acumulados de precipitação pluvial (abril a setembro), os valores das vazões de outorga tenderam a aumentar à medida que a cultura se desenvolveu, apresentando, de maneira geral, os maiores valores na segunda metade deste período (julho, agosto e setembro). Vale ressaltar que, apesar da tendência de redução dos valores de evapotranspiração de referência (ET_o) neste período (Figura 30), a cultura encontrava-se na fase intermediária, onde os valores do coeficiente de cultura (k_c) são máximos.

Nas Figuras 153 a 156, respectivamente, estão ilustrados graficamente os valores das vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) no **critério de irrigação suplementar**, calculados em função das diferentes metodologias abordadas (*CROPWAT 8.0*: simulações ano-a-ano e simulações dos anos com diferentes probabilidades dos valores de PPT: ANPS, ANPT, ASPS, ASPT, AUPT e AUT e dois níveis de ET_o: 50 e 80%; e Planilha-ANA), para a área cultivada na época 2 (01/07).

Figura 153 - Dispersão dos valores das vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), simulações ano-a-ano (31 anos), **ÉPOCA 2** (10 mil ha); **I. SUP**

Figura 154 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) com diferentes probabilidades teóricas de “não-superação”, **ÉPOCA 2** (10 mil ha); **I. SUP**

Figura 155 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) para os anos contrastantes, ÉPOCA 2 (10 mil ha); I. SUP

Figura 156 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), Planilha-ANA, ÉPOCA 2 (10 mil ha); I. SUP

Na tabela 38, por sua vez, são apresentados, numericamente, os valores mensais das vazões de outorga para a área cultivada na *época 2 - 01/07* no **critério/enfoque de manejo da irrigação suplementar (I. SUP)**, bem como as razões percentuais entre os valores obtidos na “Planilha-ANA” e nas demais metodologias.

Tabela 38 - Vazões outorgáveis calculadas pela Planilha-ANA, ano-a-ano com probabilidade teórica de “não-superação” de 80%, ano seco período total (anual) e ano seco período seco (abril a setembro) com nível de ETo de 80% de probabilidade teórica de “não-superação”; Razões percentuais entre “Planilha-ANA” e metodologias propostas; **Irrigação Suplementar; Época 2**

Mês	ANA	AA (80%)	ASPT(80%)	ASPS(80%)
Q_ÉPOCA2 (m³.s⁻¹)				
Jan	2.00	2.60	3.00	5.90
Fev	2.90	3.90	5.30	5.00
Mar	3.00	3.40	5.60	3.80
Abr	4.20	4.70	3.80	6.20
Mai	3.90	3.70	3.50	4.60
Jun	3.70	3.50	3.10	3.20
Jul	1.60	1.70	1.20	1.70
Ago	3.40	3.60	2.50	3.30
Set	5.40	6.00	5.20	4.10
Out	4.80	5.80	4.90	6.30
Nov	3.90	4.40	4.70	6.50
Dez	2.00	3.50	4.50	5.00
Razões Percentuais (%) - Base "Planilha-ANA"				
Jan	100.0	76.9	66.7	33.9
Fev	100.0	74.4	54.7	58.0
Mar	100.0	88.2	53.6	78.9
Abr	100.0	89.4	110.5	67.7
Mai	100.0	105.4	111.4	84.8
Jun	100.0	105.7	119.4	115.6
Jul	100.0	94.1	133.3	94.1
Ago	100.0	94.4	136.0	103.0
Set	100.0	90.0	103.8	131.7
Out	100.0	82.8	98.0	76.2
Nov	100.0	88.6	83.0	60.0
Dez	100.0	57.1	44.4	40.0

Da mesma forma como descrito anteriormente para os resultados da época 1, os valores das vazões mensais de outorga obtidos para a época 2 (01/07) apresentaram o mesmo comportamento quando comparados à metodologia da Planilha-ANA. Ainda, analisando-se os valores para a época 2 (01/07), observa-se que, neste caso, o início do ciclo da cana-soca coincide com a metade (início de julho) do período onde se observam menores acumulados de precipitação pluvial (abril a setembro), sendo os valores das vazões de outorga maiores no trimestre setembro, outubro e novembro.

Já, nas Figuras 157 a 160, estão ilustrados graficamente os valores das vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) para o **critério de irrigação suplementar**, em função das diferentes metodologias de cálculo abordadas, respectivamente, para a área cultivada na época 3 (01/10).

Figura 157 - Dispersão dos valores das vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), simulações ano-a-ano (31 anos), **ÉPOCA 3** (10 mil ha); **I. SUP**

Figura 158 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) com diferentes probabilidades teóricas de “não-superação”, **ÉPOCA 3** (10 mil ha); **I. SUP**

Figura 159 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) para os anos contrastantes, **ÉPOCA 3** (10 mil ha); **I. SUP**

Figura 160 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), Planilha-ANA, **ÉPOCA 3** (10 mil ha); **I. SUP**

Da mesma forma, porém para a área cultivada na *época 3 - 01/10* e ainda no **critério/enfoque de manejo da irrigação suplementar (I. SUP)**, na Tabela 39, são apresentados, numericamente, os valores mensais das vazões de outorga calculadas pela Planilha-ANA, metodologia ano-a-ano com probabilidade teórica de “não-superação” igual a 80%, e para os ASPT e ASPS com nível de ETo igual a 80% de probabilidade teórica de “não-superação”, bem como as razões percentuais entre “Planilha-ANA” e as demais metodologias, possibilitando-se assim a comparação dos resultados obtidos.

Tabela 39 - Vazões outorgáveis calculadas pela Planilha-ANA, ano-a-ano com probabilidade teórica de “não-superação” de 80%, ano seco período total (anual) e ano seco período seco (abril a setembro) com nível de ETo de 80% de probabilidade teórica de “não-superação”; Razões percentuais entre “Planilha-ANA” e metodologias propostas; **Irrigação Suplementar; Época 3**

Mês	ANA	AA (80%)	ASPT(80%)	ASPS(80%)
Q_ÉPOCA3 (m³.s⁻¹)				
Jan	2.00	2.60	3.00	5.90
Fev	2.90	3.90	5.30	5.00
Mar	3.00	3.40	5.60	3.80
Abr	4.70	5.10	4.10	6.70
Mai	5.20	4.70	4.60	5.80
Jun	5.40	5.10	4.80	4.90
Jul	5.30	5.30	5.00	5.50
Ago	5.70	5.70	4.80	5.50
Set	4.20	4.90	3.90	2.70
Out	0.00	1.10	0.60	0.60
Nov	0.00	1.70	2.20	2.20
Dez	0.80	2.70	3.70	3.80
Razões Percentuais (%) - Base "Planilha-ANA"				
Jan	100.0	76.9	66.7	33.9
Fev	100.0	74.4	54.7	58.0
Mar	100.0	88.2	53.6	78.9
Abr	100.0	92.2	114.6	70.1
Mai	100.0	110.6	113.0	89.7
Jun	100.0	105.9	112.5	110.2
Jul	100.0	100.0	106.0	96.4
Ago	100.0	100.0	118.8	103.6
Set	100.0	85.7	107.7	155.6
Out	-	0.0	0.0	0.0
Nov	-	0.0	0.0	0.0
Dez	100.0	29.6	21.6	21.1

Analisando-se os valores para a época 3 (01/10), observa-se que, neste caso, o início do ciclo da cana-soca coincide com o início do período de maior ocorrência de precipitações pluviais (outubro a março) e, devido a menor demanda hídrica na fase inicial ($kc < 1,0$), consequentemente, ocorrem os menores valores de necessidades de irrigação em termos de vazões outorgáveis. Na Planilha-ANA, para esta época, as precipitações são dadas como

suficientes para o atendimento das necessidades hídricas da cultura, porém, numa análise ano-a-ano ou através da determinação do ano seco (AS), evidencia-se que, racionalmente, podem ocorrer anos onde se necessita de captação e, conseqüentemente, outorga, para o atendimento das necessidades de irrigação (Tabela 39). Por fim, considerando-se agora a área total (soma das três épocas de início do ciclo), no **critério de irrigação suplementar**, os valores das vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) calculados em função das diferentes metodologias abordadas, respectivamente, estão ilustrados nas Figuras 161 a 164.

Figura 161 - Dispersão dos valores das vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), simulações ano-a-ano (31 anos), **área total cultivada** (30 mil ha); **I. SUP**

Figura 162 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) com diferentes probabilidades teóricas de “não-superação”, **área total cultivada** (30 mil ha); **I. SUP**

Figura 163 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) para os anos contrastantes, **área total** (30 mil ha); **I. SUP**

Figura 164 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), Planilha-ANA, **área total cultivada** (30 mil ha); **I. SUP**

Da mesma forma, porém para a área total, na Tabela 40 são apresentados, numericamente, os valores mensais das vazões de outorga calculadas pela Planilha-ANA, metodologia ano-a-ano (31 anos) com probabilidade teórica de “não-superação” igual a 80%, e para os ASPT e ASPS com nível de ETo igual a 80% de probabilidade teórica de “não-superação”, bem como as razões percentuais entre “Planilha-ANA” e as demais metodologias, possibilitando-se assim a comparação dos resultados obtidos.

Tabela 40 - Vazões outorgáveis calculadas pela Planilha-ANA, ano-a-ano com probabilidade teórica de “não-superação” de 80%, ano seco período total (anual) e ano seco período seco (abril a setembro) com nível de ETo de 80% de probabilidade teórica de “não-superação”; Razões percentuais entre “Planilha-ANA” e metodologias propostas; **Irrigação Suplementar; Área total**

Mês	ANA	AA (80%)	ASPT(80%)	ASPS(80%)
Q_TOTAL (m³.s⁻¹)				
Jan	5.40	7.50	8.50	17.10
Fev	7.20	10.30	14.40	13.50
Mar	6.90	8.80	14.60	10.00
Abr	9.00	11.00	8.90	14.80
Mai	11.10	10.30	9.70	13.20
Jun	13.50	12.90	11.80	12.10
Jul	12.60	12.70	11.70	13.10
Ago	16.20	16.40	13.50	15.80
Set	16.20	18.10	15.60	12.10
Out	9.60	13.00	10.40	13.20
Nov	7.80	10.70	11.60	15.20
Dez	4.80	9.60	12.60	13.70
Razões Percentuais (%) - Base "Planilha-ANA"				
Jan	100.0	72.0	63.5	31.6
Fev	100.0	69.9	50.0	53.3
Mar	100.0	78.4	47.3	69.0
Abr	100.0	81.8	101.1	60.8
Mai	100.0	107.8	114.4	84.1
Jun	100.0	104.7	114.4	111.6
Jul	100.0	99.2	107.7	96.2
Ago	100.0	98.8	120.0	102.5
Set	100.0	89.5	103.8	133.9
Out	100.0	73.8	92.3	72.7
Nov	100.0	72.9	67.2	51.3
Dez	100.0	50.0	38.1	35.0

Assim, nas figuras 149, 153, 157 e 161 (gráficos de dispersão) é possível observar-se a variabilidade dos valores das vazões mensais outorgáveis, bem como a linha de tendência central, em função das simulações *ano-a-ano da série histórica (31 anos)*, para as áreas cultivadas nas épocas 1 (EP1 - 01/04), 2 (EP2 - 01/07), 3 (EP3 - 01/10) e para a área total, respectivamente.

Diante disto, pode-se estimar (Figuras 150, EP1 - 01/04; Figura 154, EP2 - 01/07; Figura 158, EP3 - 01/10; e Figura 162, área total, respectivamente) as vazões mensais outorgáveis com base em diferentes *probabilidades teóricas de “não-superação”* dos valores (20, 50, 80 e 100%). Já, nas figuras 151, 155, 159 e 163 (EP1 - 01/04, EP2 - 01/07, EP3 - 01/10 e área total, respectivamente), estão ilustrados os valores mensais das vazões de outorga determinadas com base na seleção probabilística dos *anos* (AN, AS e AU; PT e PS), em *dois níveis de probabilidade teórica de “não-superação” dos valores de ETo (50 e 80%)*.

E, por fim, nas figuras 152, 156, 160 e 164 (EP1 - 01/04, EP2 - 01/07, EP3 - 01/10 e área total, respectivamente), os valores médios mensais das vazões de outorga obtidos através da *Planilha-ANA*, com base nos valores mensais de *precipitação efetiva provável (Pp%)* e *evapotranspiração de referência (ETo)* fornecidos por este órgão (ANA, 2013).

Comparando-se os resultados foi possível observar-se que, as vazões mensais obtidas através da *Planilha-ANA* (Figura 164), aproximam-se com os valores obtidos por meio das simulações realizadas ano-a-ano (31 anos) e com probabilidade teórica de “não-superação” dos valores de 80% (Figura 162), notadamente nos períodos onde as precipitações pluviais são mais escassas e, conseqüentemente, a demanda por irrigação é maior (abril a setembro). Desta forma, conferiu-se uma “margem de segurança” aplicável às condições de variabilidade temporal das necessidades de irrigação e captação d’água (vazões de outorga) neste período. Contudo, como demonstrado anteriormente, no período onde ocorre uma concentração das precipitações pluviais (outubro a março) as estimativas das vazões de outorga obtidas pela *Planilha-ANA* ficaram abaixo deste patamar.

Estes resultados podem ser atribuídos à metodologia empregada pela ANA (*Planilha-ANA*) (ANA, 2013), uma vez que esta se utiliza de uma condição local média para os valores mensais de precipitação pluvial (PPT), sendo assim uma medida de tendência central que, mesmo aplicado um critério de precipitação efetiva provável, não leva em consideração, de maneira contundente, a variabilidade existente ao longo dos anos em termos das contribuições da PPT para a satisfação das necessidades hídricas da cultura. Em função disto, em anos extremos quanto à ocorrência de precipitações pluviais (anos secos), os propósitos de atendimento pleno (irrigação suplementar) ou parcial (irrigação com déficit controlado) das necessidades hídricas da cultura podem não ser alcançados pelos valores outorgáveis estabelecidos por meio da metodologia adotada na *Planilha-ANA*.

Da mesma forma como apresentado anteriormente para I. SUP, nas figuras abaixo (Figuras 165 a 180), estão ilustrados, graficamente, os valores das vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) em função das diferentes metodologias abordadas (*CROPWAT 8.0*: simulações ano-a-

ano e simulações dos anos com diferentes probabilidades dos valores de PPT: ANPS, ANPT, ASPS, ASPT, AUPT e AUT e dois níveis de ETo: 50 e 80%; e Planilha-ANA) para as áreas com início do ciclo nas épocas 1 (01/04), 2 (01/07) e 3 (01/10), e área total, respectivamente, porém, neste caso, para o **critério de irrigação com déficit (I. DEF)**.

Figura 165 - Dispersão dos valores das vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), simulações ano-a-ano (31 anos), **ÉPOCA 1** (10 mil ha); **I. DEF**

Figura 166 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) com diferentes probabilidades teóricas de “não-superação”, **ÉPOCA 1** (10 mil ha); **I. DEF**

Figura 167 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) para os anos contrastantes, ÉPOCA 1 (10 mil ha); I. DEF

Figura 168 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), Planilha-ANA, ÉPOCA 1 (10 mil ha); I. DEF

Na tabela 41, são apresentados, numericamente, os valores mensais das vazões de outorga para a área cultivada na *época 1 - 01/04* no **critério/enfoque de manejo da irrigação com déficit (I. DEF)**, bem como as razões percentuais entre os valores obtidos na “Planilha-ANA” e nas demais metodologias (metodologia ano-a-ano: 31 anos, com probabilidade teórica de “não-superação” igual a 80%, e para os ASPT e ASPS com nível de ETo igual a 80% de probabilidade teórica de “não-superação”), possibilitando-se assim a comparação dos resultados obtidos.

Tabela 41 - Vazões outorgáveis calculadas pela Planilha-ANA, ano-a-ano com probabilidade teórica de “não-superação” de 80%, ano seco período total (anual) e ano seco período seco (abril a setembro) com nível de ETo de 80% de probabilidade teórica de “não-superação”; Razões percentuais entre “Planilha-ANA” e metodologias propostas; **Irrigação com Déficit; Época 1**

Mês	ANA	AA (80%)	ASPT(80%)	ASPS(80%)
Q_ÉPOCA1 (m³.s⁻¹)				
Jan	0.65	1.56	1.94	4.35
Fev	0.76	2.00	2.95	2.87
Mar	0.21	1.48	2.64	1.97
Abr	0.00	0.95	0.78	1.56
Mai	1.71	1.54	1.24	2.30
Jun	4.04	3.16	3.03	3.28
Jul	5.21	4.14	4.27	4.84
Ago	6.40	5.37	4.81	5.74
Set	5.81	5.39	5.05	4.35
Out	3.94	4.36	3.80	5.17
Nov	3.15	3.31	3.65	5.33
Dez	1.22	2.41	3.42	4.02
Razões Percentuais (%) - Base "Planilha-ANA"				
Jan	100.0	41.8	33.6	15.0
Fev	100.0	38.2	25.9	26.6
Mar	100.0	14.3	8.0	10.7
Abr	-	0.0	0.0	0.0
Mai	100.0	111.0	137.5	74.4
Jun	100.0	128.0	133.5	123.2
Jul	100.0	125.7	122.0	107.6
Ago	100.0	119.2	133.0	111.5
Set	100.0	107.8	115.0	133.5
Out	100.0	90.6	103.7	76.3
Nov	100.0	95.3	86.4	59.1
Dez	100.0	50.8	35.8	30.4

Figura 169 - Dispersão dos valores das vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), simulações ano-a-ano (31 anos), **ÉPOCA 2** (10 mil ha); **I. DEF**

Figura 170 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) com diferentes probabilidades teóricas de “não-superação”, **ÉPOCA 2** (10 mil ha); **I. DEF**

Figura 171 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) para os anos contrastantes, ÉPOCA 2 (10 mil ha); I. DEF

Figura 172 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), Planilha-ANA, ÉPOCA 2 (10 mil ha); I. DEF

Na tabela 42, por sua vez, são apresentados, numericamente, os valores mensais das vazões de outorga para a área cultivada na *época 2 - 01/07* no **critério/enfoque de manejo da irrigação com déficit (I. DEF)**, bem como as razões percentuais entre os valores obtidos na “Planilha-ANA” e nas demais metodologias.

Tabela 42 - Vazões outorgáveis calculadas pela Planilha-ANA, ano-a-ano com probabilidade teórica de “não-superação” de 80%, ano seco período total (anual) e ano seco período seco (abril a setembro) com nível de ETo de 80% de probabilidade teórica de “não-superação”; Razões percentuais entre “Planilha-ANA” e metodologias propostas; **Irrigação com Déficit; Época 2**

Mês	ANA	AA (80%)	ASPT(80%)	ASPS(80%)
Q_ÉPOCA2 (m³.s⁻¹)				
Jan	1.24	1.54	2.25	4.70
Fev	2.14	2.38	3.98	3.98
Mar	2.29	2.42	4.20	3.03
Abr	3.51	3.52	2.85	4.94
Mai	3.46	2.63	2.63	3.67
Jun	3.28	2.14	2.33	2.55
Jul	1.44	1.04	0.90	1.35
Ago	3.04	2.51	1.88	2.63
Set	4.75	4.09	3.90	3.27
Out	3.94	4.35	3.68	5.02
Nov	3.15	3.03	3.53	5.18
Dez	1.22	2.41	3.38	3.98
Razões Percentuais (%) - Base "Planilha-ANA"				
Jan	100.0	80.2	54.9	26.3
Fev	100.0	89.8	53.8	53.7
Mar	100.0	94.7	54.5	75.7
Abr	100.0	99.9	123.2	71.1
Mai	100.0	131.7	131.6	94.4
Jun	100.0	153.3	140.9	128.6
Jul	100.0	139.1	160.4	106.6
Ago	100.0	121.4	162.1	115.7
Set	100.0	116.1	121.7	145.4
Out	100.0	90.6	107.2	78.6
Nov	100.0	104.1	89.4	60.9
Dez	100.0	50.7	36.2	30.7

Figura 173 - Dispersão dos valores das vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), simulações ano-a-ano (31 anos), **ÉPOCA 3** (10 mil ha); **I. DEF**

Figura 174 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) com diferentes probabilidades teóricas de “não-superação”, **ÉPOCA 3** (10 mil ha); **I. DEF**

Figura 175 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) para os anos contrastantes, **ÉPOCA 3** (10 mil ha); **I. DEF**

Figura 176 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), Planilha-ANA, **ÉPOCA 3** (10 mil ha); **I. DEF**

Da mesma forma, porém para a área cultivada na *época 3 - 01/10* e ainda no **critério/enfoque do manejo da irrigação com déficit (I. DEF)**, na Tabela 43, são apresentados, numericamente, os valores mensais das vazões de outorga calculadas pela Planilha-ANA, metodologia ano-a-ano com probabilidade teórica de “não-superação” igual a 80%, e para os ASPT e ASPS com nível de ETo igual a 80% de probabilidade teórica de “não-superação”, bem como as razões percentuais entre “Planilha-ANA” e as demais metodologias, possibilitando-se assim a comparação dos resultados obtidos.

Tabela 43 - Vazões outorgáveis calculadas pela Planilha-ANA, ano-a-ano com probabilidade teórica de “não-superação” de 80%, ano seco período total (anual) e ano seco período seco (abril a setembro) com nível de ETo de 80% de probabilidade teórica de “não-superação”; Razões percentuais entre “Planilha-ANA” e metodologias propostas; **Irrigação com Déficit; Época 3**

Mês	ANA	AA (80%)	ASPT(80%)	ASPS(80%)
Q_ÉPOCA3 (m³.s⁻¹)				
Jan	1.24	1.80	2.25	4.92
Fev	2.14	2.51	3.98	4.17
Mar	2.29	2.39	4.21	3.17
Abr	4.03	3.70	3.08	5.58
Mai	4.54	3.34	3.46	4.83
Jun	4.82	3.35	3.61	4.08
Jul	4.76	3.69	3.76	4.58
Ago	5.11	4.05	3.61	4.58
Set	3.69	3.31	2.93	2.25
Out	0.00	0.81	0.45	0.50
Nov	0.00	1.14	1.65	1.83
Dez	0.15	1.77	2.78	3.17
Razões Percentuais (%) - Base "Planilha-ANA"				
Jan	100.0	68.5	54.8	25.1
Fev	100.0	85.3	53.7	51.3
Mar	100.0	95.8	54.5	72.4
Abr	100.0	108.9	130.7	72.1
Mai	100.0	136.1	131.4	94.0
Jun	100.0	143.7	133.6	118.0
Jul	100.0	129.0	126.8	103.9
Ago	100.0	126.3	141.7	111.5
Set	100.0	111.7	126.1	164.2
Out	-	0.0	0.0	0.0
Nov	-	0.0	0.0	0.0
Dez	100.0	8.6	5.5	4.8

Figura 177 - Dispersão dos valores das vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), simulações ano-a-ano (31 anos), **área total cultivada** (30 mil ha); **I. DEF**

Figura 178 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) com diferentes probabilidades teóricas de “não-superação”, **área total cultivada** (30 mil ha); **I. DEF**

Figura 179 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) para os anos contrastantes, **área total** (30 mil ha); **I. DEF**

Figura 180 - Vazões mensais de outorga ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), Planilha-ANA, **área total cultivada** (30 mil ha); **I. DEF**

Da mesma forma, porém para a área total, na Tabela 44 são apresentados, numericamente, os valores mensais das vazões de outorga calculadas pela Planilha-ANA, metodologia ano-a-ano (31 anos) com probabilidade teórica de “não-superação” igual a 80%, e para os ASPT e ASPS com nível de ETo igual a 80% de probabilidade teórica de “não-superação”, bem como as razões percentuais entre “Planilha-ANA” e as demais metodologias, possibilitando-se assim a comparação dos resultados obtidos (**I DEF**).

Tabela 44 - Vazões outorgáveis calculadas pela Planilha-ANA, ano-a-ano com probabilidade teórica de “não-superação” de 80%, ano seco período total (anual) e ano seco período seco (abril a setembro) com nível de ETo de 80% de probabilidade teórica de “não-superação”; Razões percentuais entre “Planilha-ANA” e metodologias propostas; **Irrigação com Déficit; Área total**

Mês	ANA	AA (80%)	ASPT(80%)	ASPS(80%)
Q_TOTAL (m³.s⁻¹)				
Jan	3.13	5.40	6.45	13.97
Fev	5.04	6.92	10.91	11.02
Mar	4.79	6.23	11.05	8.16
Abr	7.54	8.48	6.71	12.08
Mai	9.71	7.58	7.33	10.80
Jun	12.14	8.34	8.96	9.91
Jul	11.42	8.86	8.93	10.78
Ago	14.56	11.77	10.30	12.96
Set	14.25	12.73	11.88	9.86
Out	7.89	9.38	7.93	10.69
Nov	6.31	7.37	8.83	12.34
Dez	2.60	6.64	9.57	11.17
Razões Percentuais (%) - Base "Planilha-ANA"				
Jan	100.0	57.9	48.5	22.4
Fev	100.0	72.8	46.2	45.7
Mar	100.0	76.9	43.4	58.7
Abr	100.0	88.9	112.4	62.4
Mai	100.0	128.2	132.5	89.9
Jun	100.0	145.5	135.4	122.4
Jul	100.0	128.9	127.9	105.9
Ago	100.0	123.6	141.3	112.4
Set	100.0	112.0	119.9	144.5
Out	100.0	84.1	99.4	73.8
Nov	100.0	85.6	71.4	51.1
Dez	100.0	39.1	27.1	23.3

Assim, da mesma forma como apresentado anteriormente (I. SUP), porém agora para o **critério de irrigação com déficit (I. DEF)**, nas figuras 165, 169, 173 e 177 (gráficos de dispersão) é possível observar-se a variabilidade dos valores das vazões mensais outorgáveis, bem como a linha de tendência central, em função das simulações *ano-a-ano da série histórica (31 anos)*, para as áreas cultivadas nas épocas 1 (EP1 - 01/04), 2 (EP2 - 01/07), 3 (EP3 - 01/10) e para a área total, respectivamente.

Diante disto, pode-se observar nas figuras 166 (EP1 - 01/04), 170 (EP2 - 01/07), 174 (EP3 - 01/10) e 178 (área total), respectivamente, as vazões mensais de outorga estimadas com base em diferentes *probabilidades teóricas de “não-superação”* dos valores (20, 50, 80 e 100%) - base no critério/enfoque do manejo da irrigação com déficit (**I. DEF**).

Já, nas figuras 167, 171, 175 e 179 (EP1 - 01/04, EP2 - 01/07, EP3 - 01/10 e área total, respectivamente), estão ilustrados os valores mensais das vazões de outorga calculadas com base na seleção dos *anos contrastantes (AN, AS e AU; PT e PS)* em *dois níveis de probabilidade teórica de “não-superação” dos valores de ETo (50 e 80%)*.

Por fim, nas figuras 168, 172, 176 e 180 (EP1 - 01/04, EP2 - 01/07, EP3 - 01/10 e área total, respectivamente), estão ilustrados os valores médios mensais das vazões de outorga obtidos através da *Planilha-ANA* (ANA, 2013), com base nas informações de *precipitação efetiva provável (Pp%) e evapotranspiração de referência (ETo)* fornecidas por este órgão (irrigação com déficit). Vale ressaltar novamente que, neste caso, as estimativas das vazões mensais de outorga foram determinadas aplicando-se um valor ao k_{aj} - “coeficiente de ajuste do k_c ” igual a 0,9 (semelhante aos k_s), porém em escala de tempo mensal, conforme metodologia proposta na Planilha-ANA (Figura 10).

5 CONCLUSÕES

Considerando as condições em que o presente estudo foi desenvolvido e com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

1. Confirmou-se parcialmente a hipótese primária do trabalho, de que a metodologia de cálculo das vazões de outorga proposta pela ANA (Planilha-ANA), não fornece segurança operacional para grandes empreendimentos, principalmente no período onde se concentram as precipitações pluviais (outubro a março), uma vez que esta não possui um caráter probabilístico adequado que leve em consideração as variações anuais de precipitação. Ainda, neste período onde se restringe a captação, coincide-se com a maior oferta hídrica dos corpos hídricos (período chuvoso), sendo que uma abordagem mais dinâmica e com valores de outorga mensal compreendidos dentro de uma faixa permitida poderiam otimizar as estratégias de irrigação suplementar ou com déficit em anos onde a contribuição efetiva das precipitações pluviais são abaixo da média provável, garantindo assim maior racionalidade do uso da água, estabilidade das produtividades e segurança dos investimento.
2. Em termos da área total do estudo de caso (30 mil ha), e sob o critério/enfoque do manejo da irrigação suplementar (I. SUP), os valores mensais das vazões de outorga calculados pela metodologia proposta pela ANA (Planilha-ANA) variaram entre 5,40 e 16,20 m³.s⁻¹. Já, nas estimativas com base na série histórica e com probabilidade teórica de “não-superação” dos valores de 80%, estes valores ficaram entre 7,50 e 18,10 m³.s⁻¹. Sob o critério de irrigação com déficit (I. DEF), as variações observadas foram de 3,13 a 14,56 e 5,40 a 12,73 m³.s⁻¹, respectivamente.
3. Ainda, em relação à hipótese secundária, confirmou-se que a determinação das vazões de outorga por meio da metodologia proposta pela FAO (*CROPWAT 8.0*), diante dos critérios de escolha dos anos representativos (ano seco, médio e úmido), é passível de vulnerabilidades uma vez que, na seleção do ano com base na precipitação acumulada anual ou no período seco, a variabilidade da distribuição mensal destas precipitações não é levada em consideração.
4. Para a metodologia proposta pela FAO (base no ano crítico - ano seco, ASPT - e nível de probabilidade teórica de “não-superação” dos valores de ETo de 80%), sob o critério/enfoque do manejo da irrigação suplementar (I. SUP), a variação observada foi de 8,50 a 15,60 m³.s⁻¹. Por fim, na metodologia alternativa proposta levando-se em

consideração apenas a PPT acumulada no período seco (abril a setembro) para a determinação dos anos representativos/contrastantes (ASPS), a variação observada foi de 10,00 a 17,10 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$. Da mesma forma, sob o critério de irrigação com déficit (I. DEF), as variações observadas foram de 6,45 a 11,88 e 8,16 a 12,96 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- ANA (Agência Nacional de Águas). **Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos**, Brasília, 2013. 249p.
- ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome, FAO, 1998. 300p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALLEN, R.G.; WRIGHT, J.L.; PRUITT, W.O.; PEREIRA, L.S.; JENSEN, M.E. Water requirements. In: **Design and Operation of Farm Irrigation Systems** (ASABE). St. Joseph ASABE, 2007. chap. 8, p.208-288.
- AZEVEDO, H.M. de. **Resposta da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e de adubação de cobertura nos tabuleiros da Paraíba**. 2002. 112p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2002.
- BARBOSA, F.S. **Produtividade de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento: interações entre variedades, lâminas e intensidade do déficit hídrico na fase de maturação**. 2015. 174 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.
- BELL, M.J.; GARSIDE A.L. Shoot and stalk dynamics and the yield of sugarcane crops in tropical and subtropical Queensland, Australia. **Field Crop Research**, Amsterdam, v. 92, p. 231-248, 2005.
- BONNET, G.D.; HEWITT, M.L.; GLASSOP, D. Effects of high temperature on the growth and composition of sugarcane internodes. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 57, p. 1087-1095, 2006.
- BOYER J.S. Plant productivity and environment. **Science**, Washington, v. 218, n. 4571, p. 443-448, 1982.
- CÂMARA, G.M.S. Ecofisiologia da cultura da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.S.; OLIVEIRA, E.A.M. **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ, 1993. p. 31-64.
- CARRETERO, M.V. **Utilização do tanque de evaporação classe “A” para controle da irrigação por gotejamento em soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum ssp.*)**. 1982. 86p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982.
- CARR, M.K.V.; KNOX J.W. The water relations and irrigation requirements of sugar cane (*Saccharum officinarum*): a review. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 47, p. 1-25, 2011.
- DASTANE, N.G. **Effective rainfall in irrigated agriculture**. Rome, FAO, 1978. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 25).

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome, FAO, 1979. 197p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 33).

EBRAHIM, M.K.; ZINGSHEIM, O.; EL-SHOUBAGY, M.N.; MOORE P.H.; KOMOR E. Growth and sugar storage in sugarcane grown at temperatures below and above optimum. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 153, p. 593-602, 1998.

FRIZZONE, J.A. Planejamento da Irrigação com Uso de Técnicas de Otimização. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.1, n.1, p.24-49, 2007.

GASCHO, G.J.; SHIH, S.F. Sugarcane. In: TEARE, I. D.; PEET, M. M. (Ed.). **Crop-water relations**. New York: Wiley-Interscience, 1983. p. 445-479.

GILBERT, R.A.; SHINE JÚNIOR, J.M.; MILLER, J.D.; RAINBOLT, C.R. The effect genotype, environmental and time of harvest on sugarcane yields in Florida, USA. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 95, p. 156-170, 2006.

GLAZ, B.; MORRIS, D.R. Sugarcane responses to water-table depth and periodic flood. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, n. 2, p. 372-380, 2010.

GOLDEN, L.E.; RICAUD, R. **The nitrogen, phosphorus and potassium contents of sugarcane in Louisiana**. Louisiana Agricultural Experiment Station, 1963. 20p. (Louisiana, Bulletin 574).

GOMES, M.C.R. **Efeito da irrigação suplementar na produtividade da cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes**. 1999. 51p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 1999.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Divisão Territorial do Brasil e Limites Territoriais**, 2008. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 11 out. 2014.

INMAN-BAMBER, N.G. Climate and water as constraints to production in the South African sugar industry. In: **Proceedings of Conference South African Sugar Technology Association**, Durban, v. 69, p. 55-59, 1995.

INMAN-BAMBER, N.G.; MCGLINCHEY, M.G. Crop coefficients and water-use estimates for sugarcane based on long-term Bowen ratio energy balance measurements. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 83, n. 2, p. 125-138, 2003.

INMAN-BAMBER, N.G.; MUCHOW, R.C; ROBERTSON, M.J. Dry matter partitioning of sugarcane in Australia and South Africa. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 76, p. 71-84, 2002.

INMAN-BAMBER, N.G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 89, p. 107-122, 2004.

INMAN-BAMBER N.G. Temperature and seasonal effects on canopy development and light interception of sugarcane. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 36, p. 41-51, 1994.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2004. 531p.

LINGLE, S.E. Sugar metabolism during growth and development in sugarcane internodes. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 480-486, 1999.

MATIOLI, C.S. **Irrigação suplementar de cana-de-açúcar (*Saccharum ssp.*) ciclo cana soca: um modelo de análise de decisão para o Estado de São Paulo**. 1998. 98p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

MAULE, R.F.; MAZZA, A.J.; MARTHAR JÚNIOR, G.B. Produtividade agrícola de cultivares de cana de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 295-301, 2001.

NELSON P.N.; HAM G.J. Exploring the response of sugar cane to sodic and saline conditions through natural variation in the field. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 66, p. 245-255, 2000.

OLIVIER F.; SINGELS, A. Water use efficiency of irrigated sugarcane as affected by row spacing and variety. In: **Proceedings of Conference South African Sugar Technology Association**, Durban, v. 77, p. 347-351, 2003.

PARK, S.E.; ROBERTSON, M.; INMAN-BAMBER, N.G. Decline in the growth of a sugarcane crop with age under high input conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 305-320, 2005.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Editora Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Edur (Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro), Seropédica, 2004. 191p.

ROBERTSON, M.J.; MUCHOW, R.C.; WOOD, A.W. A physiological basis for response of sugarcane to drying-off before harvest. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Mount Edgecombe, v. 21, p. 212-218, 1999.

ROSENFELD, U. **Determinação do período crítico de deficiência hídrica para a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1989. 88 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

ROZEFF, N. Sugarcane and salinity - a review paper. **Sugarcane**, 1995. p. 8-19.

SAAD, J.C.C. **Estudo das distribuições de frequências da evapotranspiração de referência e da precipitação pluvial para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação**. 1990. 124 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

SALASSIER, B.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**, 8ª Ed.^a. Viçosa: Editora Universidade Federal de Viçosa, 2006. 625p.

SCARDUA, R. **O clima e a irrigação na produção agro-industrial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1985. 122p. Tese (Livres Docência em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.

SINGELS, A.; SMIT, M.A.; REDSHAW, K.A. The effect of crop start date, crop class and cultivar on sugarcane canopy development and radiation interception. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 249-260, 2005.

SMITH D.M.; INMAN-BAMBER N.G. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 185-202, 2005.

SMITH M. **CLIMWAT for CROPWAT**: a climatic database for irrigation planning and management. Rome, FAO, 1993. 113p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 49).

SMITH, M. **CROPWAT**: a computer program for irrigation planning and management. Rome, FAO, 1992. 126p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 46).

SOUZA, E.F.; BERNADO, S.; CARVALHO, J.A. Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três variedades em Campos dos Goytacazes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 1, p. 28-12, 1999.

STEDUTO, P.; HSIAO, T.C.; FERERES, E.; RAES, D. **Crop yield response to water**. Rome, FAO, 2012. 503 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 66).

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. Ed.^a. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

THOMPSON, G.D. Water use by sugarcane. **South African Sugar Journal**, Durban, v. 60, p. 593-600; 627-635, 1976.

VAN DILLEWIJN, C. **Botany of Sugarcane**. Waltham, Mass, USA, Chronica Botanica; New York: Stechert-Hafner, 1952. 371p.

WACLAWOVSKY, A.J.; SATO, P.M.; LEMBKE, C.G.; MOORE, P.H.; SOUZA, G.M. Sugarcane for bio-energy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. **Plant Biotechnology Journal**, Oxford, v. 8, p. 263-276, 2010.