



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**AVALIAÇÃO DO USO DE DADOS METEOROLÓGICOS DE SATÉLITE
(NASAPOWER) PARA MANEJO DE IRRIGAÇÃO NO BRASIL**

OTÁVIO COSCRATO CARDOSO DA SILVA

Orientador: Prof. Dr. Rafael Battisti

Goiânia, GO

Brasil

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE
TESES**

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

☒ Dissertação ☐ Tese

2. Nome completo do autor

Otávio Coscrato Cardoso da Silva

3. Título do trabalho

Avaliação do uso de dados meteorológicos de satélite (NasaPower) para manejo de irrigação no Brasil

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM ☐ NÃO*

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);
 - b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.
- O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por Rafael Battisti, Professor do Magistério Superior, em 22/02/2021, às 16:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por OTAVIO COSCRATO CARDOSO DA SILVA, Discente, em 22/02/2021, às 17:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 1828276 e o código CRC B35C1CA1.

OTÁVIO COSCRATO CARDOSO DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO USO DE DADOS METEOROLÓGICOS DE SATÉLITE
(NASAPOWER) PARA MANEJO DE IRRIGAÇÃO NO BRASIL**

Dissertação apresentada à banca de defesa do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como exigência para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Área de concentração: Solo e Água

Orientador:

Prof. Dr. Rafael Battisti

Goiânia, GO – Brasil

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Silva, Otávio Coscrato Cardoso da
Avaliação do uso de dados meteorológicos de satélite
(NASAPOWER) para manejo de irrigação no Brasil. [manuscrito] /
Otávio Coscrato Cardoso da Silva. - 2021.
CXXIV, 124 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Battisti.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola
de Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Goiânia,
2021.

Bibliografia. Anexos. Apêndice.

Inclui mapas, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Simulação de cultivo. 2. Base de dados. 3. Projeto POWER. 4.
INMET. I. Battisti, Rafael, orient. II. Título.

CDU 631/635



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

ESCOLA DE AGRONOMIA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata Nº 17/2021 da sessão de Defesa de Dissertação de Otávio Coscrato Cardoso da Silva que confere o título de Mestre em Agronomia, na área de concentração em Solo e Água.

Aos 22/02/2021 vinte e dois dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e um, a partir das 13:30 treze horas e trinta minutos, por videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada "Avaliação do uso de dados meteorológicos de satélite (NasaPower) para manejo de irrigação no Brasil". Os trabalhos foram instalados pelo Orientador e Presidente da Banca Examinadora, Prof. Rafael Battisti (EA/UFG) com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Prof. José Alves Júnior (EA/UFG), membro titular interno; Prof. Dr. Marcio Mesquita, membro titular interno. Durante a arguição, os membros da banca não fizeram sugestão de alteração do título do trabalho. Após a arguição, a Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato APROVADO pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Presidente da Banca Examinadora, Prof. Rafael Battisti, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos 22/02/2021 vinte e dois dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e um.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por Rafael Battisti, Professor do Magistério Superior, em 22/02/2021, às 16:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por Marcio Mesquita, Professor do Magistério Superior, em 22/02/2021, às 16:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por José Alves Júnior, Professor do Magistério Superior, em 23/02/2021, às 01:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 1828226 e o código CRC 6BE92EEB.

DEDICATÓRIA

Dedico primeiramente à Deus que sempre esteve junto a mim, me dando forças para conseguir concretizar meus objetivos e concluir esta Dissertação de Mestrado;

Aos meus pais que sempre me apoiaram de diversas maneiras durante minha vida;

A todos os professores que passaram ao longo da minha jornada acadêmica, desde a pré-escola, passando pelos ensinos fundamental, médio e o superior, até concluir o Mestrado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por sempre estar comigo me amparando e ajudando a tomar minhas escolhas.

Ao meu professor e orientador, Dr. Rafael Battisti pelo suporte, boa vontade, paciência e conhecimentos fornecidos durante a realização desta Dissertação de Mestrado.

À CAPES pela bolsa de estudo concedida ao longo do curso de mestrado.

Agradeço aos meus pais por me fornecerem condições de realizar o Mestrado em Agronomia e também na realização deste trabalho, além do apoio fornecido em todos os sentidos.

Agradeço a todos os professores, colegas de curso, amigos e membros da instituição de ensino, pelos conhecimentos adquiridos ao longo do Mestrado.

EPÍGRAFE

" Os engenheiros agrônomos semeiam mais do que alimentos, eles semeiam vidas..."

Autor desconhecido.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE FIGURAS	13
RESUMO.....	17
ABSTRACT.....	18
1 INTRODUÇÃO	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO SOBRE EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	22
2.2 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET ₀).....	23
2.3 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS.....	26
2.4 RECURSOS HÍDRICOS	28
2.5 CICLO HIDROLÓGICO E O BALANÇO HÍDRICO NO CULTIVO.....	30
2.6 IRRIGAÇÃO	31
2.7 MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO	34
2.8 SENSORIAMENTO REMOTO	36
2.9 NASAPOWER.....	39
3 MATERIAL E MÉTODOS	44
3.1 REGIÕES DE ESTUDO	44
3.2 CULTURAS ANALISADAS	45
3.3 DADOS METEOROLÓGICOS	46
3.4 MANEJO DE IRRIGAÇÃO	47
3.4.1 Estimativa da evapotranspiração de referência (ET ₀).....	47
3.4.2 Estimativa da evapotranspiração de cultura (ET _c)	50
3.4.3 Água disponível no solo para a cultura	52
3.4.4 Balanço hídrico de irrigação.....	53
3.5 ANÁLISE DE DADOS	54
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1 SOJA - CRUZ ALTA, RS.....	56
4.2 ARROZ - URUGUAIANA, RS.....	60
4.3 CANA-DE-AÇÚCAR - UBERABA, MG.....	64
4.4 LARANJA - ARARAQUARA, SP	68
4.5 MILHO DOCE - UNAÍ, MG	72
4.6 CANA-DE-AÇÚCAR - RIO VERDE, GO	76

4.7 CAFÉ - ARAGUARI, MG	80
4.8 MILHO GRÃO - BALSAS, MA.....	84
4.9 ALGODÃO - LUÍS EDUARDO MAGALHÃES, BA	88
4.10 FEIJÃO - PRIMAVERA DO LESTE, MT	92
4.11 AVALIAÇÃO GERAL DA DEMANDA DE IRRIGAÇÃO.....	96
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
6 REFERÊNCIAS.....	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Métodos de estimativa de evapotranspiração de referência (ET _o), elementos meteorológicos de entrada e variáveis auxiliares de entrada.	25
Tabela 2. Informações referentes as variáveis climáticas fornecidas pelo projeto NASAPOWER, derivado de satélites, e sua cobertura.	43
Tabela 3. Culturas definidas para estudo para cada uma das localidades dos principais polos irrigados do Brasil.	46
Tabela 4. Localização das estações meteorológicas convencionais e a localidade de representação em relação ao NASAPOWER.....	47
Tabela 5. Coeficientes de cultura (K _c) para as fases denominadas I, II, III e IV, sendo respectivamente, estabelecimento, desenvolvimento vegetativo, período reprodutivo e maturação.	50
Tabela 6. Período de avaliações e data de início das simulações das culturas. .	51
Tabela 7. Local, cultura e método de irrigação mais utilizado na região para a cultura em estudo.....	52
Tabela 8. Relação dos valores dos índices estatísticos para cada parâmetro analisado e calculado com base nos dados do NASAPOWER e EMC do INMET para Cruz Alta em escala diária.	58
Tabela 9. Relação dos valores dos índices estatísticos para cada parâmetro analisado e calculado com base nos dados do NASAPOWER e EMC do INMET para Uruguaiana em escala diária.....	63
Tabela 10. Relação dos valores dos índices estatísticos para cada parâmetro analisado e calculado com base nos dados do NASAPOWER e EMC do INMET para Uberaba em escala diária.	67
Tabela 11. Relação dos valores dos índices estatísticos para cada parâmetro analisado e calculado com base nos dados do NASAPOWER e EMC do INMET para Araraquara em escala diária.	71
Tabela 12. Relação dos valores dos índices estatísticos para cada parâmetro analisado e calculado com base nos dados do NASAPOWER e EMC do INMET para Unai em escala diária.....	76

Tabela 13. Relação dos valores dos índices estatísticos para cada parâmetro analisado e calculado com base nos dados do NASAPOWER e EMC do INMET para Rio Verde em escala diária.	78
Tabela 14. Relação dos valores dos índices estatísticos para cada parâmetro analisado e calculado com base nos dados do NASAPOWER e EMC do INMET para Araguari em escala diária.....	82
Tabela 15. Relação dos valores dos índices estatísticos para cada parâmetro analisado e calculado com base nos dados do NASAPOWER e EMC do INMET para Balsas em escala diária.	86
Tabela 16. Relação dos valores dos índices estatísticos para cada parâmetro analisado e calculado com base nos dados do NASAPOWER e EMC do INMET para Luís Eduardo Magalhães em escala diária.	90
Tabela 17. Relação dos valores dos índices estatísticos para cada parâmetro analisado e calculado com base nos dados do NASAPOWER e EMC do INMET para Primavera do Leste em escala diária.	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de entrada e saída de água no balanço hídrico.	31
Figura 2. Área irrigada total e participação das regiões geográficas (1960-2015).	33
Figura 3. Área irrigada total por estados do Brasil em 2006 e 2015.	44
Figura 4. Locais utilizados no estudo em função da área irrigada e sua distribuição no Brasil.	45
Figura 5. Padrão de evolução de K_c entre estádios fenológicos para cultura anual e perene.	51
Figura 6. Capacidade de água disponível em mm cm^{-1} de solo para o Brasil.	53
Figura 7. Demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura da soja determinada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Cruz Alta, RS.	56
Figura 8. Relação de demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura da soja quantificada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Cruz Alta, RS.	57
Figura 9. Precipitação (A) e a evapotranspiração de referência (ET _o) (B) acumulada ao longo da safra de soja entre 1983 e 2013 considerando as bases climáticas de estações meteorológicas convencionais (EMC) e NASAPOWER para Cruz Alta, RS.	60
Figura 10. Relação de demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura do arroz quantificada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Uruguaiana, RS.	62
Figura 11. Demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura do arroz determinada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Uruguaiana, RS.	63
Figura 12. Precipitação (A) e a evapotranspiração de referência (ET _o) (B) acumulada ao longo da safra de arroz entre 1983 e 2013 considerando as bases climáticas de estações meteorológicas convencionais (EMC) e NASAPOWER para Uruguaiana, RS.	64

Figura 13. Relação de demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura da cana-de-açúcar quantificada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Uberaba, MG.	65
Figura 14. Demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura da cana-de-açúcar determinada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Uberaba, MG.	66
Figura 15. Precipitação (A) e a evapotranspiração de referência (ET _o) (B) acumulada ao longo da safra de cana-de-açúcar entre 1983 e 2012 considerando as bases climáticas de estações meteorológicas convencionais (EMC) e NASAPOWER para Uberaba, MG.	68
Figura 16. Demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura da laranja determinada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Araraquara, SP.	69
Figura 17. Relação de demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura da laranja quantificada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Araraquara, SP.	70
Figura 18. Precipitação (A) e a evapotranspiração de referência (ET _o) (B) acumulada ao longo da safra de laranja entre 1983 e 2013 considerando as bases climáticas de estações meteorológicas convencionais (EMC) e NASAPOWER para Araraquara, SP.	72
Figura 19. Demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura do milho doce determinada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Unaí, MG.	73
Figura 20. Relação de demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura do milho doce quantificada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Unaí, MG.	74
Figura 21. Precipitação (A) e a evapotranspiração de referência (ET _o) (B) acumulada ao longo da safra de milho doce entre 1984 e 2014 considerando as bases climáticas de estações meteorológicas convencionais (EMC) e NASAPOWER para Unaí, MG.	75
Figura 22. Demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura da cana-de-açúcar determinada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Rio Verde, GO.	77

Figura 23. Relação de demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura da cana-de-açúcar quantificada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Rio Verde, GO.....	78
Figura 24. Precipitação (A) e a evapotranspiração de referência (ET _o) (B) acumulada ao longo da safra de cana-de-açúcar entre 1983 e 2012 considerando as bases climáticas de estações meteorológicas convencionais (EMC) e NASAPOWER para Rio Verde, GO.	79
Figura 25. Demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura do café determinada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Araguari, MG.....	81
Figura 26. Relação de demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura do café quantificada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Araguari, MG.....	82
Figura 27. Precipitação (A) e a evapotranspiração de referência (ET _o) (B) acumulada ao longo da safra de café entre 1983 e 2013 considerando as bases climáticas de estações meteorológicas convencionais (EMC) e NASAPOWER para Araguari, MG.....	84
Figura 28. Demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura do milho grão determinada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Balsas, MA.....	85
Figura 29. Relação de demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura do milho grão quantificada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Balsas, MA.....	86
Figura 30. Precipitação (A) e a evapotranspiração de referência (ET _o) (B) acumulada ao longo da safra de milho grão entre 1984 e 2014 considerando as bases climáticas de estações meteorológicas convencionais (EMC) e NASAPOWER para Balsas, MA.....	88
Figura 31. Demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura do algodão determinada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Luís Eduardo Magalhães, BA.	89
Figura 32. Relação de demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura do algodão quantificada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Luís Eduardo Magalhães, BA.	90

Figura 33. Precipitação (A) e a evapotranspiração de referência (ET _o) (B) acumulada ao longo da safra de algodão entre 1984 e 2013 considerando as bases climáticas de estações meteorológicas convencionais (EMC) e NASAPOWER para Luís Eduardo Magalhães, BA.	92
Figura 34. Precipitação (A) e a evapotranspiração de referência (ET _o) (B) acumulada ao longo da safra de feijão entre 1984 e 2013 considerando as bases climáticas de estações meteorológicas convencionais (EMC) e NASAPOWER para Primavera do Leste, MT.	94
Figura 35. Demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura do feijão determinada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Primavera do Leste, MT.	95
Figura 36. Relação de demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura do feijão quantificada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Primavera do Leste, MT.	96
Figura 37. Relação de demanda de irrigação total ao longo do ciclo de todas culturas quantificada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para todos os locais.	97

RESUMO

SILVA, O. C. C. **Avaliação do uso de dados meteorológicos de satélite (NASAPOWER) para manejo de irrigação no Brasil.** 2021. 119 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Água) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021.¹

O uso de informações derivadas de satélites tem ganhado cada vez mais espaço em áreas em que antes não havia utilização, e isso se deve muito aos avanços tecnológicos de sensores e componentes que são instalados nestes equipamentos lançados em órbita. Na agricultura não foi diferente, este segmento da cadeia produtiva tão importante para economia brasileira e mundial tem se aproveitado desses avanços para aperfeiçoar suas técnicas e práticas de manejo de cultivos em diversas formas, sendo uma delas o manejo de irrigação de culturas. Uma das formas de realização do manejo de irrigação é através do balanço hídrico, que tem como principal componente de entrada a utilização de dados meteorológicos para cálculo da evapotranspiração de referencia (ET_o), em que na maioria das situações são obtidas através de dados disponibilizados por instituições que possuem estações meteorológicas convencionais (EMC) ou através de estações automáticas (EMA) instaladas nas propriedades rurais. A limitação é que estes métodos, apesar de serem confiáveis, são onerosos economicamente e depende de pessoal treinado para coletar estas informações, no caso da EMC, e ainda podem não estar próximo a área agrícola de aplicação. Em alternativa a este modo, a plataforma NASAPOWER vem ganhando destaque em alguns estudos pela disponibilização de dados meteorológicos diários derivados de satélite para qualquer região do globo. Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento dos dados meteorológicos disponibilizados pelo NASAPOWER em relação aos dados fornecidos pelo INMET e coletados através de EMC na aplicação do manejo de irrigação em diversas culturas e regiões do Brasil, fazendo uso da equação de Penman-Monteith FAO como obtenção da ET_o. O estudo foi constituído através de simulações de cultivo das principais culturas de valor econômico usadas em diferentes regiões do país, tendo informações de entrada como o coeficiente de cultivo ao longo do ciclo, determinação da água facilmente disponível (AFD) local, tempo de cultivo, e duas bases de dados meteorológicos com período de 31 anos. Os resultados de complementação hídrica com base na plataforma NASAPOWER se mostraram bem ajustados na maioria das simulações, sendo recomendado sua utilização na cultura do algodão na região de Luís Eduardo Magalhães, da soja em Cruz Alta, do milho grão em Balsas e da laranja em Araraquara. Não foi recomendado sua utilização para a cana-de-açúcar em Uberaba e o feijão em Primavera do Leste. Enquanto que para o milho doce em Unaí, arroz em Uruguaiana, cana-de-açúcar em Rio Verde e café em Araguari há uma recomendação com ressalvas. De maneira geral, a avaliação de recomendação de irrigação para as safras avaliadas obteve um coeficiente de correlação (r) de 0,95, coeficiente de determinação (R^2) de 0,95, raiz quadrada do erro médio (RMSE) de 115 mm, erro médio absoluto (MAE) de 85 mm e um coeficiente de Willmott (d) de 0,96.

Palavras-chave: simulação de cultivo, base de dados, projeto POWER, INMET.

¹ Orientador: Prof. Dr. Rafael Battisti. EA-UFG.

ABSTRACT

SILVA, O. C. C. **Evaluation of the use of satellite meteorological data (NASAPOWER) for irrigation management in Brazil.** 2021. 119 f. Dissertation (Masters in Agronomy: Soil and Water) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021.²

The use of information derived from satellites has been gaining space in areas where previously there was no use. This is increasing due to the technological advances in sensors and components that are installed in equipment launched in orbit. In agriculture, it was no different, this segment of the productive chain so important for the Brazilian and world economy has been taking advantage of these to improve its techniques and practices of crop management in several ways, where one is crop irrigation management. One of the ways of carrying out irrigation management is through the water balance, whose main input component is the use of meteorological data to calculate reference evapotranspiration (ET_o). The weather data are obtained through institutions in the most cases, which have conventional weather stations (EMC) or automatic stations (EMA) installed in rural properties. The problem is that these methods, despite being reliable, are economically costly and depends on trained personnel to collect this information in the case of EMC and can still not be close to the agricultural application area. As an alternative to this mode, the NASAPOWER platform has been gaining prominence in some studies due to the availability of daily meteorological data derived from satellite for any region of the globe. Thus, this work aimed to evaluate the behavior of meteorological data provided by NASAPOWER in relation to the data provided by INMET, collected through EMC, in the application of irrigation management in different cultures and regions in Brazil, using the Penman-Monteith equation - FAO to obtain ET_o. The study considered simulations of the main crops of economic value used in different regions of the country, having input information of cultivation coefficient throughout the cycle, determination of the local available water to the crop, cultivation period, and two bases of meteorological data with a period of 31 years. The results of irrigation requirement based on the NASAPOWER platform proved to be adjusted in most simulations with used EMC, and its use in cotton culture in the Luís Eduardo Magalhães region, soybean in Cruz Alta, corn in Balsas and orange in Araraquara are recommended. Its use was not recommended for sugar cane in Uberaba and beans in Primavera do Leste. While for sweet corn in Unaí, rice in Uruguaiana, sugar cane in Rio Verde and coffee in Araguari, there is a recommendation with reservations. In general, the evaluation of irrigation for all evaluated crops obtained a correlation coefficient (r) of 0.95, determination coefficient (R^2) of 0.95, square root of the average error (RMSE) of 115 mm, mean absolute error (MAE) of 85 mm and a Willmott coefficient (d) of 0.96.

Key words: cultivation simulation, data base, POWER project, INMET.

² Advisor: Prof. Dr. Rafael Battisti. EA-UFG.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil se encontra entre as maiores economias do mundo, o PIB do país atingiu aproximadamente R\$ 6 trilhões em 2015 (IBGE, 2016). A agropecuária representa cerca de 23% de participação no PIB, demonstrando uma enorme importância (Agência Brasil, 2015). De acordo com FAO (2015), as exportações agrícolas do Brasil desempenham um papel importante nos mercados internacionais, figurando como o segundo maior exportador agrícola mundial.

Segundo a ONU (2009), a população mundial em 2030 deverá chegar a 8,3 bilhões, e continuará aumentando até 2050, quando estaremos com aproximadamente 9,1 bilhões de pessoas. De acordo com Bruinsma (2009), todo esse crescimento demandará um aumento de 50% na produção de alimento para 2030, sendo que para 2050, esta procura por produtos agrícolas chegará a 70%. Todo este cenário causa preocupação de como atender toda esta demanda na produção de alimentos, produzindo de forma sustentável.

Uma das alternativas de aumento da produção é o uso da irrigação. Em estudo conduzido pela Agência Nacional de Águas (ANA), verificou-se que entre 1960 e 2015, a área irrigada no Brasil aumentou consideravelmente, passando de 462 mil hectares para 7 milhões de hectares (Mha), e ainda se espera um aumento de 45% até o ano de 2030, chegando a 10 Mha. Assim, podemos perceber que a estimativa de crescimento médio da área irrigada é de 200 mil hectares ao ano. O Brasil dispõe de um potencial efetivo de expansão da agricultura irrigada de 11,2 Mha (ANA, 2017a). Devido a todo esse potencial de crescimento da agricultura irrigada brasileira, é de extrema necessidade que se melhore as técnicas de utilização da irrigação, maximizando o aproveitamento do uso da água, fazendo o uso no momento adequado e em quantidade necessária, e assim, diminuir os conflitos e aumentar a empregabilidade de seu uso para mais indivíduos.

As atividades agrícolas requerem grandes quantidades de água, indo de encontro a preocupação com sua escassez, esforços têm sido adotados no desenvolvimento de pesquisas que possam gerar uma economia de recursos

naturais (Carvalho et al., 2011). Indo nesta mesma direção, o conhecimento da evapotranspiração das culturas tem papel importante, seja para estudo de implantação de um projeto agrícola e/ou para o manejo de irrigação. Uma das formas de aumentar a eficiência do uso da água na irrigação é determinar a necessidade de água que deve ser fornecida a cultura pela estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c), em função da evapotranspiração de referência (ET_o) e do coeficiente de cultura (K_c) (Carvalho et al., 2011).

Existem diversos métodos que podem ser escolhidos para realizar a estimativa da evapotranspiração de referência, cuja escolha, depende de fatores, como, a eficiência de estimativa, local de análise, e disponibilidade de dados climáticos (Oliveira & Volpe, 2003). O método considerado padrão para conseguir estimar a evapotranspiração de referência é o de Penman-Monteith FAO (PM-FAO), porém este método requer valores de diversas variáveis que são obtidas através de estações meteorológicas, que demandam um alto custo de aquisição e manutenção, além de não estarem distribuídas em grande quantidade no território nacional, deixando de gerar uma maior representatividade local.

Com o avanço das tecnologias, o sensoriamento remoto trouxe a possibilidade de aplicação em diversas áreas, tendo sido empregado em diversos aspectos da agricultura e no fornecimento de dados climáticos de praticamente toda a parte do globo. O sensoriamento remoto é caracterizado pela obtenção de informações de um objeto sem que haja contato físico, e muitas vezes à longas distâncias. Porém, alguns estudos tornam-se necessários para que as informações disponibilizadas por estes métodos possam ser consideradas confiáveis e tenham respaldo para sua aplicação na área pretendida (Bernardi et al., 2014; Marques, 2017).

A plataforma denominada *Prediction Of Worldwide Energy Resources* (POWER) da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), denominado a partir daqui de NASAPOWER, tem disponibilizado um conjunto de dados meteorológicos na escala diária fazendo o uso de sensoriamento remoto, servindo de fonte para realização de diversos trabalhos, como realizados por Monteiro et al. (2018), Battisti et al. (2019), Aboelkhair et al. (2019) e Duarte & Sentelhas (2020). A evapotranspiração de referência pode ser estimada a partir dessas informações,

podendo ser uma ferramenta útil para o produtor rural, ajudando na tomada de decisão sobre a irrigação de suas culturas.

Embora a ocorrência da atividade agrícola irrigada esteja distribuída no território nacional, este estudo buscou identificar e analisar os diversos parâmetros que estão envolvidos na evapotranspiração de referência para os principais polos de irrigação do país e para as principais culturas cultivadas nessas regiões, isso tudo com base nas áreas atuais e projetadas para o ano de 2030. Desta forma, a hipótese desse trabalho é que o uso de dados meteorológico de satélite pode ser utilizado em substituição aos dados de estações meteorológicas de superfície para realização de manejo de irrigação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO SOBRE EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A prática da irrigação tem por objetivo fornecer água às plantas, de modo que a água fique no solo entre a capacidade de campo e a umidade crítica da cultura, sendo que nem sempre é realizado de forma adequada. Visto que quando utilizada de forma incorreta, seja por uma irrigação excessiva ou deficiente, acaba por acarretar a redução da produção, seja pelos fatores de deficiência hídrica, redução da aeração do solo, lixiviação de nutrientes, ou ainda favorecimento da ocorrência de doenças (Sentelhas, 1992).

Desta forma, é importante que se determine o consumo de água e a demanda pela cultura, para que se possa fazer uma irrigação adequada. Diversos trabalhos evidenciam a necessidade de conhecer corretamente a evapotranspiração das culturas, buscando o manejo racional da irrigação e a otimização do uso da água (Sentelhas, 1998).

A evapotranspiração é um termo utilizado para simbolizar a ocorrência simultânea de perda de água para a atmosfera, através dos processos de evaporação da água no solo e transpiração das plantas, sendo discutido desde 1940, porém, é apresentado na literatura com diferentes denominações, o que dificulta o seu entendimento e utilização de forma correta (Pereira et al., 1997a). Este fenômeno é controlado por diversos fatores como, o balanço de energia, demanda atmosférica e suprimento de água do solo para as plantas (Mendonça et al., 2003; Carvalho et al., 2011).

O conceito de evapotranspiração foi inserido primeiro por Thornthwaite et al. (1944), citado por Camargo (1962), nos Estados Unidos, como sendo a ocorrência simultânea dos processos de evaporação e de transpiração numa superfície vegetada. Posteriormente, Thornthwaite (1946, 1948) definiu a evapotranspiração potencial (ETP), como sendo a evapotranspiração que ocorre em uma extensa superfície vegetada; em crescimento ativo; cobrindo totalmente o

solo; e sem restrição hídrica, de forma que somente o balanço de energia vertical interfira no processo. Quase que ao mesmo tempo, na Inglaterra, Penman (1948, 1956), também definiu a ETP, descrevendo que a vegetação deveria ser baixa e com altura uniforme. De maneira geral, a grama foi definida como padrão, devido a sua utilização nos postos meteorológicos, principalmente em região subtropical e tropical (Pereira et al., 1997). Em região frias, opta-se pelo uso da alfafa.

A definição de ETP apesar de amplamente utilizada, apresenta pontos que geram incompreensão. Sendo que de acordo com Pereira et al. (1997), a relação de tamanho da área vegetada não é estipulada de modo a se atingir as condições de contorno exigidas, não eliminando as trocas laterais de energia.

Em condições onde o clima é árido, a evapotranspiração que predomina é gerada pelo balanço horizontal e também pelo balanço vertical de energia, ocorrendo valores mais altos do que os que haveriam na condição potencial. Penman (1956) denominou este fenômeno como sendo uma evapotranspiração de oásis (ETO), pois a mesma acontecia em climas parecidos com o de deserto (Camargo & Pereira, 1990). Segundo Pereira et al. (1997), a ETO, normalmente acontece quando a área tampão é insuficiente para eliminar os efeitos da advecção do calor sensível, podendo ser observado normalmente em pequenas áreas irrigadas que em volta possuem áreas secas.

2.2 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o)

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi definida por Jensen (1973) como sendo, aquela que ocorre em uma cultura padrão, neste caso alfafa, com a altura entre 0,3 a 0,5 m, com cerca de 100 m de área tampão na direção dos ventos e em uma dada condição climática. Doorenbos & Pruitt (1977) propuseram uma outra definição para ET_o, sendo a evapotranspiração que ocorre em uma extensa área de grama com altura de 0,08 a 0,15 m, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo e sem deficiência de água.

Em 1990 houve uma grande revolução sobre a proposição da conceituação e estimativa da ET_o. Em maio de 1990, a *Food and Agriculture Organization* (FAO), realizou na cidade de Roma, Itália, um encontro com vários especialistas na área, para discutirem sobre diversos objetivos, dentre eles analisar

os conceitos e metodologias dos cálculos da evapotranspiração, para que fosse possível estabelecer uma nova definição para a cultura de referência e o método que pudesse estimar a evapotranspiração, servindo como referência (Pereira et al., 1997). Com isso, o método combinado desenvolvido por Penman-Monteith, passou a ser o recomendado para estimativa da ETo, tornando-se largamente utilizado e muito aceito de forma internacional, passando a ser chamado após a parametrização de Penman-Monteith FAO (PM-FAO). Dessa forma, a cultura de referência utilizada é hipotética, cujas características são bem parecidas com à ETo da grama. Isso faz com que as características se mantenham como parâmetros constantes utilizados no cálculo da ETo. Estes parâmetros para a cultura hipotética são: altura fixa de 0,12 m, albedo igual a 0,23 e resistência da cultura ao transporte de vapor d'água igual a 69 s/m^{-1} . Logo, a ETo é um elemento indicativo meteorológico da demanda hídrica das culturas de um determinado local e período (Sediyama, 1996; Carvalho et al., 2011).

Apesar das definições da FAO, ainda é bastante comum o uso dos termos ETp e ETo. Pode-se dizer, que geralmente, para estudos climatológicos, o termo ETp continua sendo o mais utilizado, pois, na maioria das vezes está ligado aos estudos do potencial hídrico de uma região, enquanto que a ETo é mais adequada aos projetos de manejo de irrigação (Carvalho et al., 2011).

De acordo com Doorenbos & Kassam (1994), a evapotranspiração da cultura (ETc) pode ser definida como aquela que ocorre em uma superfície vegetada com a cultura em análise em qualquer fase do seu desenvolvimento, não ocorrendo restrição hídrica. Segundo Alves et al. (1998) é muito importante conhecer a ETc para realizar um projeto de irrigação e também o seu manejo, pois ela representa a quantidade de água que deve ser reposta ao solo, de forma a manter o desenvolvimento das plantas em condições adequadas. A determinação da ETc normalmente é realizada, aplicando-se o coeficiente de ajuste Kc à evapotranspiração de referência (ETo) (Carvalho et al., 2011).

Na literatura é possível encontrar diversos métodos de se obter a estimativa da ETo. Dentre eles, muitos têm grande aceitação, já outros são mais criticados e muitas vezes ignorados dado a simplicidade de cálculo e eficiência de estimativa. Segundo Pereira et al. (1997), os critérios para a rejeição, muitas vezes, não ficam claros ou estão ligados a interpretação de conceitos errados. Nesse

sentido, variados métodos foram criados para estimar a ETo (Tabela 1). Isso acontece em razão de diversos fatores, podendo destacar entre eles como os principais, sendo: a simplicidade de uso, adequação do método as condições climatológicas do local e a limitação de elementos meteorológicos ou climáticos de entrada (Carvalho et al., 2011; Araújo et al., 2007).

Tabela 1. Métodos de estimativa de evapotranspiração de referência (ETo), elementos meteorológicos de entrada e variáveis auxiliares de entrada.

Método	Referência original e/ou citada	Elementos meteorológicos de entrada ¹	Variáveis auxiliares de entrada ²	Observações ²
Penman (PEN)	Penman (1948), Yoder et al. (2005)	Tx, Tn, T, UR, v, n, P, Rs, Rn	DJ, Lat	Conhecido também por Penman Original. Estimativa da ETp, em escala mensal (mm mês ⁻¹). Utilizando-se T, pode-se estimar a ETp ou ETo, em escala diária, desde que o resultado seja dividido pelo número de dias do respectivo mês - este critério pode ser válido para todos os métodos cujo resultado seja apresentado em mm mês ⁻¹ .
Thornthwaite (TW)	Thornthwaite (1948)	Tm, Tm, T	Lat	
Turc (TC)	Yoder et al. (2005), Trajkovic & Kolakovic (2009), Tabari (2010)	T, UR, Rs	DJ, Lat	_____
Penman-Monteith-FAO (PM-FAO)	Allen et al. (1998)	Tx, Tn, T, UR, v, n, P, Rs, Rn	DJ, Lat	Também conhecido por Penman-Monteith FAO 56.
Tanque Classe A (TCA)	Doorenbos & Pruitt (1977), Allen et al. (1998), Barros et al. (2009)	ECA, v, UR	Extensão da bordadura do tanque	_____
Blaney-Criddle (BC)	Doorenbos & Pruitt (1977), Pereira et al. (1997), López-Urrea et al. (2006)	Tm, URmín, n, v	DJ, Lat	Também conhecido por Blaney-Criddle FAO 24. Todos os dados de entrada em médias mensais. Estimativa da ETo em escala mensal (mm mês ⁻¹). Com DJ e Lat, pode-se estimar o parâmetro “p” sem uso de tabela. Ver, também, observação do método TW, para estimativa da ETo em escala diária.
Makkink (MK)	Pereira et al. (1997), Yoder et al. (2005)	Rs, P, T	DJ, Lat	Os parâmetros “s” ou “Δ”, γ e λ são estimados da mesma forma que no método PM-FAO.
Hamon (HM)	Borges & Mendiondo (2007), Pereira et al. (2009)	T	DJ, Lat	DJ e Lat para estimativa de N (duração astronômica do dia).
Radiação Solar (RS)	Doorenbos & Pruitt (1977), Pereira et al. (1997)	T, v, UR, Rs, P	_____	Também conhecido por Radiação Solar FAO 24. É uma adaptação ao método MK. As observações são as mesmas para o método de MK. Acrescenta-se P, para a obtenção do parâmetro “W”.
Linacre (LN)	Pereira et al. (1997)	Tm, Tpo, Tx, Tn	Lat, Alt	Trata-se de uma simplificação do método PEN. A parte (Tm-Tpo) deste método pode ser estimada em função de Alt, Tm, Tx, Tn e, ainda, pela diferença entre as temperaturas médias dos meses mais quente e mais frio. Estima a ETo em escala mensal (mm mês ⁻¹). Ver, também, observação do método TW, para estimativa da ETo em escala diária.
Camargo (CAM)	Pereira et al. (1997)	Tm	DJ, Lat	É uma simplificação do método TW. Estima a ETp em período de 10 ou 30 dias. Ver, também, observação do método TW, para estimativa da ETo em escala diária.
Jensen-Haise (JH)	Pereira et al. (1997), Trajkovic & Kolakovic (2009)	Rs, T	DJ, Lat	_____
Hargreaves (HG)	Allen et al. (1998), Sousa et al. (2010)	T, Tx, Tn	DJ, Lat	Bastante divulgado como método “Hargreaves e Samani”.

Método	Referência original e/ou citada	Elementos meteorológicos de entrada ¹	Variáveis auxiliares de entrada ¹	Observações ²
Priestley-Taylor (PT)	Pereira et al. (1997), Sentelhas et al. (2010), Tabari (2010)	T, P, Rn, G	DJ, Lat	É uma simplificação do método PEN. Rn e G podem seguir os mesmos procedimentos do método PM-FAO.
Holdridge (HD)	Vega & Jara (2009)	T	—	O parâmetro “CHO” deste método permite ajustar as estimativas em diferentes escalas de tempo (diária, mensal e anual).
Kharrufa (KF)	Borges & Mendiondo (2007), Pereira et al. (2009)	T	DJ, Lat	DJ e Lat para estimativa do parâmetro “p”.
ASCE - PenmanMonteith (ASCE-PM)	Temesgen et al. (2005), Allen et al. (2006), Gavilán et al. (2008)	—	—	É um aperfeiçoamento do método PM-FAO, para estimativas da ETo em escalas de tempo menores que um dia. Os dados de entrada são os mesmos para PM-FAO, desde que sejam médias do intervalo de tempo. Normalmente, a escala de tempo é horária.
Penman Modificado (PENMOD)	Doorenbos & Pruitt (1977), Yoder et al. (2005), Chauhan & Shrivastava (2009)	—	—	Também conhecido por PENMAN FAO 24. É uma modificação do método PEN. As variáveis são praticamente as mesmas do método PEN.

¹Tx, Tn e T: temperatura do ar diárias máxima, mínima e média, respectivamente; UR: umidade relativa do ar média diária; v: velocidade do vento; n: insolação ou horas de brilho solar; P: pressão atmosférica média diária; Rs: radiação solar; Rn: saldo de radiação no sistema solo-planta-atmosfera; Tmn: temperatura do ar normal (média de 30 anos) do mês ou a média mensal de vários anos com representatividade climática; Tm: temperatura do ar média mensal observada no mês em estudo; ECA: evaporação do tanque Classe A; URmín: umidade relativa do ar mínima; Tpo: temperatura do ponto de orvalho; G: fluxo de calor no solo. ²Para os métodos que necessitam da radiação solar (Rs) e/ou saldo de radiação (Rn), quando não há a disponibilidade destes elementos medidos, estes poderão ser estimados, em função de outros elementos climáticos (Tx, Tn, T, UR), complementados com DJ (dia Juliano) e Lat (latitude). O parâmetro λ (calor latente de evaporação), presente em vários métodos, equivale a 2,45 MJ kg⁻¹, podendo, também, ser estimado em função de T, utilizado para converter a radiação à superfície ou extraterrestre, em equivalente de evaporação.

Fonte: Adaptado de Carvalho et al. (2011).

2.3 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

Tendo em vista que o clima é considerado um aspecto de extrema importância na produção agrícola, é fundamental que se tenha acesso a dados meteorológicos confiáveis para que se possa avaliar os impactos que estes exercem na produção. A forma mais comum de medir e obter os dados climáticos é através das estações meteorológicas convencionais (EMC) ou de estações meteorológicas automáticas (EMA). A diferença básica entre as duas é de que na EMC necessita da presença diária de um observador para fazer a coleta dos dados manualmente, enquanto que na EMA, os dados são captados e registrados por sensores elétricos em um *Datalogger*, tendo a vantagem de um registro contínuo dos dados e intervalos de saída determinados pelo operador, não havendo a necessidade de um observador diário no local (Pereira et al., 2008; Galina & Verona, 2004).

A utilização do monitoramento dos elementos meteorológicos na agricultura tem contribuído para o aumento da produtividade e também na qualidade dos produtos oferecidos, além da preservação de recursos naturais. Isto é possível devido as aplicações no acompanhamento e previsão de geadas, ocorrência de pragas e doenças e no manejo da irrigação (Pereira et al., 2008).

A utilização de estações meteorológicas automáticas é considerada recente no Brasil, e apesar de fornecerem dados para o cálculo da ETo, ainda demandam um alto custo de aquisição, fazendo com que muitos produtores não tenham condições financeiras de adquirir o produto. Além disso, estas estações necessitam de uma instalação e manutenção criteriosa para que seus dados possam ser coletados de forma correta e sejam condizentes com a realidade, necessitando de mão de obra na operação e manutenção dos sistemas e seus componentes quando apresentam falhas (Pereira et al., 2008; Moura, 2018), garantindo qualidade dos dados coletados.

Dado ao sistema de funcionamento, as EMA podem apresentar problemas de funcionamento dos equipamentos e ocorrer falhas na coleta de dados, havendo a necessidade de utilizar os dados meteorológicos advindos das EMC. Mesmo assim, com o avanço da tecnologia empregada nas EMA, melhorando os seus componentes e deixando-os mais acessíveis, elas tendem a substituir de forma gradual as EMC, devido as dificuldades de recursos humanos por parte das instituições que operam as redes de estações convencionais. Porém, antes que se faça estas substituições serão necessários alguns cuidados, principalmente com relação a homogeneização da série de dados (Sentelhas et al., 1997).

Em climatologia agrícola uma importante questão surge quando se pretende substituir uma EMC, que possui uma longa série de dados histórica, por uma EMA com uma nova série, ou seja, como transferir a confiabilidade da EMC para a EMA, de forma que as séries obtidas pelas duas possam ser consideradas como uma série única. Em trabalhos realizados por Sentelhas et al. (1997), Souza et al. (2003) e Oliveira & Volpe (2004) mostram que os dados obtidos entre as comparações de EMC e EMA tem demonstrado uma boa concordância entre os elementos avaliados, principalmente em relação a temperatura.

Embora esses trabalhos demonstrem alta concordância entre os dados observados nos dois tipos de estações climatológicas, os coeficientes de ajuste devem ser calculados de forma independente para cada local em que as estações climatológicas estejam instaladas.

A escolha dos sensores é de grande importância, devendo seguir esta ordem de prioridade: precisão; custo; manutenção; e consumo de energia (Campbell & Tanner, 1981). Quando pretende-se realizar a coleta de dados para uso no manejo de irrigação, a principal preocupação é com a precisão dos sensores, pois se houver uma baixa precisão poderá ocorrer erros graves na determinação da ETo, principalmente quando se faz uso de estações de baixo custo (Serrarens et al., 1997).

Segundo Sentelhas et al. (1997), apesar das estações automáticas fornecerem dados com melhor caracterização das condições do local, em razão da aquisição contínua dos dados, estas nem sempre são disponíveis, tendo a necessidade de utilizar dados meteorológicos provenientes de estações convencionais com menor representatividade, especialmente das condições médias. Nesse sentido, uma alternativa é o uso de dados meteorológicos oriundos de satélites, como será discutido no item 2.8 e 2.9.

2.4 RECURSOS HÍDRICOS

O planeta Terra é preenchido em sua superfície por 2/3 de água, distribuídos em oceanos, mares, neves, lagos e rios. Mesmo a água sendo abundante no planeta, continua sendo um recurso finito e não renovável, ocorrendo a diminuição da água potável a cada ano, devido ao crescimento da população mundial e a degradação de nascentes e seus mananciais (Vieira, 2003; Lorensi et al., 2010).

A estimativa é de que 97,5% da água do planeta Terra seja salgada e imprópria para o consumo direto ou mesmo para realizar a irrigação de plantações. Dos 2,5% de água doce restante, cerca de 69% dela é de difícil obtenção, estando presentes em geleiras, e outros 30% são águas subterrâneas que estão armazenadas em aquíferos, necessitando de perfurações de poços para sua retirada (ANA, 2018). Com isso resta apenas 1% de água doce disponível nos rios.

A obtenção de água doce para o uso vem sendo considerado um problema mundial nos últimos anos. Mesmo o Brasil, que detém 12% de toda água doce do mundo, apresenta conflitos pelo uso dos recursos hídricos, que se deve à diversos fatores, inclusive a distribuição desigual entre as regiões do país. A região Amazônica possui cerca de 68,5% dos recursos hídricos nacional, havendo apenas 4,5% da população ocupando seu território, enquanto que a região Sul e Sudeste, que possuem cerca de 58% de toda população brasileira e são os que mais fazem uso de água, possuem apenas 12,5% dos recursos hídricos disponíveis (Lorensi et al., 2010).

Mesmo havendo grande volume de água em alguns países, como é o caso do Brasil, há regiões onde a disponibilidade está comprometida devido ao aumento populacional desordenado e o uso de forma indiscriminada por diversos setores, além da necessidade de um acréscimo na produção de alimentos em virtude da maior demanda (Coletti, 2005; Lorensi et al., 2010).

Com a preocupação em relação a disponibilidade e demanda de água no território nacional, a criação de leis e regulamentações federais foram sendo estabelecidas, determinando as políticas de uso e conservação dos recursos hídricos (Lorensi et al., 2010). Através do Decreto Federal nº 24.643 de 1934, o Código de Águas foi a primeira legislação realizada para abordar o uso das águas no Brasil. Este foi promulgado em um contexto nacional para modernização e desenvolvimento econômico, em que a água era tida com um bem em abundância (ANA, 2017b; Brasil, 1934).

Em razão do desenvolvimento industrial e o aumento da população na década de 1970, ocorreu uma diminuição na disponibilidade de água em alguns locais, intensificando os conflitos, tornando-se necessário elaborar mecanismos de coordenação para os usos de forma otimizada. Portanto foi criada a atual Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), definida na Lei nº 9.433 de 1997, também chamada de “lei das águas”, que promoveu a modernizando da gestão dos recursos hídricos no país (ANA, 2017b; Brasil, 1997). Nesse sentido, através da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, a Agência Nacional de Águas foi criada, tendo a finalidade de implementar a PNRH e de coordenar o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Brasil, 2000).

2.5 CICLO HIDROLÓGICO E O BALANÇO HÍDRICO NO CULTIVO

O ciclo hidrológico, ou também chamado de ciclo da água, se dá pelo movimento constante da água que se encontra nos oceanos, continentes (superfície, solo e rocha) e na atmosfera. Esse movimento dinâmico é alimentado por uma série de forças como, a gravidade, que atua nos fenômenos da precipitação, infiltração e deslocamento das massas de água; os ventos, que transportam vapor d'água pelos continentes e a energia solar que provocam a evaporação das águas dos oceanos e dos continentes (ANA, 2019; MMA, 2020).

A principal forma de entrada da água no ciclo hidrológico é a chuva, que através da formação de nuvens carregadas na atmosfera, faz com que ocorra a precipitação, podendo ser na forma de chuva, granizo, orvalho ou neve, em que parte dela escoar pelos rios, outra infiltra no solo e o restante evapora ou fica nas folhas da vegetação (ANA, 2019; MMA, 2020). Ao longo de todo o trajeto, a água é utilizada de inúmeras formas, indo desaguar no mar, onde após a evaporação, condensa novamente formando as nuvens que serão conduzidas pelos ventos, fazendo com que o ciclo se reinicie (ANA, 2019).

As principais entradas de água no território brasileiro ocorrem pela precipitação com cerca de 13,8 trilhões de m³ e vazões advindas de outros países (2,7 trilhões de m³), essencialmente na Amazônia. Depois de utilizada por diferentes atividades, retorna ao ambiente e sai do território para os países vizinhos ou para o Oceano Atlântico (ANA, 2019).

Segundo Mendonça et al. (2003) o principal parâmetro para realizar um bom dimensionamento e um manejo de qualquer sistema de irrigação é determinar a quantidade de água necessária para a cultura que se deseja implantar. Assim, o conhecimento do balanço hídrico do local, é de fundamental importância para obtenção de um sistema mais eficiente, tendo como os principais componentes do ciclo hidrológico a evapotranspiração e a precipitação.

Valores de precipitação são facilmente obtidos de forma direta, através de pluviômetros ou pluviógrafos, demandando baixos custos de aquisição ou de manutenção, porém, segundo Pereira et al. (1997), a obtenção de medidas da evapotranspiração de forma direta é onerosa e difícil (Moura et al., 2013).

O balanço hídrico pode ser obtido através da variação do volume de entrada e saída de água no solo com vegetação em um determinado período de tempo (ΔARM). Para balanço o balanço é considerado uma dada camada de solo, em que a mesma é delimitada por uma certa extensão de área superficial e uma determinada profundidade. As principais entradas e saídas do balanço hídrico são: precipitação, seja ela natural ou artificial (P); orvalho (O); escoamento superficial (Run-in - Ri, e Run-off - Ro); ascensão capilar (AC); drenagem lateral (DLi e DLo); evapotranspiração (ET); e drenagem profunda (DP) (Figura 1). Levando em consideração que as entradas e saídas por escoamento superficial (Ri e Ro) e drenagem lateral (DLi e DLo) tendem a se compensar, além de que o orvalho (O) representa uma pequena contribuição (no máximo 0,5mm/d), o balanço hídrico pode ser expresso da seguinte maneira: $\Delta ARM = P - ET + AC - DP$ (Sentelhas, 1998).

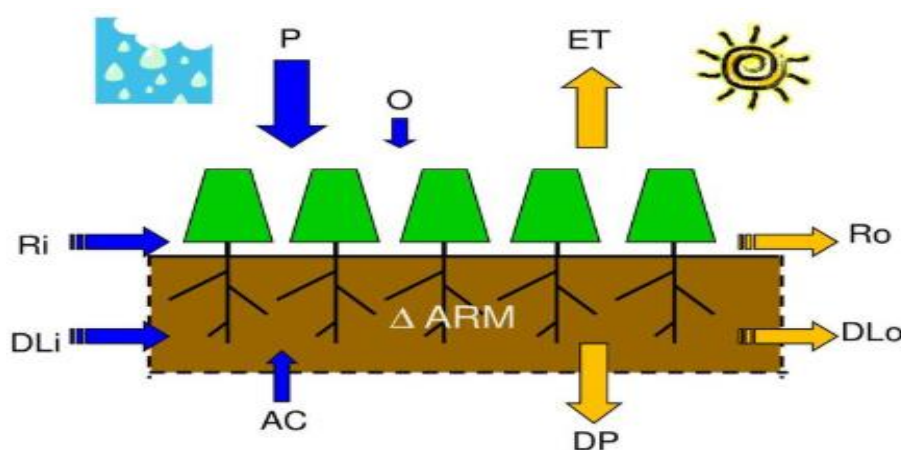


Figura 1. Componentes de entrada e saída de água no balanço hídrico.
Fonte: Adaptado de Sentelhas & Angelocci (2009).

2.6 IRRIGAÇÃO

A irrigação é uma prática agrícola que utiliza um conjunto de equipamentos e técnicas para suprir a deficiência total ou parcial de água para as plantas, tendo como objetivo principal o fornecimento de água em quantidade e momento adequado as culturas, fazendo com que as mesmas não sofram com déficit ou excesso hídrico e, consequentemente, obtendo a máxima produtividade (Embrapa, 2008; ANA, 2017a).

A água exerce papel fundamental na produção de alimentos e na sobrevivência do ser humano e demais seres vivos. De acordo com Bernardo et al. (2019), atualmente, mais da metade da população mundial depende de alimentos produzidos em áreas que fazem o uso de irrigação. Mesmo apresentando ótimos resultados no uso de forma isolada, é recomendado que esta prática seja implementada como parte final de um conjunto de melhorias feita pelo produtor rural, como, uso de insumos, maquinário, implementos e serviços de boa eficiência, para que assim possam alcançar benefícios satisfatórios (ANA, 2017a).

A nível mundial as estimativas apontam que 40% da produção de alimentos é decorrente de áreas irrigadas, as quais ocupam apenas 17% da área cultivada (Bernardo et al., 2019). Nesse sentido, em 2050 a população mundial atingirá cerca de 9 bilhões de habitantes, havendo uma necessidade de aumentar a produção de alimentos em aproximadamente 60%, os quais a agricultura irrigada tem uma grande responsabilidade para suprir essa demanda (Bernardo et al., 2019).

Entretanto, no Brasil cerca de 95% da produção de grãos provém da agricultura de sequeiro (Conab, 2015), sendo que os ganhos de produtividade vêm sendo acrescentados de acordo com o avanço tecnológico empregado na propriedade. No Brasil, a irrigação teve início tardio, com um projeto de iniciativa privada em 1903, cujo objetivo era construir um reservatório no Rio Grande do Sul, para fornecimento de água à uma plantação de arroz (Brasil, 2008).

De acordo com ANA (2017a), a irrigação no país se intensificou nas décadas de 1970 e 1980, impulsionada por iniciativas governamentais e a necessidade da expansão da agricultura em regiões consideradas menos favoráveis em relação as características climáticas. De acordo com dados da FAO (2018), o Brasil está entre os dez países com a maior área irrigada do mundo, totalizando 7 milhões de hectares.

Segundo a ANA (2017a) nas últimas décadas, todas as unidades federativas do Brasil tiveram aumento nas suas áreas irrigadas (Figura 2), havendo um aumento expressivo nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Tocantins, Bahia, Rio Grande do Sul e Goiás.

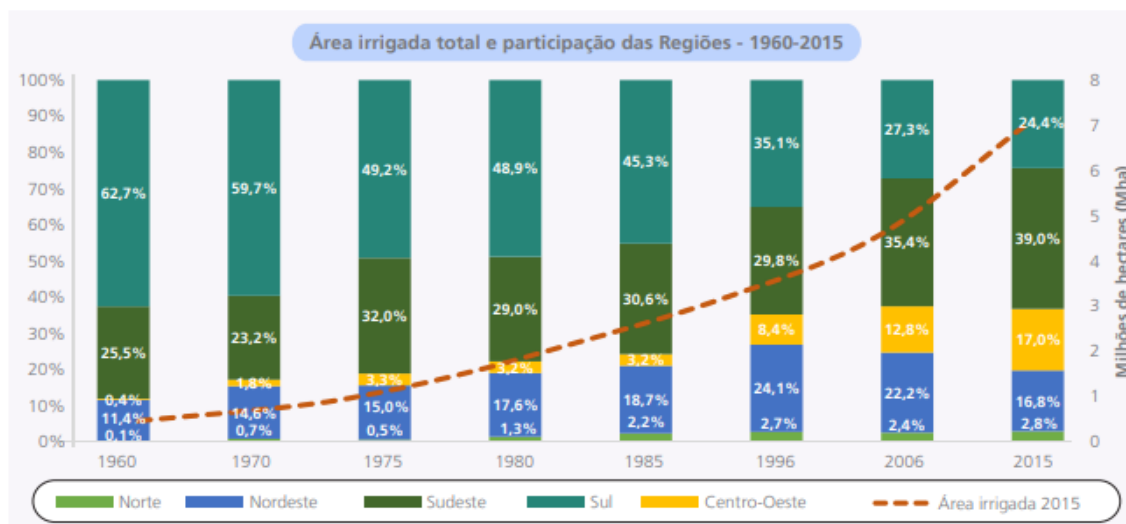


Figura 2. Área irrigada total e participação das regiões geográficas (1960-2015).
Fonte: Adaptado de ANA (2017a).

No Brasil, o arroz ocupa 22% da área irrigada e é responsável por 37,8% do consumo de água da agricultura irrigada. Já os pivôs centrais ocupam 20% da área e consomem 20,5% de água. Já a cana-de-açúcar ocupa 29% da área, consumindo 10,9% da água, sendo que esta cultura possui a característica de que grande parte da irrigação é utilizada como irrigação de salvamento. As demais culturas ocupam 29%, consumindo 30,8% da água total de irrigação (ANA, 2017a).

A irrigação teve enorme contribuição para o aumento da produção agrícola mundial nas últimas décadas. Países em desenvolvimento como, China e Índia, triplicaram suas produções em apenas 25 anos, principalmente devido aos investimentos em irrigação. Aproximadamente 62% da área irrigada no mundo utilizam fontes de água superficiais, enquanto que o restante das áreas (38%) faz uso da água subterrânea (FAO, 2011).

Segundo a FAO (2011) a estimativa de irrigação mundial em 2050 é de 318 milhões de hectares. Esse aumento de área irrigada implicará em uma maior oferta de alimentos e, conseqüentemente, aumento da demanda por água para irrigação. Atualmente os países que possuem as maiores áreas irrigadas são: China e Índia, com cerca de 70 milhões de hectares (Mha) cada, seguidos dos EUA com 26,7 Mha, Paquistão (20,0 Mha) e Irã (8,7 Mha) (ANA, 2017a).

O setor de irrigação é o que possui o maior e mais dinâmico uso consuntivo de água dos mananciais no Brasil e no mundo. Este é caracterizado pela maior parte da água sendo evapotranspirada pelas plantas e solos e não

retornando diretamente aos corpos hídricos em um curto espaço de tempo (ANA, 2017a).

Embora a expansão do setor aumente o uso da água, diversos benefícios podem ser observados, tais como a otimização do uso do solo e de insumos (máquinas, implementos, mão-de-obra etc.), o aumento e a regularidade na oferta de produtos agrícolas, o estímulo à implantação de agroindústrias e a minimização de riscos meteorológicos e climáticos (ANA, 2017a).

No horizonte de 2030 a nível nacional, estima-se que a área irrigada crescerá 45%, enquanto a retirada de água deverá crescer 38%. O menor crescimento do uso em relação à área deve-se à perspectiva de maior avanço de sistemas mais eficientes no uso da água, tais como a irrigação localizada (gotejamento e microaspersão) e a aspersão por pivô central, que representaram 70% do incremento da área irrigada no país entre 2006 e 2016 (ANA, 2017a).

A eficiência de irrigação é dada entre a razão da quantidade de água realmente usada pela cultura e a quantidade de água retirada da fonte. Esse índice é considerado baixo tanto a nível mundial como nacional, em que a eficiência mundial fica em torno de 37%, enquanto a nacional em torno de 60%. Se a irrigação fosse realizada de forma racional poderia haver uma economia de aproximadamente 20% do uso da água, devido a não aplicação excessiva, e economia de 30% da energia, relativos ao melhor dimensionamento do sistema e a otimização dos equipamentos que seria utilizado (Coelho et al., 2005).

Nos países desenvolvidos, o uso de água para indústria é de 59%, enquanto que para a agricultura é de 30%, evidenciando que a demanda de água nestes países é maior na indústria do que na irrigação. No Brasil, a situação se inverte, pois, o consumo da agricultura é de 72%; da indústria, de 7%; do abastecimento urbano, de 9%; da dessedentação animal, de 11%; e do abastecimento rural, de 1% (Assad, 2016).

2.7 MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO

Tendo em vista os vários indicadores relacionados a planta, solo e/ou componentes da atmosfera, torna-se possível uma diversidade de métodos para quantificar a necessidade de irrigação, definindo de forma mais eficiente quanto e

quando irrigar (Marouelli et al., 2011). No que se refere ao fato de quando irrigar, devemos observar que além da escolha do indicador a ser utilizado, ainda tem que considerar o aspecto do turno de rega, podendo ser variável ou fixo. Já no que se refere ao fato de quanto irrigar, dois procedimentos devem ser considerados: um seria a avaliação do teor de água no solo (indicador de solo) e outro, a determinação da ETc (indicador com base na atmosfera), mas ambos ligados ao balanço hídrico do sistema (Marouelli et al., 2011).

O agrupamento de métodos de irrigação pode ser dado com base na forma de aplicação da água, destacando-se quatro métodos principais: irrigação por superfície, subterrânea, por aspersão e localizada (ANA, 2017a).

O método de irrigação por superfície constitui da aplicação direta de água na superfície do solo e em altas quantidades, para que forme e mantenha uma lâmina de água uniforme, através de faixas ou diques, podendo ser temporário ou por um período permanente (Lorensi et al., 2010). Já a irrigação subterrânea ou subirrigação, é um método que consiste na aplicação de água diretamente na subsuperfície do solo, fazendo com que ocorra uma formação, manutenção e controle de um lençol de água artificial ou pelo controle natural, mantendo-o a uma profundidade conveniente, geralmente de 0,30 a 0,80 m. Por ascensão capilar, o lençol d'água, proporciona a umidade necessária às raízes das plantas (Robbins & Vinchesi, 2011).

A irrigação por aspersão consiste em fracionar o jato d'água em inúmeras gotículas que espalham pelo ar, fazendo com que forme uma chuva artificial, aplicando a água sobre o solo. Isto é possível devido à pressão exercida pelo bombeamento da água que passa pela tubulação até a saída pelos orifícios dos aspersores (Testezlaf, 2011). Já o sistema de irrigação localizada, visa a aplicação de água próximo a região do sistema radicular da planta em pequenas quantidades, mas de forma frequente, o que mantém o solo perto da capacidade de campo. Com isso a quantidade de água usada é menor, devido a menor superfície irrigada, diminuindo a quantidade de água utilizada, apresentando uma eficiência maior que os demais sistemas de irrigação, com valores entre 85% a 95% (Reis, 2015).

O sistema de irrigação a ser utilizado deve ser baseado nas condições de solo, clima e nível socioeconômico, sendo necessário definir o método de

manejo de irrigação mais adequado a cultura de interesse. Nesse cenário é necessário considerar a aplicação de acordo com a cultura empregada, necessitando saber a quantidade e o momento correto de irrigação, observando também outros fatores, como problemas fitopatogênicos e de disponibilidade de energia e água (Marouelli et al., 2011).

Devido a variação da necessidade de água pelas plantas em razão da dinâmica do ciclo de desenvolvimento da cultura e fatores que afetam a disponibilidade de água no solo, um dos métodos mais recomendados para quantificar a quantidade de água a ser aplicada nas lavouras de alto valor econômico, são aqueles com base na estimativa da ETc através de dados meteorológicos (Thompson et al., 2007).

O método mais utilizado no manejo da irrigação das culturas é aquele que faz uso da combinação do estado da água no solo e da evapotranspiração da cultura. Nesse caso, o momento de irrigar é determinado a partir de um indicador de umidade ou tensão de água no solo e a quantidade de água a ser aplicada é calculada com base na ETc. Dessa forma, para se obter a evapotranspiração da cultura (ET_c - mm dia⁻¹) de maneira indireta, basta multiplicar o coeficiente de cultura (K_c – adimensional) pela evapotranspiração de referencia (ET_o - mm dia⁻¹) (Marouelli et al., 2011).

2.8 SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto (SR) é a ciência de obter informações sobre determinados objetos, sem que tenha contato físico direto com o mesmo e, muitas vezes, a longas distancias (Jensen, 2007). Os primeiros usos do SR foram através de câmeras colocadas em aeronaves, balões e foguetes. Atualmente, as formas de obter informações por SR se tornaram mais avançadas, sendo utilizado diversos meios como, uso de satélites, veículos aéreos não tripulados (VANTS), aeronaves e até máquinas agrícolas autopropelidas (Bernardi et al., 2014). Nessa área, o geoprocessamento está inserido para contribuir com as demais áreas da ciência, cuja as técnicas envolvem um conjunto de coleta, tratamento, manipulação e apresentação de informações espaciais (Rodrigues, 1993).

As técnicas de SR trouxeram diversas possibilidades de aplicações, devido as grandes áreas da superfície que podem ser exploradas, podendo ser utilizada em praticamente todo o globo. Os dados gerados por SR podem contribuir para o planejamento e alocação de recursos hídricos, avaliação de impactos ambientais e ocupação da terra. A agronomia é uma das que mais se beneficiou com estes avanços, permitindo desenvolver trabalhos sobre diversos assuntos como, estimativa de biomassa e produtividade da cultura, monitoramento de variedade de espécies vegetais, estresse hídrico, estágio fenológico, balanço de carbono, dentre outros (Bastiaanssen, 2000; Brandão, 2009; Bernardi et al., 2014).

Dentre as diferentes plataformas de SR existentes, os satélites da série Landsat merecem um destaque especial, em que através do programa de levantamento de recursos terrestres da NASA, conduzido pelos americanos em 1970, possibilitou o lançamento do Landsat 1, cuja operação e geração de imagens da superfície terrestre se deu em 1972. Este satélite contribuiu para um grande crescimento das observações realizadas através de satélites, sendo que o programa continua gerando imagens até os dias atuais, através da continuidade de outros satélites lançados (NASA, 2013).

Para o Landsat outro avanço ocorreu a partir de abril de 2008, em que as imagens foram disponibilizadas ao público em geral. No ano de 2013, o satélite Landsat 8 foi lançado, trazendo várias novidades para o mapeamento em mesoescala, importante para os usuários. A previsão de lançamento do satélite Landsat 9 está planejada para setembro de 2021, tendo componentes mais novos e mais avançados (Marques, 2017; USGS, 2020).

As informações geradas por SR apresentam uma enorme usabilidade, principalmente quando o processamento dos dados é realizado de forma a obter informações que trazem benefícios direto ao usuário. Nesse sentido, a agricultura teve um avanço de suas atividades a partir destas tecnologias em âmbito mundial, seja ela na área agrícola, florestal ou pecuária (Marques, 2017). Nos últimos anos o SR também vem sendo utilizado na análise de transpiração das culturas e sua relação com o desenvolvimento e crescimento, por ter um custo relativamente baixo, maior operabilidade e cobertura de extensas áreas em relação a outras técnicas antes utilizadas com maior intensidade (Aldrigui, 2020; Marques, 2017; Quirino, 2017).

Segundo Allen et al. (2011), o uso do sensoriamento remoto se tornou um método importante para a estimativa da ETc, pois esta tecnologia trouxe a possibilidade de aplicar tais estimativas para uma gama de espécies vegetais e em diferentes condições de disponibilidade hídrica. De acordo com Silva & Bezerra (2006), o mapeamento da evapotranspiração realizado por SR pode ter seu uso tanto no planejamento de atividades agrícolas, quanto no gerenciamento de recursos hídricos.

Os sensores utilizados no SR podem ser divididos em duas categorias: passivos ou ativos. Os sensores passivos registram a energia eletromagnética refletida ou emitida pelo alvo, como a radiação solar refletida ou radiação termal emitida. Alguns exemplos de sensores passivos são os multiespectrais acoplados em diversos satélites, como o Operational Land Imager (OLI), a bordo do satélite Landsat 8, e o Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), a bordo dos satélites TERRA e AQUA. Os sensores ativos proporcionam fonte própria de energia eletromagnética, como os radares, sonares, sensores ativos de dossel (como o Crop Circle e Greenseeker) e LiDAR (Bernardi et al., 2014).

Dentro do sensoriamento remoto as definições de resolução espectral e temporal são fundamentais para definição das possibilidades de aplicação dos dados coletados. A resolução espectral se refere ao número e ao tamanho dos intervalos de comprimento de onda (bandas) do espectro eletromagnético mensurado. De acordo com a faixa do espectro, os alvos na superfície terrestre respondem de maneira diferente, fazendo com que cada banda tenha diferentes aplicações. Sensores multiespectrais possuem bandas em diferentes faixas do espectro eletromagnético, cobrindo a faixa do visível, infravermelho próximo, médio e termal (Bernardi et al., 2014).

A resolução temporal se refere ao intervalo de tempo necessário para a captura de dados de um mesmo local. Para as plataformas como o Landsat ou o Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS), o tempo de revisita é de 16 e 26 dias, respectivamente. Outros sensores com menor resolução temporal, como o MODIS ou AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), são capazes de obter dados diariamente (Embrapa, 2009; Bernardi et al., 2014). Porém, para melhorar o conjunto de dados captados também são utilizados sistemas

baseados em uma constelação de satélites, que permitem aliar alta resolução espacial com alta resolução temporal.

Para se fazer um bom manejo da irrigação, é recomendável o uso de estimativas de evapotranspiração com alta frequência temporal. A alta frequência temporal é necessária para captar a dinâmica da evapotranspiração durante um intervalo de tempo, já que ela sofre alteração em função da quantidade de água precipitada ou aplicada por irrigação no solo (Silva et al., 2012; Scherer-Warren & Rodrigues, 2013). Devido os diversos tipos de sensores remotos que apresentam diferentes características, podendo ser úteis em várias aplicações, como estudos globais, programas de monitoramento em grandes áreas, além de estudos usuais em escalas detalhadas como o ambiente urbano e no manejo da agricultura.

2.9 NASAPOWER

A *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) ou em português, a Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço, agência do Governo Federal dos Estados Unidos responsável pela pesquisa e desenvolvimento de tecnologias e programas de exploração espacial, visando entender o funcionamento do planeta Terra, buscou estudar alguns parâmetros na terra a partir do espaço, como a luz solar, vento, temperatura e precipitação. Isto foi possível através do programa de pesquisa em ciências da terra, que há muito tempo fornece dados importantes para estudo do clima, fazendo parte as estimativas meteorológicas e de fluxo de energia solar a longo prazo. Estas informações começaram a ser utilizadas de maneira prática no aprimoramento de tecnologias de energia eólica e solar, além de melhorar a eficiência no campo da agrometeorologia (Keck, 2020; Stackhouse, 2020).

O projeto *Prediction Of Worldwide Energy Resources* (POWER) ou Previsão de recursos mundiais de energia renovável, é dirigido pela Divisão de Ciências da Terra, financiado pelo Programa de Ciências Aplicadas da NASA. O projeto POWER foi criado em 2003 e foi desenvolvido através da parceria e contribuições técnicas e científicas de diversas equipes, como a integração do Programa Mundial de Pesquisa Climática (WCRP) e Trocas Globais de Energia e Água (GEWEX), além dos projetos Nuvens e Sistema de Energia Radiante da Terra

(CERES) do Centro de pesquisa Langley (LaRC) e o Escritório Global de Modelagem e Assimilação (GMAO) do Centro de Vôo Espacial Goddard (GSFC), ambos da NASA. Os dados disponibilizados pelo sistema NASA-POWER na web (<https://power.larc.nasa.gov>) foi possível pela colaboração com o Centro de Dados da Ciência Atmosférica (ASDC) (Mikovitz, 2019, Brand, 2020, Gass, 2020, Joseph, 2020, Kusterer, 2019, Stackhouse, 2020).

O sistema NASA-POWER foi desenvolvido para fornecer um conjunto de informações meteorológicas e solares para dar suporte e ser usado diretamente em variadas áreas, como à arquitetura, agricultura, na geração de energia renovável e eficiência energética (Stackhouse et al., 2016). Os produtos obtidos, baseados em satélites e modelos de dados, demonstraram ser precisos o suficiente para fornecer dados confiáveis de recursos solares e meteorológicos em localidades que as medições em superfície são escassas ou inexistentes (Stackhouse, 2020).

O Projeto POWER contém mais de 200 dados derivados de satélites para análise de questões ligadas a meteorologia e energia solar, e dispostos em vários níveis temporais: por hora, diariamente, interanual e series climatológicas. Os principais usuários são ligados a meteorologia de superfície e energia solar, e edifícios sustentáveis e agroclimatologia, os quais já obtém os dados de saída nas unidades e convenções mais empregados de cada área (Yates, 2018).

O Data Archive fornece dados solares e meteorológicos de forma global, em uma resolução espacial de latitude e longitude de 0,5 x 0,5 graus. Os dados são disponibilizados diariamente, os quais são atualizados todas as noites durante o período de latência das variáveis solares e meteorológicos, em que estes são analisados e validados. As variáveis meteorológicas têm uma latência de 2 a 3 dias, mas normalmente estão prontos para ser disponibilizados em cerca de 2 dias após a medida. Já os dados solares têm uma latência de 5 a 7 dias, mas normalmente são disponibilizados em até 4 dias (Yates, 2018; Stackhouse, 2020).

A plataforma faz uma junção de informações de várias fontes de dados de maneira direta e derivadas de sistemas de dados em grade. Por exemplo, os dados de temperatura do ar e umidade relativa são obtidos em tempo real do sistema do Gabinete Global de Modelo e Assimilação, já os dados de precipitação

são obtidos do Projeto Global de Clima de Precipitação (Maldonado Júnior et al., 2019).

O uso de dados climáticos advindos de grade é uma forma de solucionar a ausência de dados para a estimativa da evapotranspiração potencial, como pode ser encontrado na plataforma NASAPOWER. Esta combina várias informações agrometeorológicas, adquiridas da superfície, dos oceanos e sensoriamento remoto (Maldonado Júnior et al., 2019; Meneses, 2019). O banco de dados do NASAPOWER pode ser acessado no site (<http://power.larc.nasa.gov/>), em que os dados podem ser baixados em alguns formatos disponíveis dependendo do objetivo, como estudos de variabilidade climática e aplicativos de configuração (formato ASCII) (Stackhouse et al., 2016).

Os parâmetros solares são derivados do arquivo GEWEX/SRB da versão 3.0 da NASA, que foi de 1 de julho de 1983 à 31 de dezembro de 2007 e de várias versões do projeto CERES FLASHFlux da NASA, com a versão 2 (D,E,G, H) de 1 de janeiro de 2008 até 31 de dezembro de 2012 e versão 3 (A, B e C) de 1 de janeiro de 2013 até o presente. Já os parâmetros meteorológicos são derivados do modelo de assimilação GMAO MERRA-2 da NASA (1º de janeiro de 1981 até um mês do tempo real) e do GEOS 5.12.4 FP-IT (fim do MERRA-2 a dois dias do tempo real). O MERRA-2 é uma versão nova do Sistema de Assimilação de Dados do Sistema de Observação da Terra Goddard (GEOS) (Bosilovich, MG, et al 2016). As versões MERRA-2 e GEOS 5.12.4 são basicamente as mesmas e, portanto, as descontinuidades, que são frequentemente aparentes entre os dois modelos, são minimizadas. Os dados do GEOS 5.12.4 são processados diariamente de forma que os dados sejam anexados ao final da série temporal do MERRA-2, proporcionando uma baixa latência, estando prontos geralmente até 2 dias do tempo real (Stackhouse, 2020).

A temperatura do ar é primeiramente estimada a partir do modelo de Sistema de Observação da Terra (GEOS) na grade $1 \times 1,25^\circ$ de latitude-longitude a cada 3 horas. Em seguida, a variável é reinterpolada, considerando outras fontes (estações terrestres, imagens de radar, sondas e balões meteorológicos), sendo a saída do dado considerando a altura de 2 m acima superfície (Stackhouse et al., 2016).

A radiação de superfície (RS) é derivada das trocas globais de energia e água (GEWEX SRB versão 3.0), estimando a radiação no topo da atmosfera sob condições de céu nublado, claro ou características do albedo da superfície, também a cada 3 horas (Monteiro et al., 2017). Já a precipitação são derivados do Projeto Global do Clima e Precipitação (GPCP, versão 2.1) com a mesma resolução espacial disponível pelo sistema, porém, outras fontes baseadas em imagens de satélite, estimativas mensais e sensores de infravermelho atmosféricos também são verificadas para compor estimativas mais precisas (Stackhouse et al., 2016).

A umidade relativa é estimada através da temperatura do ar (satélite GEOS), pressão atmosférica (Pa, kPa) e razão de mistura (umidade específica), usando parâmetros derivados do modelo de Análise Retrospectiva da Era Moderna para Pesquisa e Aplicações (MERRA). A velocidade diária do vento também é derivada do satélite GEOS e disponibilizada considerando a altura de 2 m acima da superfície da Terra (Stackhouse et al., 2016).

As fontes primárias de dados solares e meteorológicos são produzidas nativamente em uma grade global de latitude x longitude de $1^\circ \times 1^\circ$, e posteriormente, remapeadas para uma grade de latitude/longitude de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ por interpolação bilinear de dados. Uma vez que os valores obtidos pelos satélites na grade de 1° e interpolados para $0,5^\circ$ os resultados continuam sendo aplicáveis (Stackhouse, 2020).

As variáveis climáticas fornecidas pelo NASAPOWER e satélites que a correspondem com os tempos de análise estão resumidas na Tabela 2. Todas as variáveis estão disponíveis desde 1º de janeiro de 1981 até próximo ao presente, com exceção da radiação solar, registrada desde 1º de julho de 1983 (Monteiro et al., 2017). Mesmo havendo muitos trabalhos evidenciando a viabilidade do uso do banco de dados do NASAPOWER em aplicações agronômicas na América do Norte (White et al., 2008, 2011; Mourtzinis et al., 2017), Europa (Van Wart et al., 2013), África (Van Wart et al., 2015) e Ásia (Bai et al., 2010), ainda é escasso o seu uso no Brasil e em outros países da América do Sul específico para o manejo de irrigação.

Tabela 2. Informações referentes as variáveis climáticas fornecidas pelo projeto NASAPOWER, derivado de satélites, e sua cobertura.

Variável Climática ¹	Satélite de referencia ²	Tempo de cobertura
RS	GEWEX SRB 3.0	1 Julho 1983 até 31 Dezembro 2007
	FLASHFlux 2	1 Janeiro 2008 até 31 Dezembro 2012
	FLASHFlux 3	1 Janeiro 2013 até o presente
	GEOS-4	1 Julho 1983 até 31 Dezembro 2007
Tmin, Tmax e Tmed		1 Janeiro 2008 até o presente/1 Janeiro 1981 até o presente
	GEOS-5/MERRA-2	
	GEOS-4	1 Julho 1983 até 31 Dezembro 2007
UR, WS e Tpo		1 Janeiro 2008 até o presente/1 Janeiro 1981 até o presente
	GEOS-5/MERRA-2	
Chuva		1 Janeiro 1997 até 31 Dezembro 2016
	GPCP/MERRA-2	1 Janeiro 1981 até o presente

¹RS é a radiação solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$); Tmin, Tmax e Tmed ($^{\circ}\text{C}$) são a temperatura do ar mínima, máxima e média ($^{\circ}\text{C}$), respectivamente; UR é a umidade relativa do ar média (%); WS é a velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1}), Tpo é a temperatura do ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$). ²GEWEX SRB 3.0 (http://eosweb.larc.nasa.gov/project/srb/srb_table); FLASHFlux 2 e 3 (<http://flashflux.larc.nasa.gov/>); GEOS-4 e GEOS-5 (<http://gmao.gsfc.nasa.gov/>); GPCP (<http://precip.gsfc.nasa.gov/>); MERRA-2 (<https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA/>).

Fonte: Adaptado de Monteiro et al. (2017).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 REGIÕES DE ESTUDO

A determinação dos locais de estudo se deu através da identificação dos principais polos irrigantes do Brasil, com base nas áreas irrigadas de 2015 (Figura 3) e importância agrícola do estado. Primeiramente, foram selecionados os seguintes estados com suas respectivas áreas irrigadas: Rio Grande do Sul (RS, 1.368.327 ha), São Paulo (SP, 1.300.047 ha), Minas Gerais (MG, 1.082.373 ha), Goiás (GO, 717.485 ha), Bahia (BA, 504.781 ha), Mato Grosso (MT, 247.364 ha) e Maranhão (84.575 ha) (Figura 3).

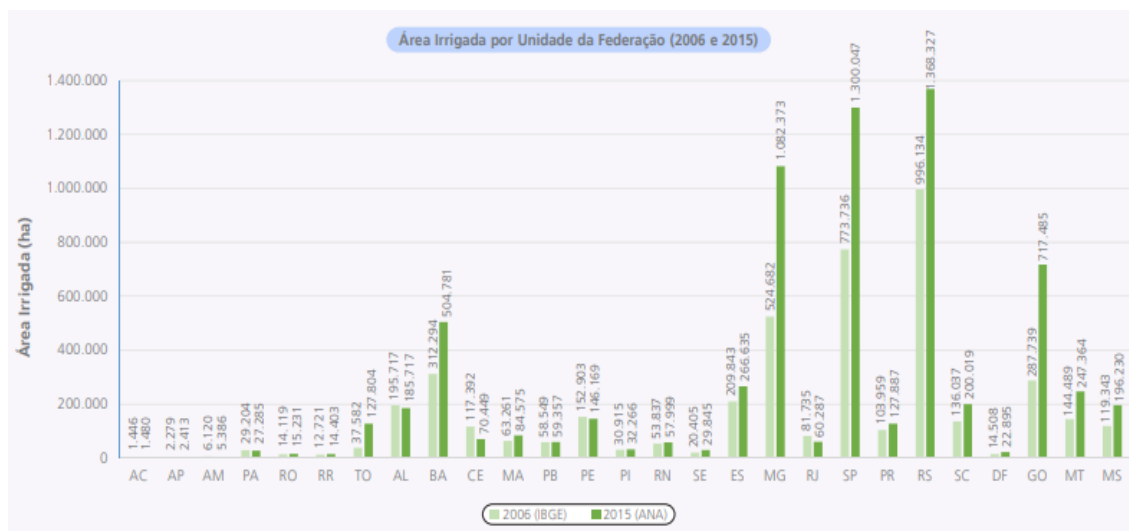


Figura 3. Área irrigada total por estados do Brasil em 2006 e 2015.

Fonte: Adaptado de ANA (2017a).

Ao identificar os estados a serem avaliados, buscou-se analisar as principais regiões irrigadas dentro dos estados, observando os municípios e seu entorno que possuíam maior área irrigada. Para essa classificação fez-se o uso dos dados apresentados nas tabelas do Anexo A (área irrigada por município e tipo de sistema em 2015) e utilização do Google Maps para identificação das regiões irrigadas próximas. Dessa forma, houve uma maior abrangência de áreas avaliadas

e, conseqüentemente, maior representatividade do estudo, determinando os polos de irrigação de cada região. Os locais selecionados foram: Uruguaiana, RS, Cruz Alta, RS, Uberaba, MG, Araraquara, SP, Unaí, MG, Rio Verde, GO, Araguari, MG, Balsas, MA, Luís Eduardo Magalhães, BA, e Primavera do Leste, MT, como apresentado na Figura 4.

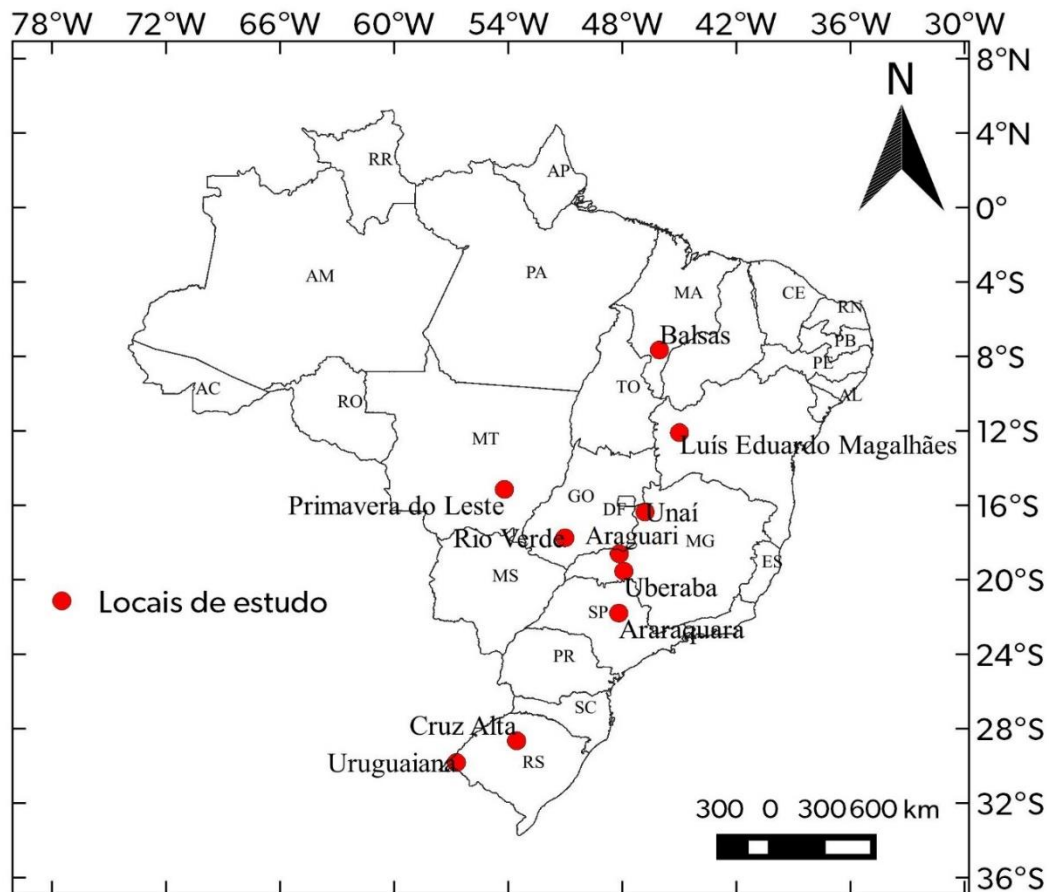


Figura 4. Locais utilizados no estudo em função da área irrigada e sua distribuição no Brasil.

3.2 CULTURAS ANALISADAS

As culturas incluídas no estudo foram definidas a partir da identificação das principais culturas irrigadas em cada região (Figura 4). Para isso foi utilizado os dados em conjunto da plataforma do Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (IBGE, 2018), disponível de forma completa até o ano de 2018 e os dados da ANA (2017a). As culturas por região são apresentadas na Tabela 3, incluindo as

culturas de arroz, soja, cana-de-açúcar, laranja, milho doce, café, milho grão, algodão e feijão, com os respectivos locais de simulação.

Tabela 3. Culturas definidas para estudo para cada uma das localidades dos principais polos irrigados do Brasil.

Regiões	Culturas
Uruguaiana, RS	Arroz
Cruz Alta, RS	Soja
Uberaba, MG	Cana-de-açúcar
Araraquara, SP	Laranja
Unaí, MG	Milho doce
Rio Verde, GO	Cana-de-açúcar
Araguari, MG	Café
Balsas, MA	Milho grão
Luís Eduardo Magalhães, BA	Algodão
Primavera do Leste, MT	Feijão

3.3 DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados meteorológicos foram obtidos de estações meteorológicas de superfície e dados processados a partir de informações de satélite. Para estações meteorológicas de superfície foi utilizado o Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP (INMET, 2020). Nessa base, buscou-se localizar as estações meteorológicas convencionais (EMC) mais próximas das regiões avaliadas e obter os dados climatológicos necessários para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) e quantificação da demanda de irrigação para cada local e método de irrigação.

No banco de dados das EMCs foi obtido os dados de precipitação pluvial (mm), temperatura máxima do ar (°C), temperatura mínima do ar (°C), temperatura do ar média (°C), insolação (horas), umidade relativa do ar média (%) e velocidade do vento (m/s) na escala diária. Um total de 9 estações foram obtidas (Tabela 4), sendo que para Uberaba e Araguari, foi utilizada a mesma EMC, diferindo em termos de cultura utilizada.

Tabela 4. Localização das estações meteorológicas convencionais e a localidade de representação em relação ao NASAPOWER.

Região	Estações	Latitude	Longitude	Altitude	*Clima
Uruguaiana	Uruguaiana	29° 83'S	57° 08'O	74.29 m	Cfa
Cruz Alta	Cruz Alta	28° 62'S	53° 61'O	475.52 m	Cfa
Uberaba	Uberaba	19° 71'S	47° 96'O	778.00 m	Cwa
Araraquara	São Carlos	21° 98'S	47° 88'O	859.57 m	Cwa
Unai	Formosa	15° 54'S	47° 33'O	938.68 m	Aw
Rio Verde	Jataí	17° 92'S	51° 71'O	669.84 m	Aw
Araguari	Uberaba	19° 71'S	47° 96'O	778.00 m	Cwa
Balsas	Balsas	07° 52'S	46° 04'O	263.48 m	Aw
Luís Eduardo	Posse	14° 08'S	46° 36'O	830.35 m	Aw
Primavera do Leste	Poxoréo	15° 82'S	54° 39'O	374.35 m	Aw

Fonte: *Alvares et al. (2014). Adaptado de INMET (2020).

Os dados meteorológicos de satélite foram obtidos acessando a plataforma *Power Data Access Viewer* do NASAPOWER. Os elementos climáticos selecionados foram a precipitação pluvial (mm), velocidade do vento média a 2 metros (m/s), umidade relativa média do ar (%), temperatura máxima do ar (°C), temperatura mínima do ar (°C), temperatura média do ar (°C) e radiação solar na escala diária, a partir das coordenadas geográficas de localização das EMCs (Tabela 4).

Os dados meteorológicos foram coletados das EMCs e do NASAPOWER na escala diária pelo período de 31 anos, sendo iniciado em 01/07/1983 até 30/06/2014, com os dados de saída salvos em arquivos de texto. Posteriormente, os dados baixados foram transferidos para uma planilha de Excel 2019 para que pudessem ser editados e organizados para sua utilização nas simulações realizadas.

3.4 MANEJO DE IRRIGAÇÃO

3.4.1 Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o)

Os dados coletados das EMCs e do NASAPOWER foram utilizados para calcular a evapotranspiração de referência de cada local pelo método padrão

Penman-Monteith FAO (Equação 1) para todos os dias ao longo dos 31 anos de análise. Isso foi feito através da construção de uma planilha no Excel 2019 que fornecia os resultados da ETo em função das formulas empregadas dentro da equação 1 com dados de entrada das EMCs ou do NASAPOWER.

$$ET_o = \frac{0,408 * s * (R_n - G) + \gamma * \left(\frac{900}{T + 273} \right) * U_2 (e_s - e_a)}{s + \gamma * (1 + 0,34 * U_2)} \quad (\text{Eq.1})$$

em que: ETo - Evapotranspiração de referência, em mm dia⁻¹; Rn - Radiação líquida, em MJ m⁻² dia⁻¹; G - Densidade do fluxo de calor, em MJ m⁻² dia⁻¹; T - Temperatura média diária do ar, em °C; γ - Constante psicométrica (0,063 KPa °C⁻¹); s - Declividade da curva de saturação de vapor, em KPa °C⁻¹; U2 - Velocidade média diária do vento a 2 metros de altura, em m s⁻¹; ea - Pressão parcial de vapor, em KPa; es - Pressão de saturação de vapor, média diária, em kPa.

Para calcular a ETo foi necessário estimar os valores de Rn, s, es e ea por meio das seguintes equações:

$$R_n = BOC - BOL \quad (\text{Eq.2})$$

em que: Rn é a radiação líquida, expressa em MJ m⁻² dia⁻¹, BOC e BOL são representados pelas equações 3 e 4, respectivamente.

$$BOC = (1 - \alpha) * R_s \quad (\text{Eq.3})$$

$$BOL = 4,903 * 10^{-9} \left(\frac{T_{\max}^4 + T_{\min}^4}{2} \right) * [0,34 - 0,14 (e_a * 0,5)] * \left[1,35 \left(\frac{R_s}{R_{so}} \right) \right] - 0,35 \quad (\text{Eq.4})$$

em que: α é o albedo da superfície (0,23), Tmax e Tmin são, respectivamente, temperatura máxima e mínima do ar. A seguir são descritas as demais variáveis.

A radiação solar (Rs) foi obtida na base climática para o NASAPOWER, enquanto que para as EMC foi estimada pelo método de Angström-Prescott (Eq. 5) e a radiação solar líquida (Rso) calculada pela equação 6.

$$Rs = Qo * \left[a + b * \frac{n}{N} \right] \quad (\text{Eq.5})$$

em que, Qo é a radiação extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) e N é fotoperíodo (h), obtidos com base no dia juliano e a latitude do local a partir de equações astronômicas, n é a insolação (h), a e b são coeficientes empíricos, sendo que a foi obtido por cosseno da latitude * 0,29", e b com valor fixo de 0,52.

$$Rso = (0,75 + 2 * 10 - 5 * 11) * Qo \quad (\text{Eq.6})$$

A declividade da curva de saturação de vapor (s), expressa em $\text{KPa } ^\circ\text{C}^{-1}$, foi obtida pela Eq. 7.

$$s = 4098 * \frac{es}{(T+237,3)^2} \quad (\text{Eq.7})$$

A pressão média diária de saturação de vapor (es), expressa em KPa, foi obtida pela Eq. 8.

$$es = \frac{esTmax + esTmin}{2} \quad (\text{Eq.8})$$

em que: $esTmax$ e $esTmin$ são representados pelas equações 9 e 10, respectivamente.

$$esTmax = 0,6108 * e^{\left(\frac{17,27 * Tmax}{237,3 + Tmax} \right)} * esTmin \quad (\text{Eq.9})$$

$$esTmin = 0,6108 * e^{\left(\frac{17,27 * Tmin}{237,3 + Tmin} \right)} * esTmin \quad (\text{Eq.10})$$

A pressão parcial de vapor (ea), expressa em KPa, foi obtida pela Eq. 11.

$$ea = \frac{Urmed * es}{100} \quad (\text{Eq.11})$$

3.4.2 Estimativa da evapotranspiração de cultura (ETc)

Para realizar a estimativa da ETc, foi usada a equação 12, onde é feito a multiplicação do coeficiente de cultura (Kc) pela ETo ao longo do período de cultivo, variando o Kc de acordo com as fases do ciclo de cada cultura (Tabela 5).

$$ETc = Kc * ETo \quad (\text{Eq. 12})$$

Tabela 5. Coeficientes de cultura (Kc) para as fases denominadas I, II, III e IV, sendo respectivamente, estabelecimento, desenvolvimento vegetativo, período reprodutivo e maturação.

Cultura	Kc (I/II/III/IV)	Ciclo
Arroz	0,2/0,7/1,3/0,5	125 dias
Soja	0,4/0,75/1,1/0,75	120 dias
Cana-de-açúcar	0,5/0,85/1,1/0,8	Semi-perene
Laranja	0,75	Perene
Milho doce	0,4/0,8/1,15/1,1	90 dias
Café	0,90*	Perene
Milho grão	0,4/0,8/1,15/0,9	130 dias
Algodão	0,5/0,75/1,15/0,85	160 dias
Feijão	0,4/0,75/1,15/0,7	90 dias

Fonte: *Sato et al. (2007). Adaptado de Souza (2013).

Para as culturas anuais foi utilizado a separação do ciclo em quatro fases, sendo o número de dias de cada fase da cultura determinado pelas porcentagens correspondentes ao ciclo da cultura proposto por Albuquerque et al. (2001), sendo a fase I representando o estabelecimento da cultura; fase II caracterizado pelo desenvolvimento vegetativo; fase III o período reprodutivo; e a fase IV a maturação. Já para as culturas perenes que cessaram o crescimento, ou seja, já atingiram a sua maturidade, não há grandes mudanças no Kc, desta forma foi adotado um Kc único para cada cultura perene. Na Figura 5 é apresentada a evolução hipotética do Kc para cultura anual e perene.

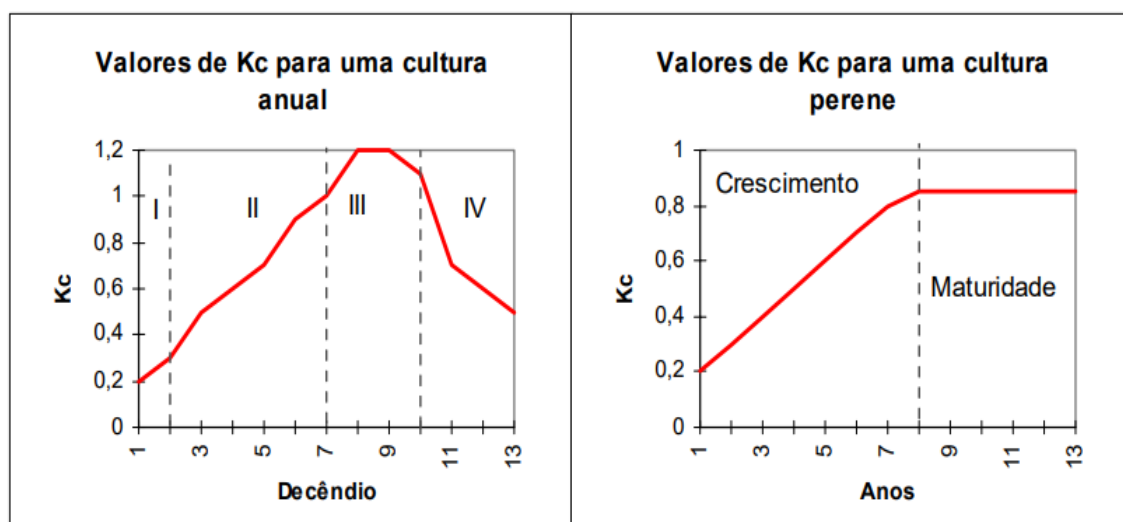


Figura 5. Padrão de evolução de Kc entre estádios fenológicos para cultura anual e perene.

Fonte: Adaptado de Pereira et al. (2000).

A avaliação das culturas anuais se deu em função do período (em dias) que compreende o ciclo completo da espécie, ou seja, desde sua semeadura até a colheita, levando em consideração as datas de plantio mais praticadas para cada região e culturas utilizadas, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. Período de avaliações e data de início das simulações das culturas.

Regiões	Culturas	Período de avaliação	Início da avaliação	Textura do solo
Uruguiana	Arroz	125 dias	10/09	Argiloso
Cruz Alta	Soja	120 dias	15/10	Média
Uberaba	Cana-de-açúcar	12 meses	31/10	Argiloso
Araraquara	Laranja	9 meses	15/08	Argiloso
Unai	Milho doce	90 dias	20/02	Argilosa
Rio Verde	Cana-de-açúcar	12 meses	31/10	Média
Araguari	Café	10 meses	01/09	Argiloso
Balsas	Milho grão	130 dias	20/02	Arenoso
Luís Eduardo Magalhães	Algodão	160 dias	15/02	Arenoso
Primavera do Leste	Feijão	90 dias	01/06	Argilosa

A avaliação para as culturas perenes foi feita após o período de crescimento vegetativo, considerando que a cultura que já estava estabelecida e em plena produção. Desta forma, o período abrangido para avaliação da laranja foi de 9 meses e do café de 10 meses, observando as características intrínsecas de

cada cultura, como o período de floração, quebra de dormência, déficit hídrico positivo e podas.

Devido a cana-de-açúcar ser uma cultura considerada semi-perene, possuindo três épocas diferentes de plantio, sendo a cana-planta; cana-de-ano e cana-de-inverno, as quais após o primeiro corte tem ciclos próximos de 12 meses, optou-se por avaliar o ciclo da cana-soca, ou seja, aquela que tem início após o primeiro corte com 12 meses de duração.

3.4.3 Água disponível no solo para a cultura

A capacidade de água disponível no solo (CAD) foi obtida para cada uma das localidades a partir do mapa de água disponível no solo (Figura 6), gerado através do trabalho de Battisti & Sentelhas (2019). Em seguida, o valor de água disponível, em mm cm^{-1} , foi multiplicado pela profundidade efetiva do sistema radicular de acordo com Souza (2013), obtendo-se a CAD. Os valores de CAD foram multiplicados pela fração “p” de cada cultura apresentada por Doorenbos & Kassan (1994), obtendo-se a água facilmente disponível para a cultura (AFD), considerada no manejo de irrigação (Tabela 7).

Tabela 7. Local, cultura e método de irrigação mais utilizado na região para a cultura em estudo.

Região	Cultura	Método de irrigação
Uruguaiana	Arroz	Inundação
Cruz Alta	Soja	Aspersão por pivô
Uberaba	Cana-de-açúcar	Aspersão por carretel
Araraquara	Laranja	Gotejamento
Unaí	Milho doce	Aspersão por pivô
Rio Verde	Cana-de-açúcar	Aspersão por carretel
Araguari	Café	Gotejamento
Balsas	Milho grão	Aspersão por pivô
Luís Eduardo	Algodão	Aspersão por pivô
Primavera do Leste	Feijão	Aspersão por pivô

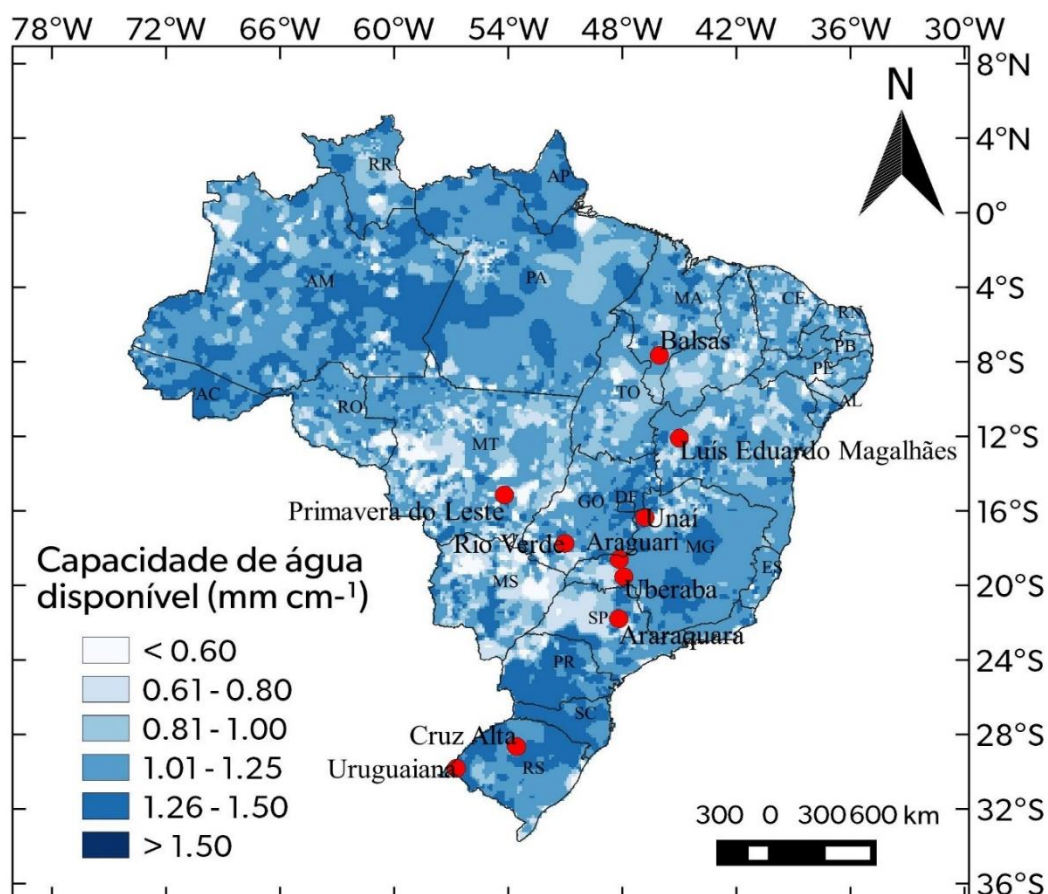


Figura 6. Capacidade de água disponível em mm cm⁻¹ de solo para o Brasil.
Fonte: Adaptado de Battisti e Sentelhas (2019).

3.4.4 Balanço hídrico de irrigação

O manejo da irrigação se deu através da determinação do volume de entrada e saída de água no solo para cada uma das culturas avaliadas ao longo de seu ciclo, sendo que cada fator, como a cultura, tipo de solo, clima e o método de irrigação fez com que o manejo de irrigação fosse influenciado em razão da demanda hídrica da cultura.

Dessa forma, a partir das informações de evapotranspiração de cultura, AFD, para as bases de dados do NASAPOWER e das EMCs foi realizado o balanço hídrico de irrigação no programa Excel 2019. Nesse caso, relacionou-se a entrada e saída de água no sistema em função das características de cada local e cultura para que fosse calculada a quantidade de água que deveria ser repostada através do manejo de irrigação.

Para todas as simulações foi determinado que inicialmente a AFD estava em sua capacidade máxima, de acordo com cada cultura e local, de forma a representar as irrigações usualmente realizadas antes do plantio. A frequência de irrigação foi variável para todas as simulações em função da AFD, sendo que quando a AFD no solo atingisse um limiar que estivesse próximo a prejudicá-la, haveria a reposição de água no solo, através de uma lâmina efetiva de 10 mm, que pode variar em função da eficiência dos métodos de irrigação mencionados na Tabela 7. Estas condições foram ajustadas para permitir um melhor controle das simulações, de forma a não gerar uma especificidade grande, o que poderia causar uma maior possibilidade de erro.

3.5 ANÁLISE DE DADOS

A análise se deu pela comparação entre os bancos de dados meteorológicos da EMC e do NASAPOWER, incluindo os elementos climáticos de precipitação pluvial, umidade relativa do ar média, temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, temperatura média do ar, radiação solar e velocidade do vento média para as 9 estações meteorológicas usadas no estudo. Em seguida realizou-se a comparação para as variáveis calculadas de evapotranspiração de referência, demanda de reposição hídrica total e número de irrigação total no ciclo para as 10 localidades com diferentes culturas.

Para verificar a eficiência de estimativa utilizando a base NASAPOWER relação a base das EMCs foram utilizados os parâmetros estatísticos de índice de concordância de Willmott (d) (Willmott et al., 1985), raiz quadrada do erro médio (RMSE), erro médio absoluto (MAE) e coeficiente de determinação (R^2) (Monteiro et al., 2018), com base nas equações a seguir.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (est_i - obs_i)^2}{\sum_{i=1}^n ((est_i - \overline{obs}) + (obs_i - \overline{obs}))^2} \quad (\text{Eq.13})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (est_i - obs_i)^2}{n}} \quad (\text{Eq.14})$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{est_i - obs_i}{obs_i} \right) \quad (\text{Eq.15})$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (est_i - obs_i)^2}{\sum_{i=1}^N (est_i - obs_i)^2} \quad (\text{Eq.16})$$

em que: est_i e obs_i são valores estimados e observados das variáveis analisadas, respectivamente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 SOJA - CRUZ ALTA, RS

Ao analisar a série temporal de demanda de complementação hídrica apresentada na Figura 7 e o gráfico de dispersão entre as duas fonte de dados da Figura 8, em que a simulação da semeadura foi realizada no dia 15 de outubro e tendo como ciclo de cultivo o período de 120 dias, é possível afirmar que a média exigida para a cultura da soja na região de Cruz Alta utilizando a EMC foi de 229 mm, enquanto que com a NASAPOWER foi de 188 mm. De acordo com essas informações o manejo de irrigação feito com base nos dados climáticos do NASAPOWER representou aproximadamente 82% da demanda de água exigida em relação a EMC. O índice de concordância de Willmott para irrigação foi de 0,88.

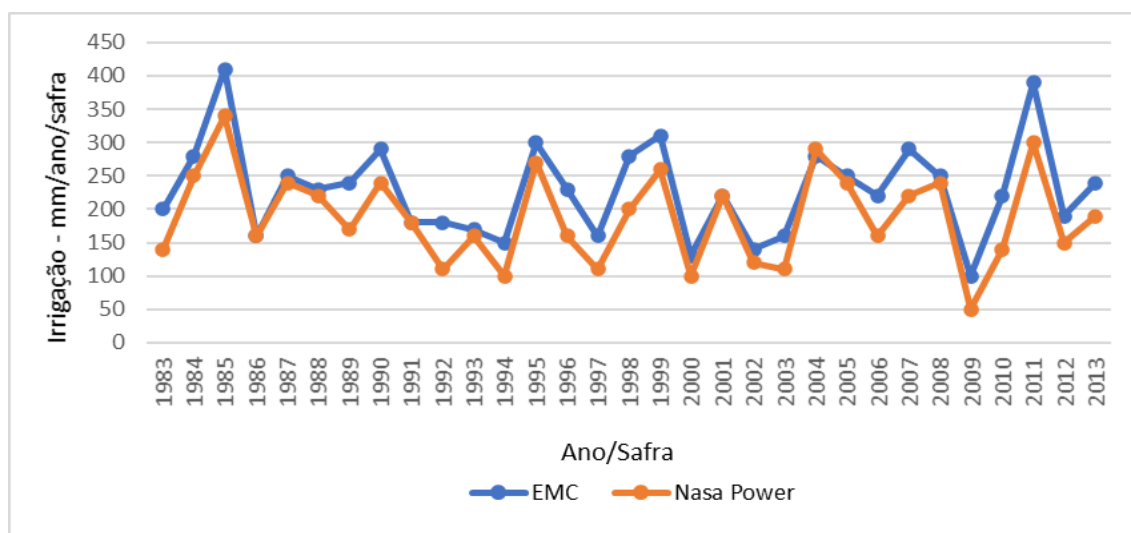


Figura 7. Demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura da soja determinada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Cruz Alta, RS.

Se colocarmos esses valores em números de irrigações feitas, daria algo em torno de 4 irrigações, pouco mais de 40 mm distribuídos durante o ciclo da cultura, o que acarretaria em uma pequena redução de produtividade, se não levássemos em conta os valores do desvio padrão de ambas as médias aritméticas

das suas series históricas. Considerando que o desvio padrão entre as duas fontes de dados é de 72 mm, a diferença da média de 188 mm de complementação hídrica feita pelo NASAPOWER estaria dentro da margem de erro (para mais) em relação à média de 229 mm da demanda pela EMC.

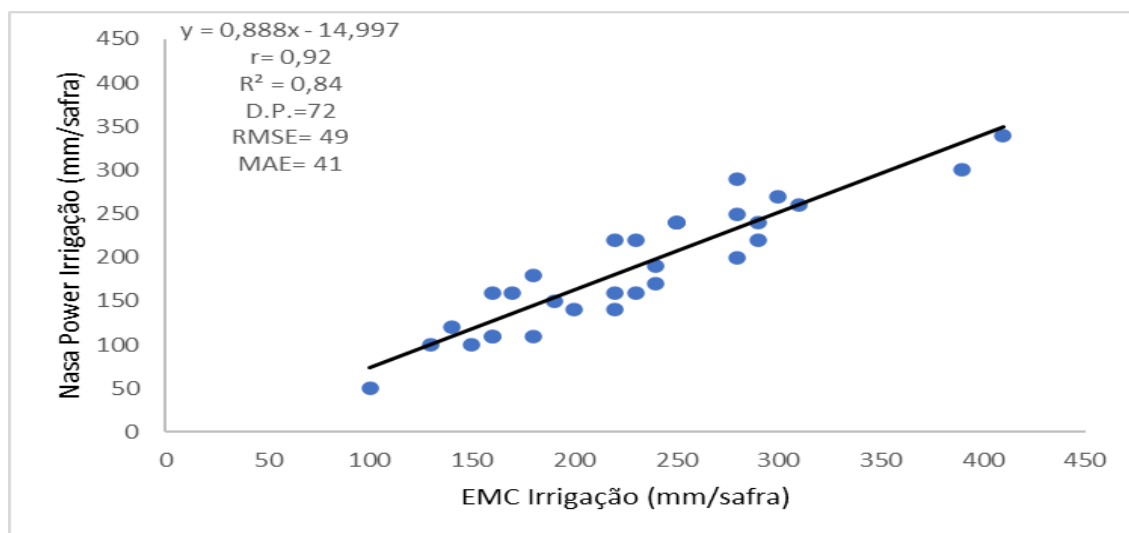


Figura 8. Relação de demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura da soja quantificada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Cruz Alta, RS.

Para efeito de comparação, a demanda hídrica da cultura da soja é em torno de 600 mm, podendo variar de 450 a 700 mm dependendo do ciclo, local, variedade entre outros fatores (Carvalho et al., 2013). Essa diferença de pouco mais de 40 mm de complementação de irrigação entre a recomendação da EMC e o NASAPOWER representa fração em relação ao total demandado, o que pode resultar em um baixo efeito sobre a produtividade (Carvalho et al., 2013).

O ano-safra de 1985 foi o que apresentou uma maior necessidade de complementação hídrica, sendo 410 mm ao utilizar os dados climáticos da EMC e 340 mm com base no NASAPOWER. Desta forma, foram necessárias 41 irrigações com base na EMC e 34 com base no NASAPOWER, o que gera uma diferença de 7 irrigações a mais na EMC em relação ao NASAPOWER. Isto se deu principalmente em função da falta de chuvas e uma distribuição desuniforme, pois neste período, foram registrados pela EMC de Cruz Alta uma precipitação de apenas 260 mm e para o NASAPOWER de 290 mm ao longo do ciclo da cultura, o

que fez com que houvesse uma maior necessidade de complementação de água à cultura através da irrigação.

O ano-safra de 2009 foi o que apresentou a menor necessidade de complementação hídrica com um número menor de irrigação, em ambas fontes de dados meteorológicos, quando comparada com as demais safras. No uso da EMC foram necessárias 10 irrigações, enquanto que para o NASAPOWER apenas 5. Esse número de 50% na diferença da quantidade de irrigação entre os manejos realizados pelas bases de dados representa apenas 50 mm de diferença ao longo do ciclo

Analisando as variáveis fornecidas pelo NASAPOWER em relação a EMC (Tabela 8), pode se verificar que o desempenho nos índices estatísticos avaliados para região de Cruz Alta apresentaram altos valores de concordância (d) e coeficiente de determinação (R^2) e baixos erros (MAE e RMSE) para temperatura máxima, mínima e média do ar, e radiação solar. Os resultados estatísticos apresentaram baixo desempenho para precipitação, velocidade do vento e umidade relativa do ar. Dados semelhantes foram encontrados por Duarte & Sentelhas (2020) para algumas localidades do Brasil. Com essas condições foi possível obter uma ótima determinação (R^2) e índice de concordância de Willmott (d) para estimativa da evapotranspiração de referência, além de um erro absoluto médio de 0,69 mm.

Tabela 8. Relação dos valores dos índices estatísticos para cada parâmetro analisado e calculado com base nos dados do NASAPOWER e EMC do INMET para Cruz Alta em escala diária.

Índice Est.	Prec.	T.Max.	T.Min.	T.Med.	R.S.	V. Vento	Ur.Med.	ETo.
d	0,59	0,89	0,91	0,82	0,90	0,47	0,68	0,90
R^2	0,15	0,65	0,73	0,74	0,72	0,07	0,23	0,69
RMSE	13	2	2	2	4	1	11	1
MAE	6,21	1,69	1,52	1,24	3,19	0,81	8,77	0,69

Índice Est. – Índice estatístico, Prec. – Precipitação (mm), T.Max. – Temperatura máxima (°C), T.Min. – Temperatura mínima (°C), T.Med. – Temperatura média (°C), R.S. – Radiação solar (MJ), V. Vento – Velocidade do vento (m/s), Ur.Med. – Umidade relativa média (%), ETo. – Evapotranspiração de referência (mm).

*Os gráficos de dispersão dos principais elementos climáticos avaliados entre EMC e NASAPOWER em escala diária durante o período das simulações da cultura para esta região, além da precipitação acumulada, podem ser visualizados no Apêndice A.

Na Figura 9 - A é possível visualizar a precipitação acumulada durante o ciclo da cultura da soja para todos os anos da série histórica avaliada, em que as linhas das simulações praticamente se sobrepõem ao longo do gráfico, demonstrando que o NASAPOWER foi eficiente em representar a principal variável de entrada no sistema de balanço hídrico para a cultura e local avaliado quando considerado todo o ciclo. O mesmo se aplica para a ETo (Figura 9 - B), em que as linhas do histórico de evapotranspiração das simulações realizadas através dos dados das EMC e do NASAPOWER apresentam a mesma tendência, havendo uma pequena variação em determinados períodos, mas com pouca discrepância como pode ser visto nos anos de 2004 a 2012, havendo uma diferença de aproximadamente 50 mm ao longo destas safras para a cultura da soja nessa região, sendo que nos restantes dos anos foram praticamente iguais.

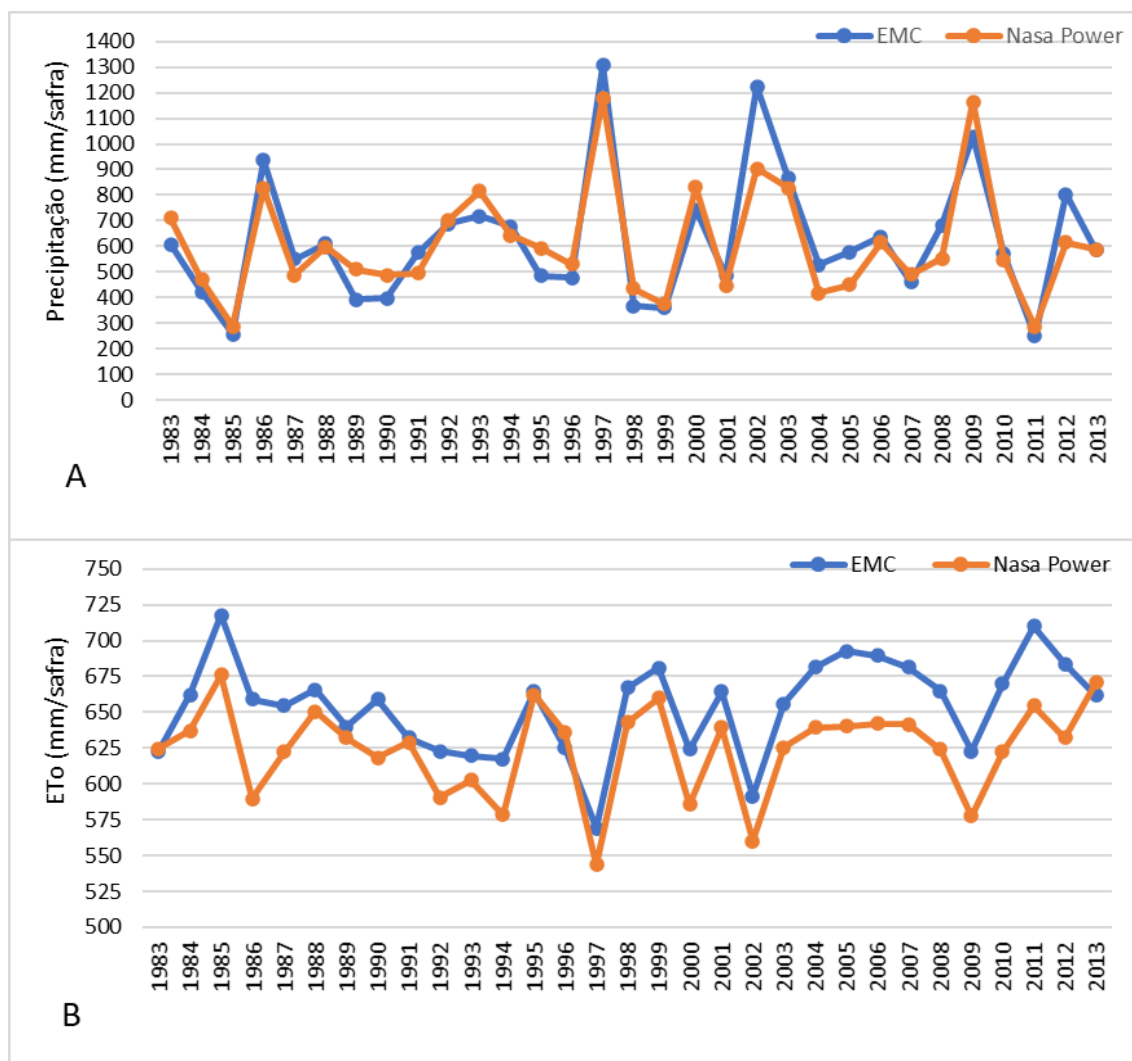


Figura 9. Precipitação (A) e a evapotranspiração de referência (ET₀) (B) acumulada ao longo da safra de soja entre 1983 e 2013 considerando as bases climáticas de estações meteorológicas convencionais (EMC) e NASAPOWER para Cruz Alta, RS.

4.2 ARROZ - URUGUAIANA, RS

A média de irrigação simulada com dados da EMC foi de 208 mm, enquanto que pelos dados do NASAPOWER foi 264 mm. O desvio padrão foi de 118 mm, o que é considerado um valor alto em relação à média de irrigação que são em torno de 200 mm. Isso gerou um erro médio absoluto de 79 mm. A maior demanda de irrigação pelo NASAPOWER não é benéfica do ponto de vista ambiental, cultural e econômico.

Ao verificar a série histórica de irrigação é possível observar que a complementação hídrica anual dificilmente passa dos 350 mm, sendo que

houveram alguns anos em que a necessidade de irrigação foi mínima. De acordo com as simulações feitas com dados da EMC, os anos de 1990, 2002 e 2009 foram os que menos necessitaram de irrigação, sendo 40, 20 e 40 mm, respectivamente. Já para as simulações do NASAPOWER foram os anos de 1990, 1993 e 2002, precisando, respectivamente, de 30, 50 e 40 mm de demanda de irrigação.

A cultura do arroz é altamente dependente do fornecimento de água durante praticamente todo ciclo, mas as maiores demandas são observadas no período reprodutivo da cultura, em que o coeficiente de cultivo é mais alto. Dessa forma, este é o período mais crítico, compreendendo cerca de 55% de toda necessidade hídrica da cultura (Medeiros et al., 2005).

Quando observamos os anos em que houveram as maiores necessidades de irrigação por parte da cultura, há uma maior discrepância entre as recomendações, em que o NASAPOWER faz o uso de maior volume de irrigação e em anos/safras diferentes da recomendação pela EMC. Os anos de 1991, 1999 e 2001 foram os que as simulações pelo EMC recomendavam mais irrigações, sendo de 430, 350, 340 mm respectivamente; enquanto as do NASAPOWER foram nos anos de 1985 com 450 mm, 1995 com 470 mm e 1999 e 2010 com 440 mm cada. De acordo com Rodrigues et al. (2004) o arroz possui uma demanda hídrica de 450 a 700 mm durante todo ciclo, comportamento que varia em função principalmente do material genético e do solo a ser utilizado para o cultivo.

Ao analisarmos a Figura 10, pode ser verificada a dispersão entre as médias de complementação hídrica, junto a equação que descreve a linha de tendência, apresentando um coeficiente de correlação de 0,79, coeficiente de determinação de 0,62 e um erro médio absoluto de 79 mm para as irrigações realizadas. O índice de concordância de Willmott para as irrigações foi de 0,83.

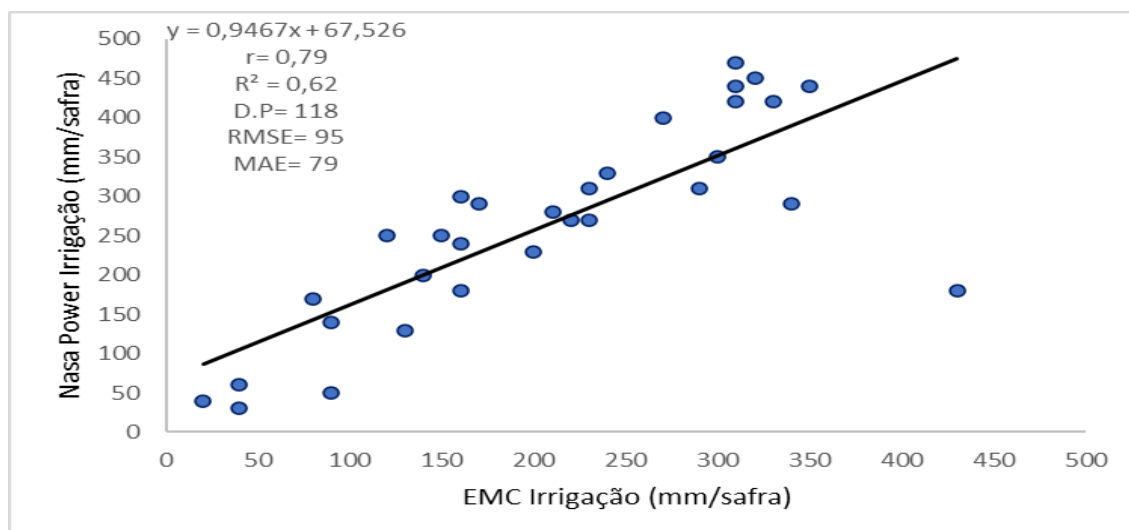


Figura 10. Relação de demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura do arroz quantificada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Uruguaiana, RS.

Já na Figura 11 é possível acompanhar o gráfico da série histórica de complementação hídrica na cultura do arroz, onde é possível visualizar que há uma boa relação da simulação feita com base nos dados do NASAPOWER em relação aos obtidos com base no INMET, na maioria dos anos/safras houve uma superestimativa de complementação hídrica com base no NASAPOWER, tendo apenas o ano de 1991 em que ficou abaixo, além de oito safras em que os manejos de complementação hídrica se coincidiram.

Com relação aos índices estatísticos das variáveis analisadas é possível notar a semelhança com os dados obtidos em Cruz Alta (Tabela 8), em que as variáveis de precipitação pluvial, temperatura do ar mínima e máxima, velocidade do vento e umidade relativa do ar média tem índices estatísticos bem próximos, classificados como bons para temperatura e baixo para os demais. Já em relação aos índices estatísticos de radiação solar e evapotranspiração de referência houve uma pequena diferença, em que os índices estatísticos (Tabela 9) demonstram piores resultados para as análises em relação à Cruz Alta.

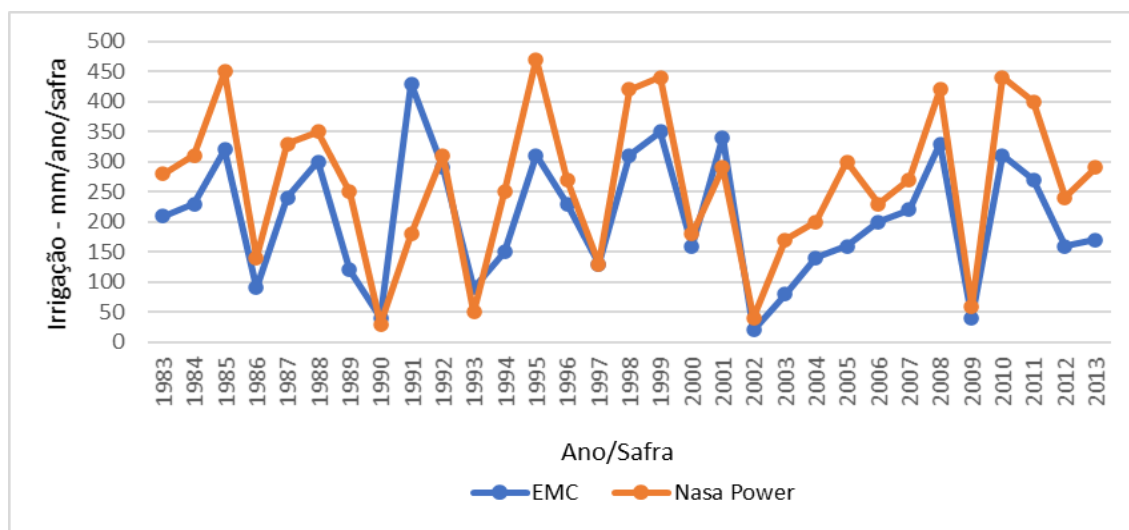


Figura 11. Demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura do arroz determinada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Uruguaiana, RS.

Tabela 9. Relação dos valores dos índices estatísticos para cada parâmetro analisado e calculado com base nos dados do NASAPOWER e EMC do INMET para Uruguaiana em escala diária.

Índice Est.	Prec.	T.Max.	T.Min.	T.Med.	R.S.	V. Vento	Ur.Med.	ETo.
d	0,58	0,90	0,93	0,93	0,79	0,57	0,66	0,77
R ²	0,15	0,71	0,76	0,79	0,56	0,15	0,33	0,63
RMSE	12	3	2	2	6	1	16	2
MAE	5,36	2,44	1,81	1,81	5,32	1	12,96	1,45

Índice Est. – Índice estatístico, Prec. – Precipitação (mm), T.Max. – Temperatura máxima (°C), T.Min. – Temperatura mínima (°C), T.Med. – Temperatura média (°C), R.S. – Radiação solar (MJ), V. Vento – Velocidade do vento (m/s), Ur.Med. – Umidade relativa média (%), ETo. – Evapotranspiração de referência (mm).

*Os gráficos de dispersão dos principais elementos climáticos avaliados entre EMC e NASAPOWER em escala diária durante o período das simulações da cultura para esta região, além da precipitação acumulada, podem ser visualizados no Apêndice B.

A precipitação acumulada fornecida pelo NASAPOWER ao longo dos anos de série histórica avaliada para Uruguaiana foram similares aos dados da EMC, havendo apenas o ano/safra de 1991 que apresentou uma diferença de 400 mm (Figura 12 - A). Para a ETo acumulada por safra (Figura 12 – B), houve uma diferença entre as bases, com uma superestimativa do NASAPOWER em relação ao INMET, com desvio padrão em torno de 85 mm. Em algumas safras a diferença entre a fonte de dados é de quase 200 mm, como no ano de 2005, o que prejudicaria um manejo de irrigação.

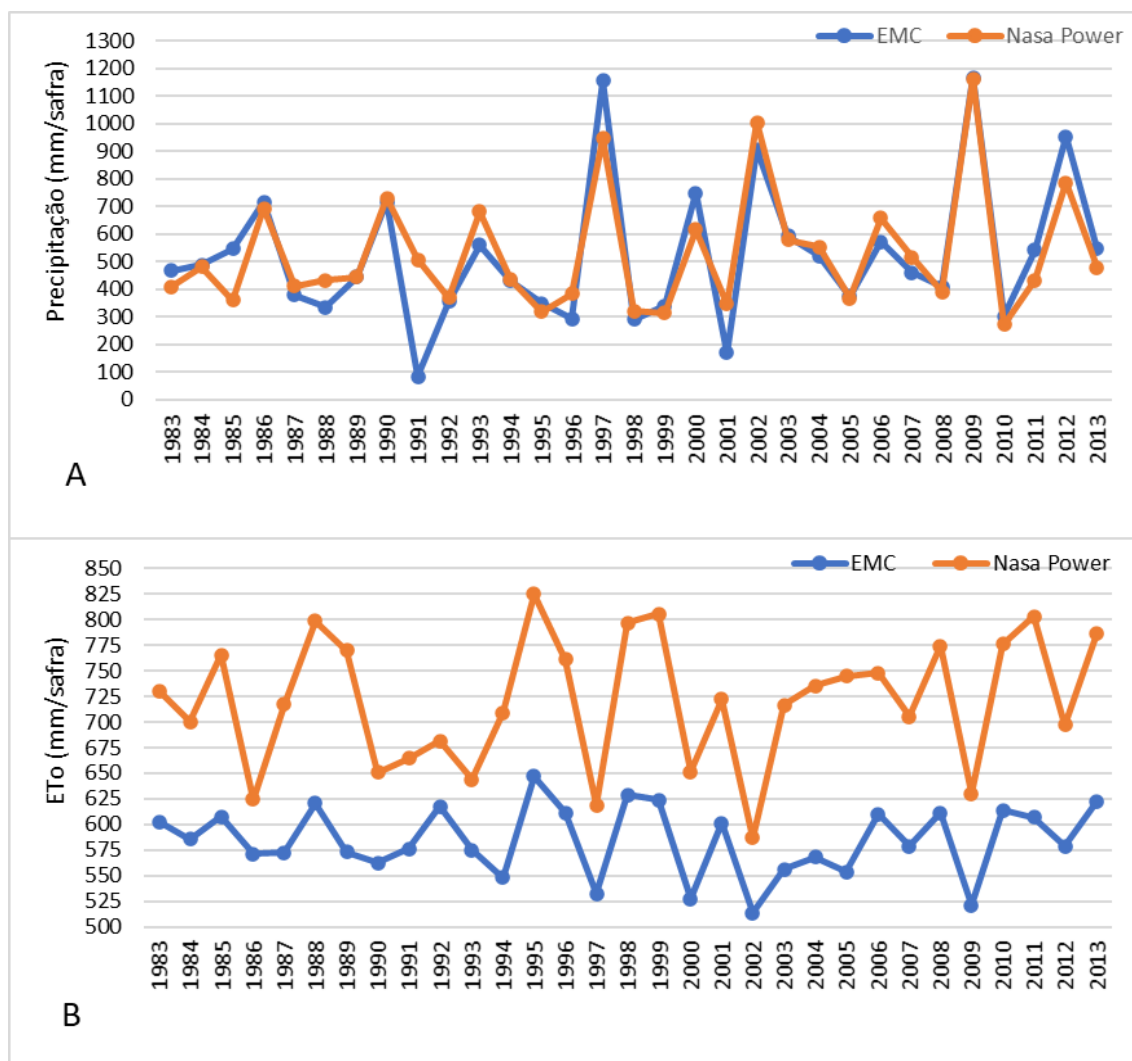


Figura 12. Precipitação (A) e a evapotranspiração de referência (ETo) (B) acumulada ao longo da safra de arroz entre 1983 e 2013 considerando as bases climáticas de estações meteorológicas convencionais (EMC) e NASAPOWER para Uruguaiana, RS.

4.3 CANA-DE-AÇÚCAR - UBERABA, MG

De acordo com o período em que a cana-soca fica no campo, as simulações se basearam no período de um ano, tendo início no final do mês de outubro com fim no mesmo período do ano seguinte quando a mesma é colhida. Segundo Teodoro et al. (2009), a demanda hídrica para a cana varia de 1000 a 2000 mm/ciclo, sendo que normalmente a necessidade hídrica fica em torno de 1780 mm/ciclo.

Através das simulações de complementação hídrica feitas com base nos dados do INMET a média de irrigação para cultura da cana-de-açúcar ao longo seu

ciclo é de 1080 mm, enquanto as simulações feitas com base no NASAPOWER fornece uma média de 840 mm, portando uma necessidade de irrigação menor, ficando em torno de 240 mm, desta forma gerando uma subestimativa de irrigação.

Na Figura 13 é apresentado o gráfico de dispersão da série histórica de complementação hídrica realizado para cana-de-açúcar em Uberaba, o coeficiente de correlação encontrado foi de 0,80 e de determinação de 0,64, com um erro médio absoluto de 205 mm entre o valor estimado pelo NASAPOWER em relação a EMC. O índice de concordância de Willmott para irrigação foi de 0,77.

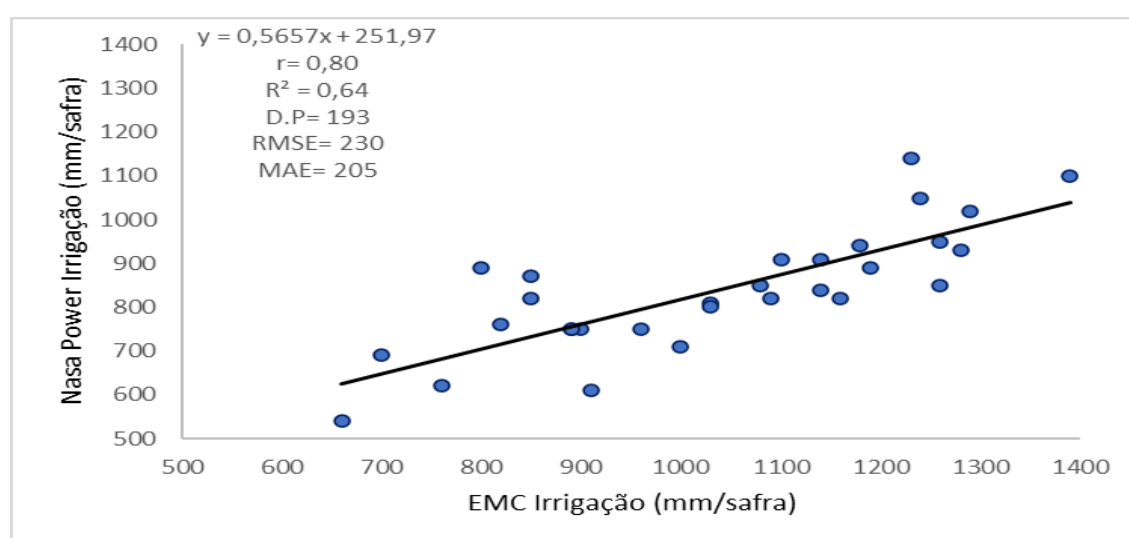


Figura 13. Relação de demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura da cana-de-açúcar quantificada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Uberaba, MG.

No gráfico da Figura 14, é fácil identificar as divergências entre as recomendações de complementação hídrica. Sendo que ao observarmos os anos de 1983 até 1992 o NASAPOWER conseguiu fornecer estimativas bem parecidas com as baseadas nos dados das EMC, exceto o ano de 1990, já a partir de 1993 até o ano de 2001 as estimativas recomendadas com base no NASAPOWER foram muito subestimadas, ficando em torno de um déficit de complementação hídrica de aproximadamente 300 mm. A partir do ano de 2002 até o final de 2012, quando as análises se encerram, também todas as safras tiveram subestimativas de complementação hídrica por parte do NASAPOWER em média de 200 mm, exceto a safra de 2006 quando a simulação ficou bem ajustada.

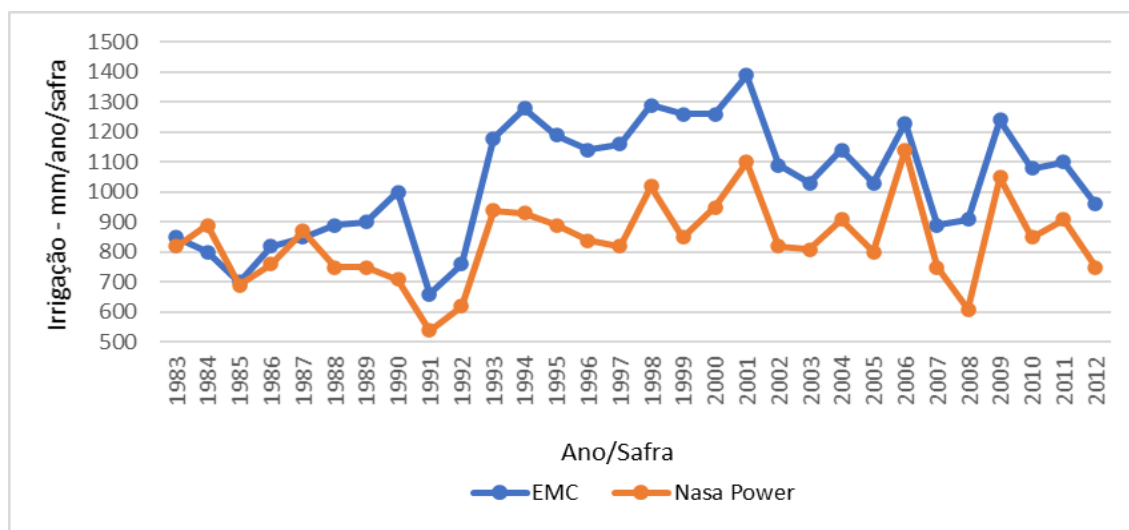


Figura 14. Demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura da cana-de-açúcar determinada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Uberaba, MG.

Os anos em que houveram as menores necessidades de irrigação por parte do INMET foram os anos de 1985, 1991 e 1992, sendo 700, 660 e 760 mm respectivamente de complementação hídrica, enquanto que nesses mesmos anos o NASAPOWER também apresentou os seus menores indicadores de irrigação, além de 2008, sendo que foram respectivamente 690, 540 e 620 mm de irrigação ao longo do ciclo da cultura, vale ressaltar que esses anos estavam dentro do período de melhor adequação dos dados fornecidos pelo NASAPOWER em relação ao INMET ao longo da série histórica.

O ano/safra de 2001 foi o que mais exigiu complementação hídrica por parte da avaliação do INMET, necessitando de 1390 mm, já para o NASAPOWER foi o ano/safra de 2006, recomendando 1140 mm, onde o INMET também teve uma recomendação aproximada, sendo esta a única mais condizente após o ano de 1992. É importante destacar que das 30 safras analisadas o NASAPOWER só recomendou volumes de complementação hídrica acima de 1000 mm em apenas 4, enquanto que no INMET foram 18, o que mostra que os dados do NASAPOWER têm dificuldades para ser mais representativo nessa região quando o volume de irrigação é mais alto. Silva et al. (2011) ressalta que esta cultura é considerada de alta eficiência no uso da água e que possui uma boa relação entre a produção e o volume de água utilizado, por isso o atendimento das exigências hídrica é de grande importância.

Com relação ao desempenho dos índices estatísticos das variáveis do NASAPOWER em relação aos dados do INMET apresentado na Tabela 10, estes se mantiveram praticamente inalterados em relação as análises feitas para Uruguiana, apesar de que houve apenas uma troca de inversão entre a temperatura máxima e umidade relativa média de Uberaba em relação a Uruguiana, onde os índices estatísticos de temperatura máxima pioraram e consequentemente afetou um pouco de forma negativa a temperatura média, e uma melhora dos índices da umidade relativa média. Desta forma a ETo teve também uma melhora dos índices estatísticos, apresentando um erro absoluto médio de 0,83 e um índice de concordância de 0,86, apesar do coeficiente de determinação ainda ser sofrível.

Tabela 10. Relação dos valores dos índices estatísticos para cada parâmetro analisado e calculado com base nos dados do NASAPOWER e EMC do INMET para Uberaba em escala diária.

Índice Est.	Prec.	T.Max.	T.Min.	T.Med.	R.S.	V. Vento	Ur.Med.	ETo.
d	0,61	0,75	0,93	0,85	0,76	0,59	0,87	0,86
R ²	0,20	0,56	0,76	0,75	0,47	0,22	0,63	0,61
RMSE	10	3	2	2	6	1	9	1
MAE	4,83	2,68	1,25	1,83	4,46	1,02	7,42	0,83

Índice Est. – Índice estatístico, Prec. – Precipitação (mm), T.Max. – Temperatura máxima (°C), T.Min. – Temperatura mínima (°C), T.Med. – Temperatura média (°C), R.S. – Radiação solar (MJ), V. Vento – Velocidade do vento (m/s), Ur.Med. – Umidade relativa média (%), ETo. – Evapotranspiração de referência (mm).

*Os gráficos de dispersão dos principais elementos climáticos avaliados entre EMC e NASAPOWER em escala diária durante o período das simulações da cultura para esta região, além da precipitação acumulada, podem ser visualizados no Apêndice C.

No gráfico de precipitação acumulada da Figura 15 - A, é possível constatar que nos três primeiros anos houve uma diferença de aproximadamente 200 mm entre as duas base de dados, sendo que de 1986 à 2003 houve uma ótima relação entre os dados, onde as linhas quase sempre se sobrepõem, com exceção apenas do ano de 1999 onde houve uma diferença de 300 mm a menos no indicativo do NASAPOWER em relação ao INMET, já a partir de 2004 até o final da série houveram momentos em que as precipitações acumuladas se coincidiam e em outros haviam grandes diferenças. Já em relação a ETo acumulada, apresentada na Figura 15 – B, somente as primeiras safras tiveram uma boa relação entre as bases de dados, pois a partir de 1990 a diferença entre a ETo

obtida pelo NASAPOWER foi sempre subestimada em relação a EMC até o final das simulações em 2012.

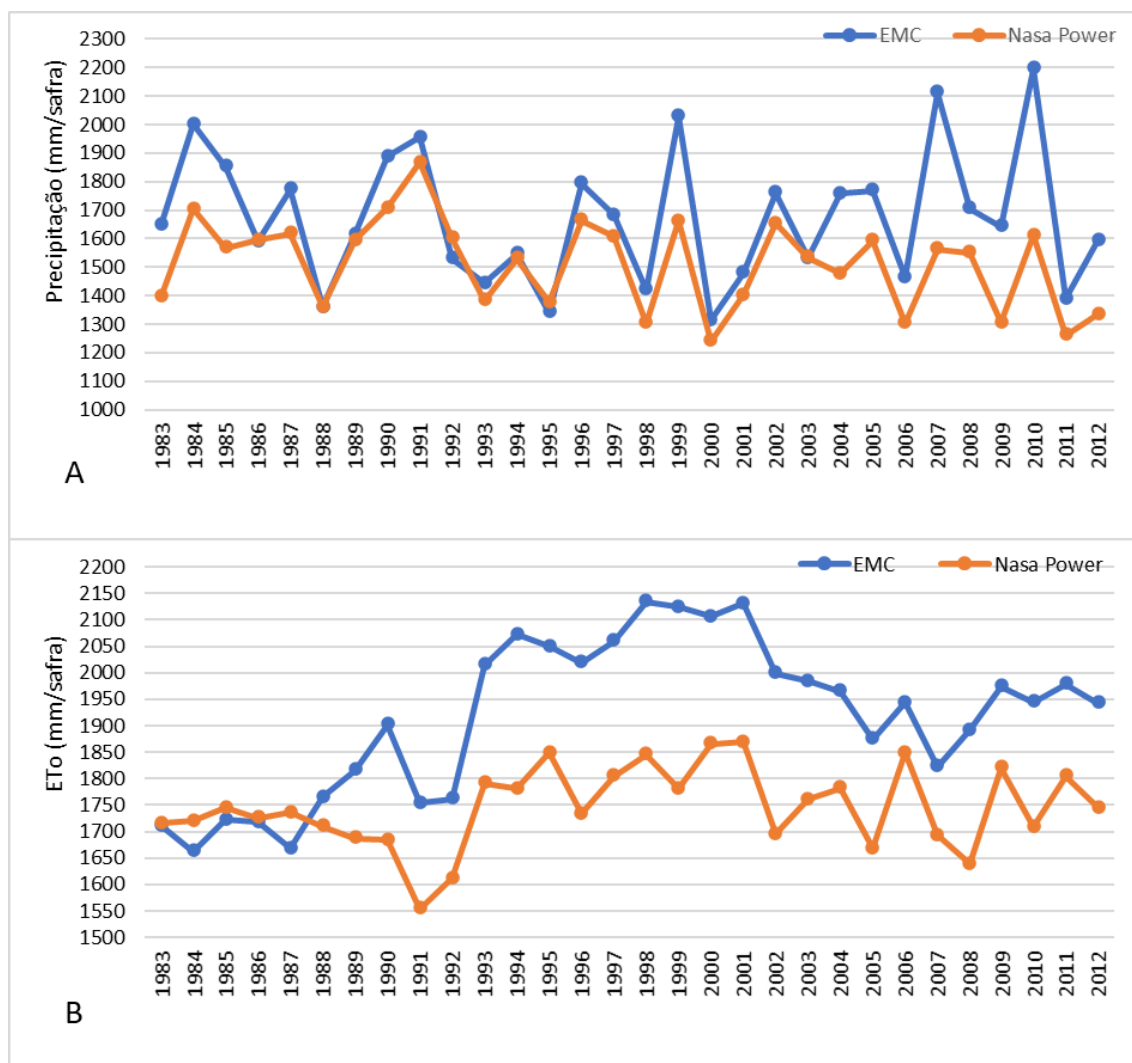


Figura 15. Precipitação (A) e a evapotranspiração de referência (ETo) (B) acumulada ao longo da safra de cana-de-açúcar entre 1983 e 2012 considerando as bases climáticas de estações meteorológicas convencionais (EMC) e NASAPOWER para Uberaba, MG.

4.4 LARANJA - ARARAQUARA, SP

Para o cultivo da laranja, as simulações tiveram início na metade do mês de agosto, com um acompanhamento das necessidades de complementações hídricas por um período de nove meses na região produtora de Araraquara, finalizando a avaliação na metade do mês de maio. Fazendo uma média das irrigações sugeridas pelos dados da EMC temos uma média de 196 mm por safra,

enquanto que para o NASAPOWER a média foi de 229, havendo um desvio padrão entre as fontes de recomendação de complementação hídrica de 83 mm.

Segundo Amaral (2018) há uma grande variação no consumo hídrico de um laranjal em razão das diferentes condições da região, desta forma a demanda hídrica dos citros é dada entre 600 a 1200 mm ano, onde há um menor consumo no período de inverno, ficando em torno de 1,5 mm/dia e de 5,3 mm no período da primavera e verão. Em experimento realizado por Marin et al. (2002) no estado de São Paulo, foi verificado que o consumo de água em pomares irrigados é de 3 mm/dia, enquanto que nos pomares que não dispõem de irrigação o consumo cai pela metade, ficando em 1,5 mm/dia.

Ao analisarmos a Figura 16, nota-se que a necessidade de complementação hídrica durante o ciclo de produção da laranja é pequena na maioria dos anos/safras, se comparado ao volume de demanda hídrica da cultura. Isso pode estar diretamente relacionado com a boa quantidade e distribuição das chuvas que ocorrem na região de Araraquara durante o período de análise e produção da cultura.

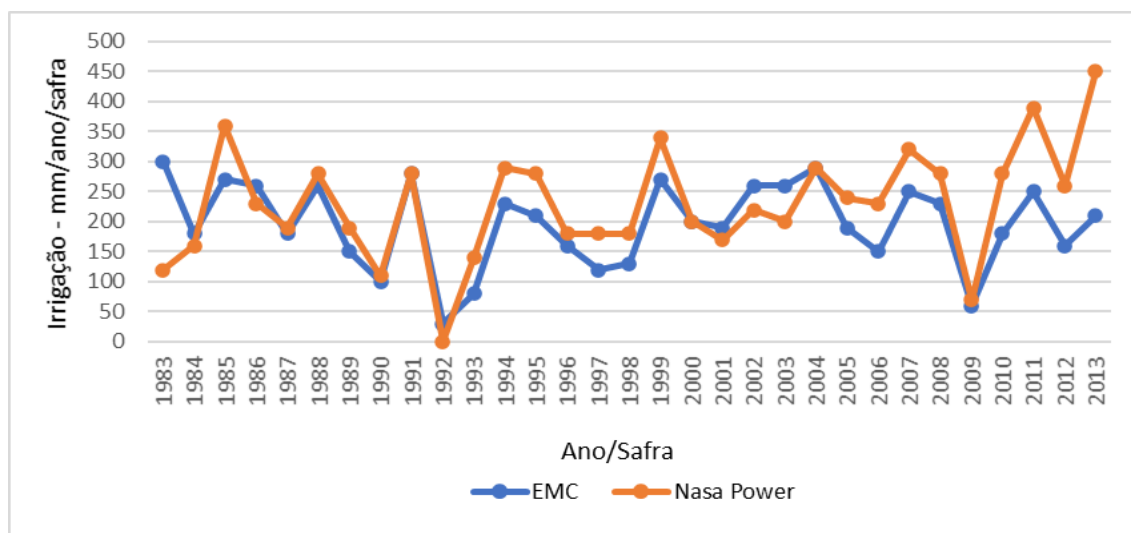


Figura 16. Demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura da laranja determinada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Araraquara, SP.

Apesar do gráfico de dispersão da Figura 17 apresentar alguns valores estatísticos mais baixos, como o de correlação (0,66) e determinação (0,44), se analisarmos o gráfico da Figura 16 novamente, veremos que na maioria das safras

da série histórica analisada, houveram uma boa recomendação de irrigação do NASAPOWER em relação a EMC, muito pelo erro médio absoluto de apenas 57 mm ao longo do ciclo longo da cultura, sendo que os únicos momentos em que houveram uma maior diferença, foram na primeira safra (1983) e nas quatro últimas (2010-2013). O índice de concordância de Willmott para as irrigações foi de 0,75.

O ano/safra que exigiu mais irrigações fazendo uso da EMC foi o primeiro da avaliação, em 1983 com 300 mm, já fazendo o uso do NASAPOWER ocorreu no último ano de avaliação, em 2013 com 450 mm de complementação hídrica, estando desta forma bem desconexos quando se trata do período de maior demanda de irrigação por parte das bases de dados. Já com relação as menores quantidades de irrigações, as simulações se mostraram com mais condizentes, onde tanto no ano de 1992 e 2009 ambas as fontes analisadas indicaram as menores quantidade de água a ser aplicada, sendo de 30 e 60 mm de acordo com o INMET e zero e 70 mm de acordo com o NASAPOWER para os respectivos anos.

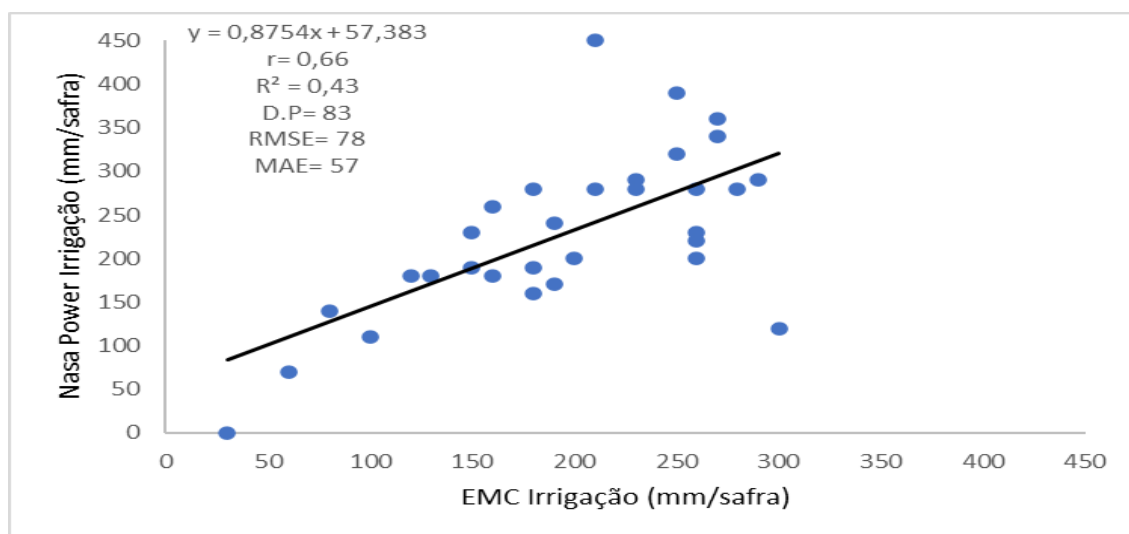


Figura 17. Relação de demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura da laranja quantificada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Araraquara, SP.

Os índices estatísticos das variáveis analisadas na Tabela 11 são praticamente idênticos aos da tabela anterior de Uberaba, sendo que as únicas diferenças observadas é uma boa melhora nos índices de radiação solar, passando de mediano para muito bom e se assemelhando ao mesmo encontrado para Cruz Alta e uma ligeira melhora na velocidade do vento que ainda continua sofrível.

Mesmo assim as variáveis apresentaram um bom desempenho para estimativa da ETo.

Tabela 11. Relação dos valores dos índices estatísticos para cada parâmetro analisado e calculado com base nos dados do NASAPOWER e EMC do INMET para Araraquara em escala diária.

Índice Est.	Prec.	T.Max.	T.Min.	T.Med.	R.S.	V. Vento	Ur.Med.	ETo.
d	0,59	0,79	0,92	0,85	0,90	0,67	0,81	0,87
R ²	0,17	0,44	0,76	0,69	0,67	0,21	0,54	0,66
RMSE	11	3	1	2	3	1	11	1
MAE	5,61	2,20	1,12	1,48	2,61	0,75	8,52	0,74

Índice Est. – Índice estatístico, Prec. – Precipitação (mm), T.Max. – Temperatura máxima (°C), T.Min. – Temperatura mínima (°C), T.Med. – Temperatura média (°C), R.S. – Radiação solar (MJ), V. Vento – Velocidade do vento (m/s), Ur.Med. – Umidade relativa média (%), ETo. – Evapotranspiração de referência (mm).

*Os gráficos de dispersão dos principais elementos climáticos avaliados entre EMC e NASAPOWER em escala diária durante o período das simulações da cultura para esta região, além da precipitação acumulada, podem ser visualizados no Apêndice D.

Quando verificamos o gráfico da Figura 18 - A, podemos notar que a linha de precipitação acumulada do NASAPOWER acompanha de perto a linha do INMET durante praticamente toda a série histórica, com exceção do ano de 2009. O bom volume de precipitação acumulada para região pode confirmar a pouca necessidade de complementações hídricas por parte das irrigações, anteriormente mencionadas para a cultura da laranja durante o seu ciclo, já que boa parte da demanda de água pelas plantas é suprida pelas chuvas. Já em relação a ETo acumulada apresentada na Figura 18 - B, o cenário já é diferente, onde apenas um terço dos anos avaliados ficou abaixo de 100 mm de diferença entre os bancos de dados avaliados, sendo que na maioria das simulações o NASAPOWER sempre superestimava a ETo.

Contudo fica evidente que quando se analisa a precipitação diária ela se torna menos significativa do que a acumulada por safra, enquanto que para a ETo é mantida os mesmos padrões. Essas mesmas condições também foram observados nas análises anteriores, podendo ser creditado muito em função da escala temporal de análise, onde a precipitação fica melhor representada com o aumento de dias analisados em conjunto, enquanto que a ETo de forma acumulada sofre mais alterações em razão da estimativa feita em função das diversas variáveis obtidas pelo NASAPOWER e calculada pelo método padrão de obtenção da ETo.

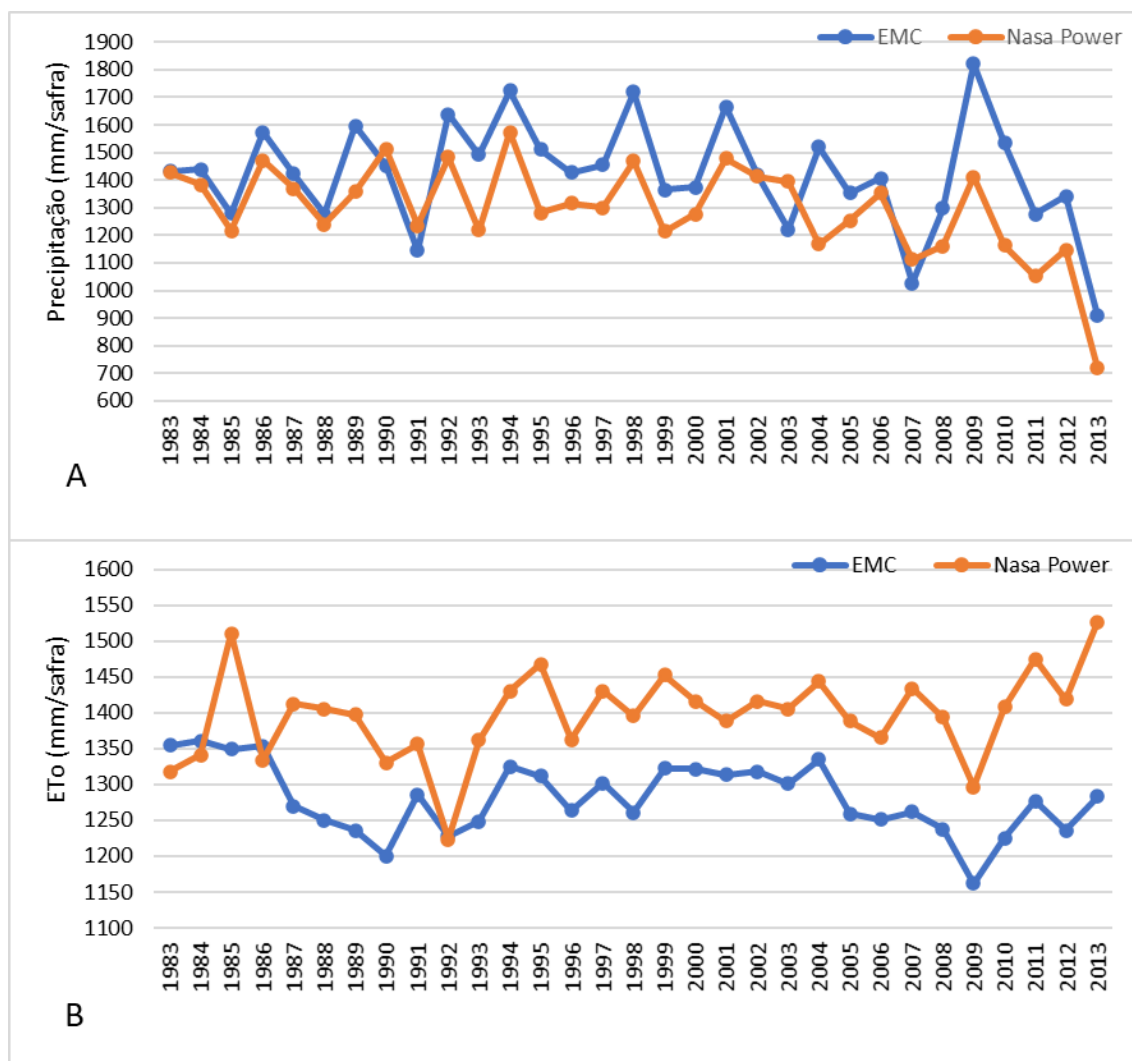


Figura 18. Precipitação (A) e a evapotranspiração de referência (ETo) (B) acumulada ao longo da safra de laranja entre 1983 e 2013 considerando as bases climáticas de estações meteorológicas convencionais (EMC) e NASAPOWER para Araraquara, SP.

4.5 MILHO DOCE - UNAÍ, MG

Para região de Unaí a cultura do milho doce teve suas avaliações iniciadas aos 20 dias do mês de fevereiro, onde houveram três meses de análise dos dados, finalizando as avaliações após este período, no final de maio. A cultura do milho verde pode ser considerada uma hortaliça, em razão do tempo menor de permanência no campo até a colheita, sendo de aproximadamente 90 dias no verão e 100 dias no inverno (Embrapa, 2020).

Com o período de avaliação sendo feito em uma época em que a segunda safra ainda se aproveita de alguns momentos de precipitação e também

da umidade do cultivo anterior, é normal que se realize poucas irrigações, sendo as mais utilizadas, em estádios do ciclo mais importantes para definição da produção. Mesmo assim em todos os anos analisados houveram a necessidade de complementação hídrica pelas duas fontes de dados analisados, mesmo que seja em pequena quantidade.

De acordo com o gráfico da Figura 19, as simulações de irrigação geralmente estão muito próximas, sendo quase sempre subestimadas pelo NASAPOWER, porem o desvio padrão entre elas é de apenas 63 mm. Quando verificamos que 13 das 31 simulações estão com uma diferença de recomendação de irrigação acima de 60 mm pode parecer pouco em razão da quantidade de demanda hídrica da cultura no ciclo, porem por se tratar de uma cultura precoce de ciclo curto, essa diferença pode se tornar muito relevante do ponto de vista da produção, dependendo do momento de necessidade de reposição de água.

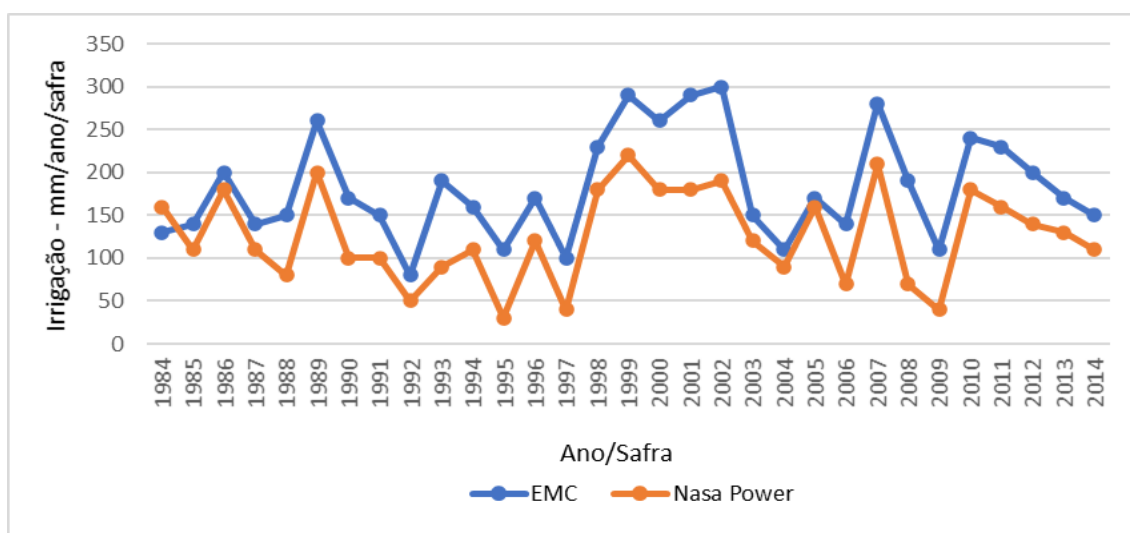


Figura 19. Demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura do milho doce determinada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Unaí, MG.

O gráfico de dispersão expresso na Figura 20, demonstra o desempenho do manejo de irrigação efetuado pelo NASAPOWER em comparação a EMC, apresentando bons índices estatísticos, com um coeficiente de correlação de 0,86, determinação de 0,74 e um erro médio absoluto de 58 mm, sendo até agora o segundo melhor manejo realizado dentro dos cinco analisados, ficando atrás somente da região de Cruz Alta – RS. Porem como foi discutido anteriormente é

preciso atenção quanto ao momento de irrigar, devido ao ciclo curto da cultura, o que dá uma margem menor de erro na prática.

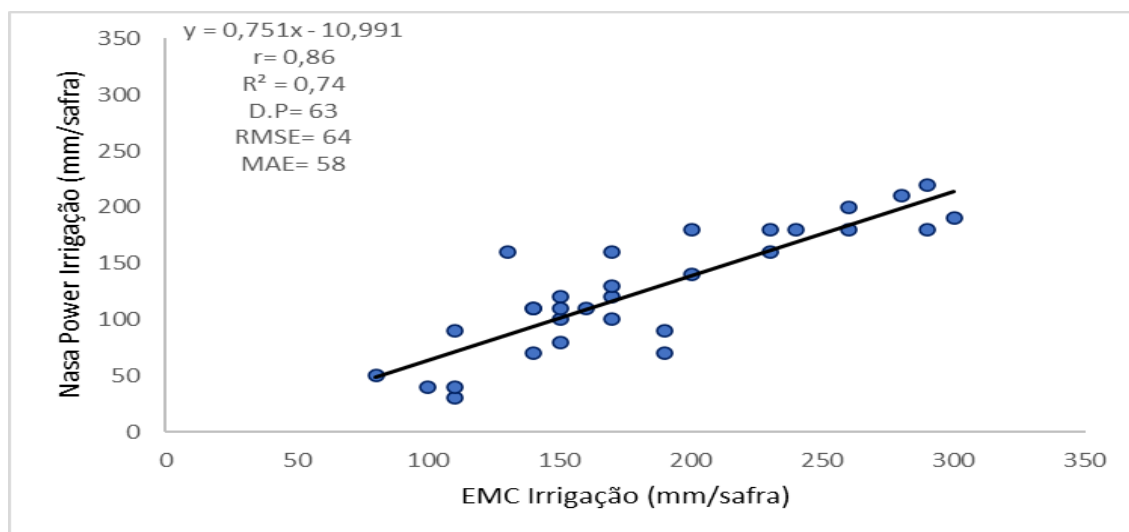


Figura 20. Relação de demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura do milho doce quantificada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Unaí, MG.

A média geral de complementação hídrica das 31 simulações para a EMC ficou em 182 mm enquanto para o NASAPOWER foi de 126 mm. O maior registro de irrigação pelo INMET foi no ano de 2002 com 300 mm, enquanto que para o NASAPOWER foi em 1999 com 220 mm, de certo modo os anos com as menores necessidades de irrigação ficaram bem uniforme entre as duas fontes. O índice de concordância de Willmott para as irrigações ficou em 0,74.

Como pode ser visto no gráfico da Figura 21 - A, há uma boa relação entre a precipitação acumulada por safras, assim como foi demonstrado no gráfico de dispersão do Apêndice E (Figura F). Com exceção do ano de 1993, os demais anos analisados apresentaram um bom desempenho, mantendo sempre uma concordância entre as linhas durante a série histórica, sendo que pouquíssimas vezes destoou para até 100 mm de diferença.

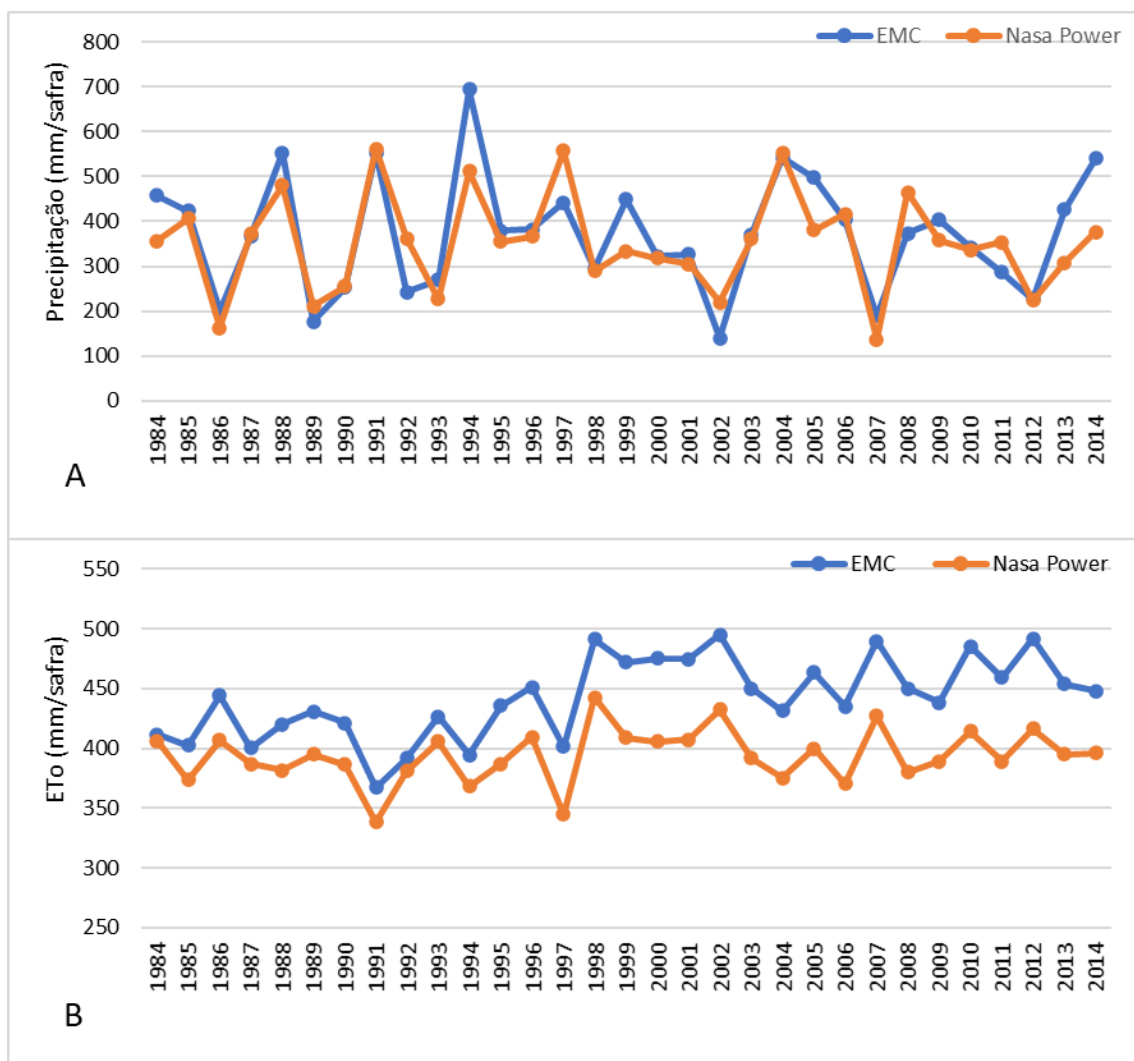


Figura 21. Precipitação (A) e a evapotranspiração de referência (ETo) (B) acumulada ao longo da safra de milho doce entre 1984 e 2014 considerando as bases climáticas de estações meteorológicas convencionais (EMC) e NASAPOWER para Unaí, MG.

Em relação a ETo acumula presente na Figura 21 - B, pode-se dizer que apesar dos índices estatísticos apresentados na Tabela 13 não serem muito favoráveis a sua utilização em escala diária, seu uso de forma acumulada nas safras se mostra interessante, apesar da linha não se sobrepor igual ocorre com a precipitação, ela demonstra uma diferença pequena entre os anos analisados da série histórica, de forma que fique a ETo fornecida pelo NASAPOWER fique em média 50 mm abaixo da comparação com o INMET.

Analisando os índices estatísticos disponibilizados na Tabela 12, podemos notar que todas as variáveis integrantes do cálculo de ETo fornecidos pelo NASSAPOWER apresentaram um baixo desempenho em relação aos

colhidos da EMC do INMET na região de Unaí. A ETo ainda conseguiu um desempenho considerado regular, mas que acabou interferindo no balanço hídrico para irrigação, realizado pelo NASAPOWER, por isso há subestimativas de complementação hídrica em praticamente todos os anos/safras observados na Figura 19 e discutido anteriormente.

Tabela 12. Relação dos valores dos índices estatísticos para cada parâmetro analisado e calculado com base nos dados do NASAPOWER e EMC do INMET para Unaí em escala diária.

Índice Est.	Prec.	T.Max.	T.Min.	T.Med.	R.S.	V. Vento	Ur.Med.	ETo.
d	0,56	0,77	0,79	0,70	0,78	0,54	0,69	0,81
R ²	0,16	0,53	0,53	0,58	0,53	0,12	0,51	0,60
RMSE	10	2	1	2	4	1	11	1
MAE	4,75	1,41	1,17	1,52	3,64	0,64	8,77	0,71

Índice Est. – Índice estatístico, Prec. – Precipitação (mm), T.Max. – Temperatura máxima (°C), T.Min. – Temperatura mínima (°C), T.Med. – Temperatura média (°C), R.S. – Radiação solar (MJ), V. Vento – Velocidade do vento (m/s), Ur.Med. – Umidade relativa média (%), ETo. – Evapotranspiração de referência (mm).

*Os gráficos de dispersão dos principais elementos climáticos avaliados entre EMC e NASAPOWER em escala diária durante o período das simulações da cultura para esta região, além da precipitação acumulada, podem ser visualizados no Apêndice E.

4.6 CANA-DE-AÇÚCAR - RIO VERDE, GO

As simulações da cana-de-açúcar realizadas para região de Rio Verde possuem as mesmas características da análise feita em Uberaba-MG, ou seja a data de início de avaliação, Kc das fases da cultura e tempo de avaliação se mantem iguais, modificando apenas as características locais da avaliação através dos dados meteorológicos coletados do INMET e do NASAPOWER para a região.

Desta forma, através da Figura 22 é apresentado o gráfico da comparação de complementação hídrica entre o uso do NASAPOWER e EMC para manejo de irrigação da cultura da cana, onde apesar de haver uma tendência de acompanhamento da linha laranja do NASAPOWER em relação a do INMET, pode-se perceber que é muito irregular, havendo uma variação grande entre uma safra e outra ao longo da série temporal.

Vale ressaltar que assim como ocorreu em Uberaba, quando há recomendações de irrigação mais elevadas pelo INMET em determinadas safras, o NASAPOWER acaba não conseguindo acompanhar, isso fica evidente quando

analisamos os gráficos de ETo acumulada das duas regiões, onde nas duas ocasiões o NASAPOWER apresenta uma subestimativa que implicara no momento do cálculo do balanço hídrico, por ser a principal fonte de saída de água no sistema.

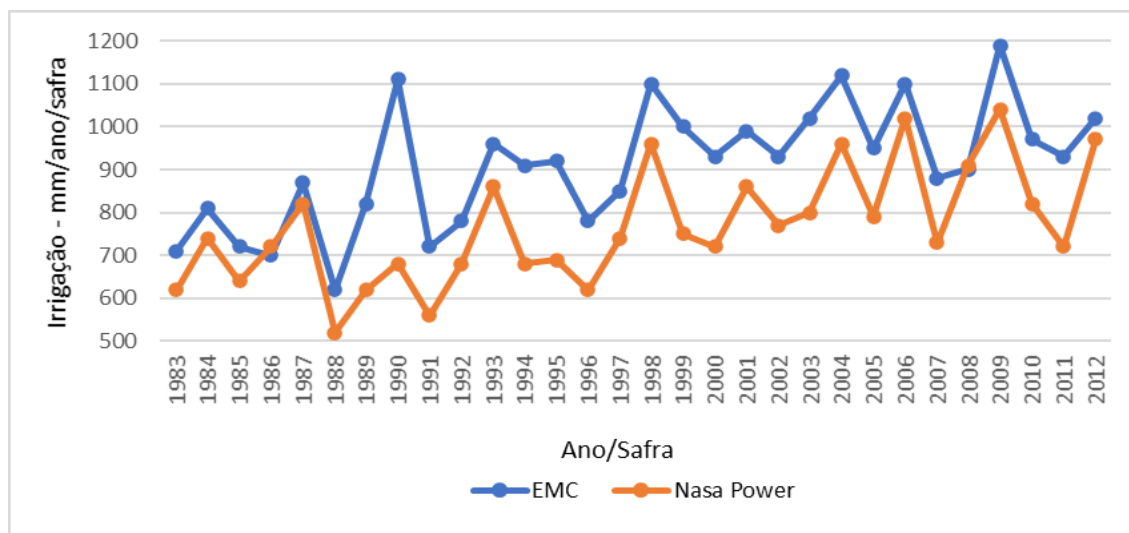


Figura 22. Demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura da cana-de-açúcar determinada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Rio Verde, GO.

A média de irrigação por safra de cana utilizando a EMC fica em torno de 910 mm, enquanto que o NASPOWER é de 670 mm, com um desvio padrão entre elas de 153 mm. O destaque para a menor necessidade de complementação hídrica tanto para o INMET quanto para o NASAPOWER foi o ano de 1988 com 620 e 520 mm respectivamente para cada, já a maior, foi no ano de 2009 para as duas bases de dados, sendo 1190 mm para o INMET e 1040 para o NASAPOWER.

Ao olharmos os índices estatísticos no gráfico de dispersão de irrigação na Figura 23, podemos ver que os coeficientes de correlação e determinação para cana-de-açúcar na região de Rio Verde são iguais aos obtidos para a cultura da cana na região de Uberaba 0,80 e 0,64 respectivamente, com a diferença de que o desvio padrão, raiz quadrada do erro médio e o erro médio absoluto é menor para as irrigações realizadas na região de Rio Verde. O índice de concordância de Willmott para as irrigações é de 0,83 para a cana nesta região.

Ainda fazendo uma comparação com a cana na região de Uberaba, houve pequenas mudanças nos índices estatísticos avaliados na Tabela 13 para Rio Verde, de forma que a precipitação e evapotranspiração de referência variarão

pouco negativamente, enquanto que a velocidade do vento variou pouco positivamente, já as demais variáveis se mantiveram estagnadas. Desse modo não houve nenhuma alteração que gerasse alguma mudança relevante, assim como em outras tabelas observadas anteriormente. Desse modo as considerações feitas em relação a tabela de Uberaba se mantem as mesmas para Rio Verde.

No gráfico da Figura 24 - A é possível visualizar de forma mais evidente o comportamento desajustado da precipitação acumulada para Rio Verde em comparação ao gráfico de dispersão do Apêndice F (Figura - F), onde pela primeira vez, os indicadores “r” e ‘R² se mostraram muito próximos ao da precipitação avaliada em escala diária da Tabela 13. Há em alguns anos diferenças de 200, 300 e até 500 mm no ano de 2012 de precipitação acumulada a mais em favor do INMET.

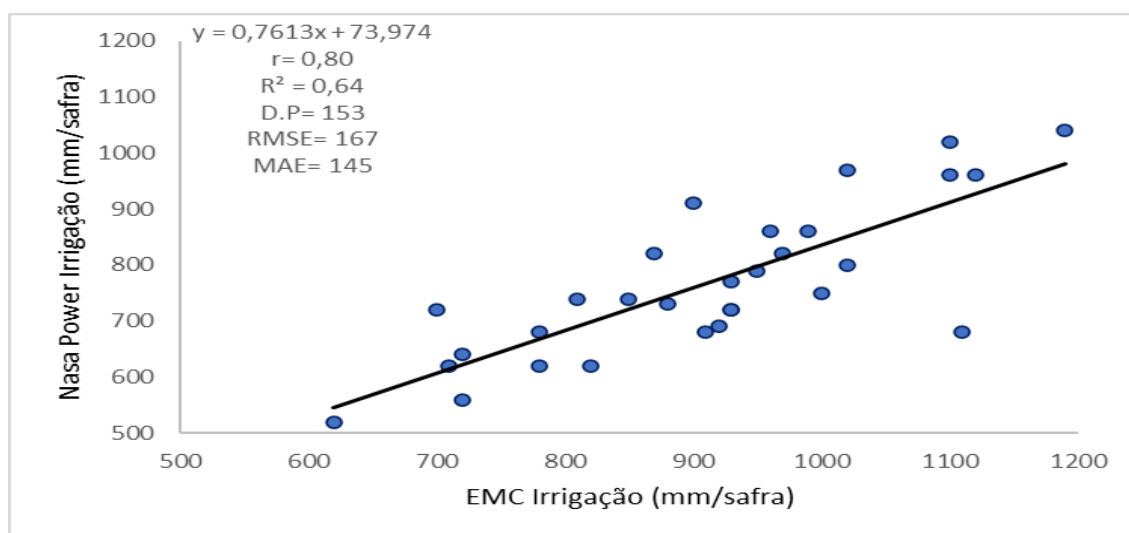


Figura 23. Relação de demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura da cana-de-açúcar quantificada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Rio Verde, GO.

Tabela 13. Relação dos valores dos índices estatísticos para cada parâmetro analisado e calculado com base nos dados do NASAPOWER e EMC do INMET para Rio Verde em escala diária.

Índice Est.	Prec.	T.Max.	T.Min.	T.Med.	R.S.	V. Vento	Ur.Med.	ETo.
d	0,55	0,72	0,93	0,87	0,78	0,48	0,89	0,84
R ²	0,14	0,57	0,81	0,80	0,47	0,07	0,68	0,53
RMSE	10	3	2	2	5	1	8	1
MAE	5,07	2,90	1,40	1,72	3,67	1,02	6,69	0,71

Índice Est. – Índice estatístico, Prec. – Precipitação (mm), T.Max. – Temperatura máxima (°C), T.Min. – Temperatura mínima (°C), T.Med. – Temperatura média (°C), R.S. – Radiação solar (MJ), V. Vento – Velocidade do vento (m/s), Ur.Med. – Umidade relativa média (%), ET_o – Evapotranspiração de referência (mm).

*Os gráficos de dispersão dos principais elementos climáticos avaliados entre EMC e NASAPOWER em escala diária durante o período das simulações da cultura para esta região, além da precipitação acumulada, podem ser visualizados no Apêndice F.

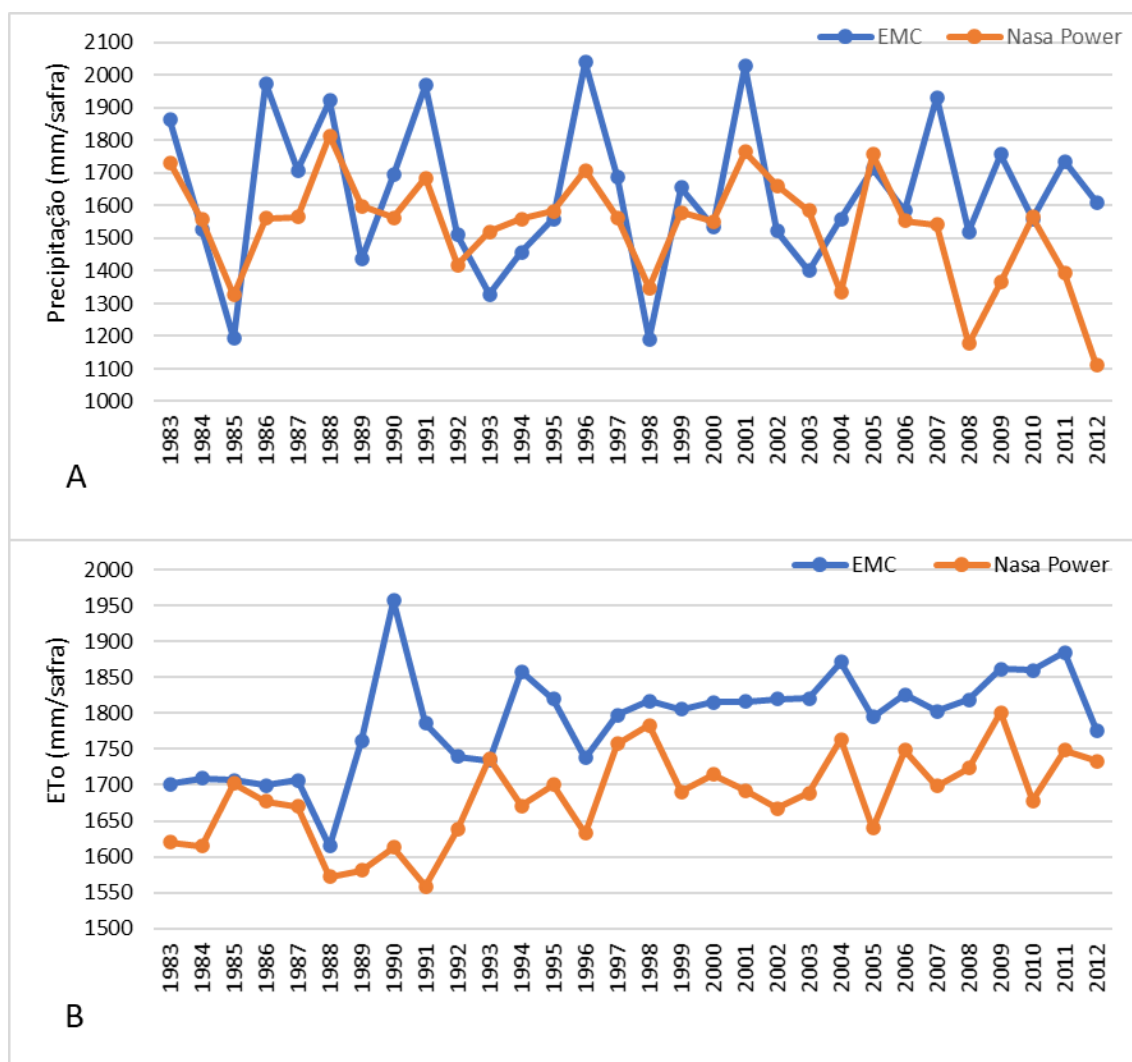


Figura 24. Precipitação (A) e a evapotranspiração de referência (ET_o) (B) acumulada ao longo da safra de cana-de-açúcar entre 1983 e 2012 considerando as bases climáticas de estações meteorológicas convencionais (EMC) e NASAPOWER para Rio Verde, GO.

Em um primeiro momento estes dados causaram estranheza, de forma que foram analisados novamente os dados do INMET para essa região, onde foi constatado os mesmos resultados. Consultando a média climatológica calculada dos últimos 30 para região de Rio Verde, através da plataforma do ClimaTempo, foi constatado que a média de precipitação anual é de 1665, ou seja próximo a média

encontrada neste estudo, que é de 1640 na base do INMET e de 1535 para o NASAPOWER, o que fez com que as informações de precipitação acumulada tivessem um maior respaldo, em razão de sua grande variação ao longo de 30 anos de observação (Climatempo, 2020).

Devido a precipitação para esta região não ser regular, havendo esses picos de maior e menor volume de chuva acumulada, acaba sendo mais difícil de captar essa informação pelo NASAPOWER, pois em apenas um dia como foi verificado na base de dados avaliados do INMET choveu 151,4 mm, e já no NASAPOWER a maior registrada para essa mesma região e período de avaliação foi de 76,8 mm.

Com relação a ETo acumulada, nota-se através da Figura 24 - B que o NASAPOWER acompanha a linha do INMET, porém quase sempre subestimando, sendo que apenas 8 dos 30 anos avaliados tiveram uma diferença acima de 100 mm em favor do INMET. Se levarmos em consideração o período grande de avaliação, que é de um ano e a cultura da cana-de-açúcar que neste caso conseguiria suportar uma menor quantidade de irrigação em razão da quantidade total de demanda hídrica por ciclo, pode-se dizer que a representação do NASAPOWER se saiu bem, com exceção dos anos 1989, 1990 e 1991 em que a diferença foi exagerada.

4.7 CAFÉ - ARAGUARI, MG

Segundo BERNARDO (2019) a demanda hídrica do cafeeiro encontra-se em torno de 800 a 1200 mm/ciclo produtivo, isto levando em consideração o desenvolvimento da planta em condições normais e de forma que não haja a ocorrência de perdas de produtividade.

Quando analisamos a Figura 25, é possível verificar que a linha de complementação hídrica do NASAPOWER tem a mesma tendência que a do INMET, porém há um período em que ela destoa mais, que é de 1993 a 2005, exceto 2003, onde o NASAPOWER recomenda uma média de 193 mm a menos que as do INMET, sendo que a média de irrigação por safra deste período com maior diferença entre o INMET e o NASAPOWER é de 572 mm para o INMET e 379 mm para o NASPOWER. De toda forma se levarmos em consideração que a

cultura do cafeeiro permanece por aproximadamente 10 meses dependendo de uma eventual complementação de demanda hídrica e que essa diferença de 190 mm entre as duas fontes de dados pode não causar uma perda expressiva de produtividade e qualidade dos frutos.

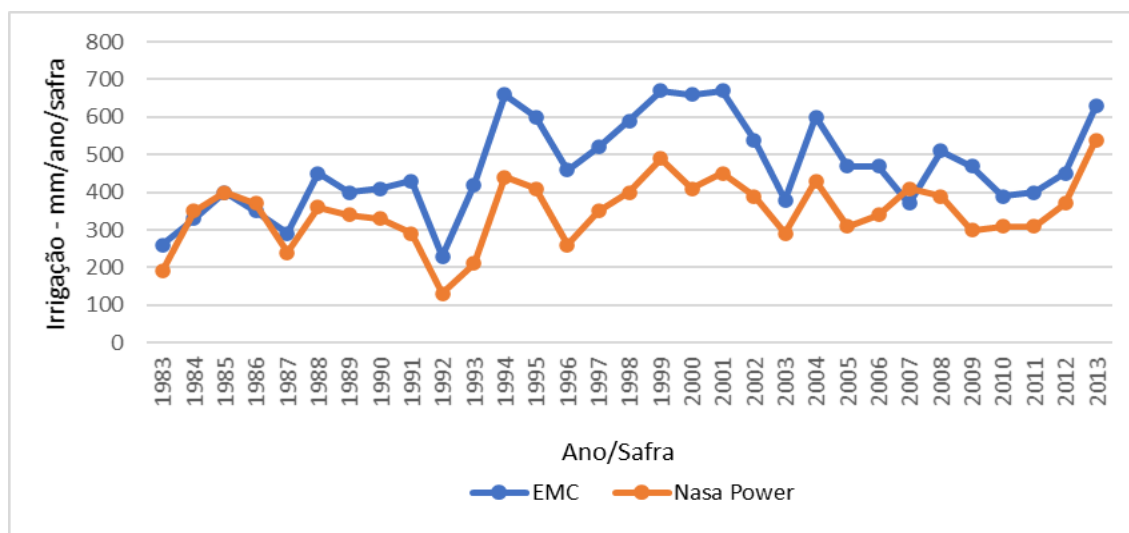


Figura 25. Demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura do café determinada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Araguari, MG.

Agora quando analisamos a média total da série avaliada para o cafeeiro na região de Uruguaiana, esta fica em 467 mm para o INMET e 349 para o NASAPOWER, com um desvio padrão entre elas de 120 mm. O índice de concordância de Willmot foi de 0,67.

Os anos de menores complementação para ambos foram nos anos de 1983, 1992 com 260 e 230 mm para o INMET e 190 e 130 mm para o NASAPOWER respectivamente. Já os maiores foram 1991 e 2001 com 670 mm cada para o INMET e em 1999 e 2013 com 490 e 540 mm para o NASAPOWER respectivamente.

Na Figura 26 está representado o gráfico de dispersão relacionando a complementação hídrica feita pelo INMET e NASAPOWER, com uma correlação de 0,79, R^2 de 0,62, desvio padrão de 120 mm e erro absoluto médio de 123,55.

Na Tabela 14 são encontrados os valores dos índices estatísticos realizados entre as variáveis do NASAPOWER e do INMET na escala diária, onde os mesmos seguem apresentando resultados parecidos com os encontrados para

outras regiões, onde os dados de temperatura mínima e média, umidade relativa média e evapotranspiração de referência continuam apresentando bons resultados, enquanto os de precipitação e vento seguem péssimos.

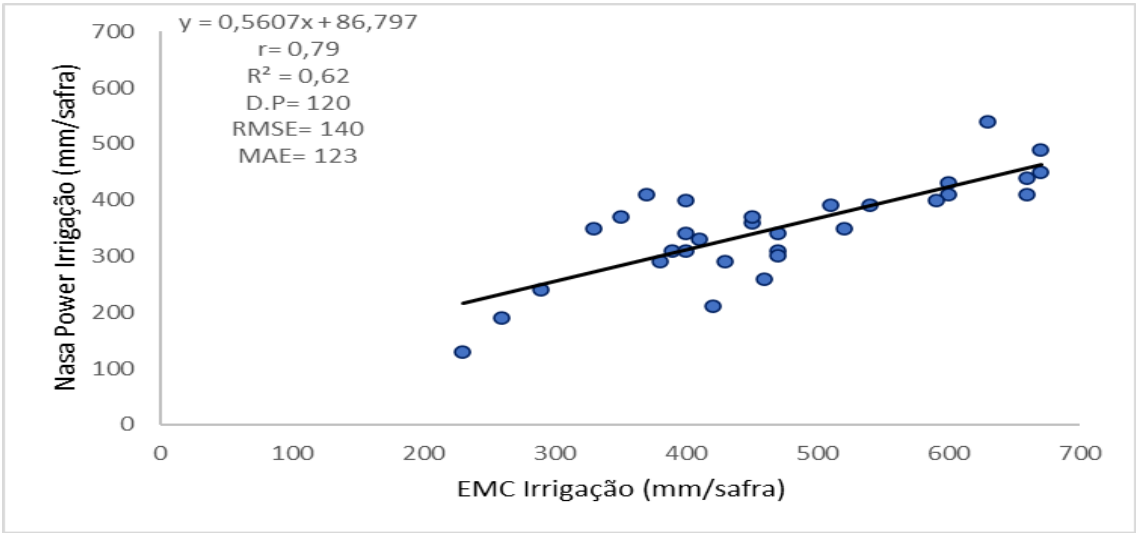


Figura 26. Relação de demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura do café quantificada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Araguari, MG.

Tabela 14. Relação dos valores dos índices estatísticos para cada parâmetro analisado e calculado com base nos dados do NASAPOWER e EMC do INMET para Araguari em escala diária.

Índice Est.	Prec.	T.Max.	T.Min.	T.Med.	R.S.	V. Vento	Ur.Med.	ETo.
d	0,59	0,74	0,92	0,84	0,79	0,57	0,86	0,87
R²	0,18	0,54	0,73	0,72	0,51	0,19	0,58	0,63
RMSE	11	3	2	2	5	1	9	1
MAE	5,65	2,68	1,18	1,77	4,16	1,03	7,25	0,82

Índice Est. – Índice estatístico, Prec. – Precipitação (mm), T.Max. – Temperatura máxima (°C), T.Min. – Temperatura mínima (°C), T.Med. – Temperatura média (°C), R.S. – Radiação solar (MJ), V. Vento – Velocidade do vento (m/s), Ur.Med. – Umidade relativa média (%), ETo. – Evapotranspiração de referência (mm).

*Os gráficos de dispersão dos principais elementos climáticos avaliados entre EMC e NASAPOWER em escala diária durante o período das simulações da cultura para esta região, além da precipitação acumulada, podem ser visualizados no Apêndice G.

Após a última avaliação em Rio Verde, a precipitação acumulada para Araguari (Apêndice G – Figura F) voltou a apresentar melhores indicadores quando avaliada de forma acumulada durante as safras, assim como ocorreram nas outras regiões anteriormente analisadas.

A média de precipitação acumulada por ano na região de Araguari foi de 1630 mm com base no INMET e de 1473 mm pelo NASAPOWER, com um desvio padrão de 224 mm. Quando se observa o gráfico de precipitação anual durante as safras para região de Araguari (Figura 27 - A), é possível visualizar o acompanhamento próximo dos dados do NASAPOWER em relação aos do INMET, onde apenas em 4 anos houve uma diferença grande, sendo eles em 1984, 1999, 2007 e 2010, sendo que os outros 27 anos ficaram muito próximos dos valores tabelados pela EMC.

Ao olharmos o gráfico da Figura 27 - B, pode-se pensar que a ETo do NASAPOWER se mostrou muito distante em relação a do INMET, porem basta notar a escala para verificar que o comportamento após o ano de 1988 se mantem em uma diferença de aproximadamente 200 mm por safra um do outro, de forma que o desvio padrão calculado para serie de evapotranspiração foi menor que a metade do obtido para a precipitação acumulada, sendo 111 mm para ETo e 224 para a precipitação acumulada. Isso é explicado devido a amplitude do gráfico de ambas, onde o da precipitação varia de 900 a 2300 e o da ETo de 1300 a 1750.

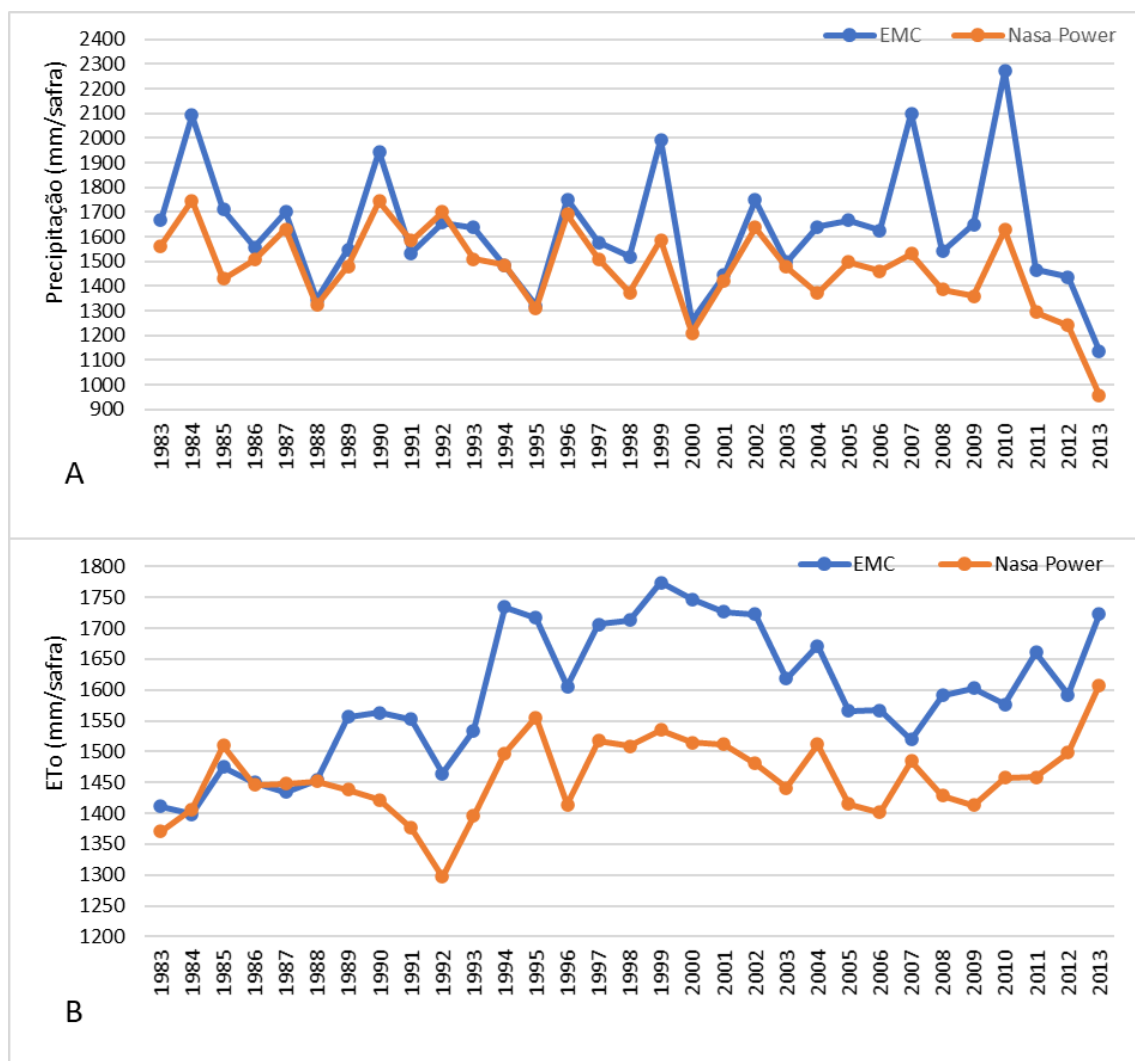


Figura 27. Precipitação (A) e a evapotranspiração de referência (ETo) (B) acumulada ao longo da safra de café entre 1983 e 2013 considerando as bases climáticas de estações meteorológicas convencionais (EMC) e NASAPOWER para Araguari, MG.

4.8 MILHO GRÃO - BALSAS, MA

As simulações de complementação hídrica do milho grão na região de Balsas tiveram início no dia 20 de fevereiro, terminando as avaliações no final do mês de junho, onde o ciclo da cultura era completado. A média de irrigação simulada através dos dados do INMET foi de 309 mm, enquanto que do NASAPOWER foi de 262 mm, havendo um desvio padrão de 82 mm entre as duas fontes usadas na simulação.

Segundo Albuquerque (2010) a exigência hídrica do milho pode variar de 380 a 550 mm no território brasileiro, dependendo das condições climáticas do

local. Bergamaschi et al. (2001) afirma que para a cultura do milho obter um rendimento máximo de produtividade, ela necessita de aproximadamente 650 mm de água durante seu ciclo.

As menores complementações hídricas feitas com base no INMET, foram nos anos de 1984 com 170 mm, 1988 e 2008 ambos com 160 mm, já baseado pelo NASAPOWER foram os anos de 1984, 1994 e 2008 com 130, 120 e 110 mm respectivamente para cada ano. O ano em que foi exigido um maior número de irrigações foi em 1997, onde ambos recomendaram uma aplicação de 450 mm de água ao longo do ciclo.

Na Figura 28 podem ser visto as complementações hídricas baseadas nas duas fontes de simulações, onde se mantiveram uniforme ao longo das safras avaliadas, sendo que apenas no ano de 2000 houve uma inversão no acompanhamento da sequência de recomendações, onde pelo INMET foram mais 150 mm a mais. Nos anos de 2010 a 2013 também tiveram um pouco de variação, ficando em torno de 50 mm a 100 mm de diferença a menos em irrigações recomendadas com base no NASAPOWER.

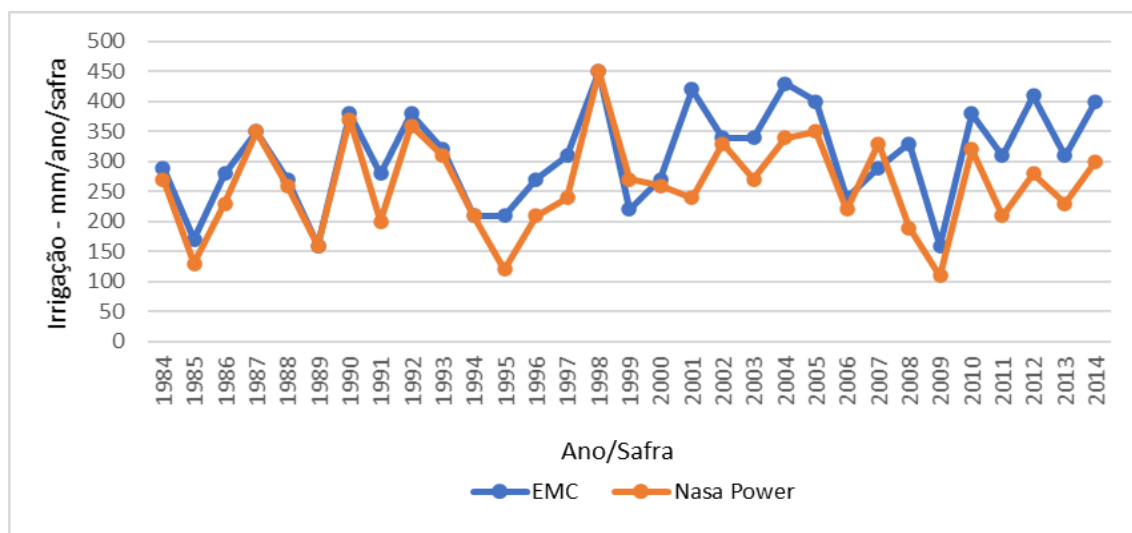


Figura 28. Demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura do milho grão determinada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Balsas, MA.

Na Figura 29 é encontrado o gráfico de dispersão, onde se verifica os índices estatísticos da relação de recomendação de irrigação do milho para região de Balsa, apresentando uma correlação de 0,79, R^2 de 0,62 e um erro absoluto

médio de 53 mm. O índice de concordância de Willmott para as irrigações realizadas foi de 0,82.

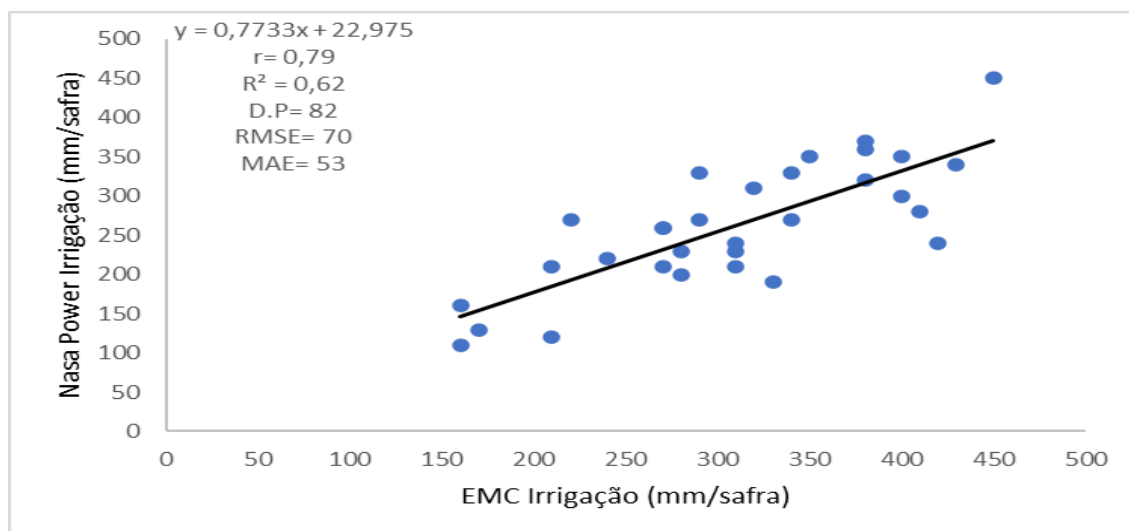


Figura 29. Relação de demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura do milho grão quantificada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Balsas, MA.

Na Tabela 15 são apresentados os valores dos índices estatísticos para cada variável analisada entre NASAPOWER e INMET para região de Balsas, onde foi encontrado o segundo pior desempenho analisado de forma individual aparentados nas tabelas, só perdendo para Primavera do Leste. Valores de precipitação, temperatura mínima, máxima e média, além de velocidade do vento tiveram valores muito baixos, sendo que a radiação solar e a umidade relativa se manterão relativamente estável em relação a outras localidades, porem consequentemente a evapotranspiração teve uma piora em razão de ser calculada com base nas outras variáveis que apresentaram mau desempenho nas avaliações estatísticas.

Tabela 15. Relação dos valores dos índices estatísticos para cada parâmetro analisado e calculado com base nos dados do NASAPOWER e EMC do INMET para Balsas em escala diária.

Índice Est.	Prec.	T.Max.	T.Min.	T.Med.	R.S.	V. Vento	Ur.Med.	ETo.
d	0,55	0,63	0,67	0,54	0,76	0,33	0,83	0,80
R ²	0,15	0,37	0,26	0,29	0,53	0,07	0,51	0,48
RMSE	9	3	2	2	5	1	9	1

Índice Est.	Prec.	T.Max.	T.Min.	T.Med.	R.S.	V. Vento	Ur.Med.	ETo.
MAE	4,19	2,35	1,26	1,86	3,78	1,04	6,91	0,75

Índice Est. – Índice estatístico, Prec. – Precipitação (mm), T.Max. – Temperatura máxima (°C), T.Min. – Temperatura mínima (°C), T.Med. – Temperatura média (°C), R.S. – Radiação solar (MJ), V. Vento – Velocidade do vento (m/s), Ur.Med. – Umidade relativa média (%), ETo. – Evapotranspiração de referência (mm).

*Os gráficos de dispersão dos principais elementos climáticos avaliados entre EMC e NASAPOWER em escala diária durante o período das simulações da cultura para esta região, além da precipitação acumulada, podem ser visualizados no Apêndice H.

Verificando a quantidade de precipitação acumulada e de evapotranspiração de referência para região e ciclo da cultura avaliado ao longo da série histórica, obteve-se pelo INMET uma média de 433 mm e 660 mm respectivamente, já pelo NASAPOWER forma 470 mm e 615 de precipitação e evapotranspiração respectivamente, tendo um desvio padrão de 142 mm para precipitação e de 50 para ETo.

Quando analisamos o gráfico da Figura 30 - A, vemos que a precipitação acumulada obtida pelo NASAPOWER acompanha bem a do INMET ao longo de toda série histórica para Balsas, sendo que apenas os anos de 2005, 2008 e 2011 tiveram uma superestimativa e em 2006 um subestimativa por parte do NASAPOWER.

Quando avaliamos o gráfico da evapotranspiração de referência na Figura 30 - B, também se nota a pequena amplitude entre o ano que teve a menor quantidade e a maior quantidade, sendo que a diferenças entre os dados de ETo obtidos pelo NASAPOWER em comparação ao INMET não varia muito. Tendo uma diferença de 50 a 100 mm a depender do ano avaliado, sendo que alguns anos há a mesma recomendação.

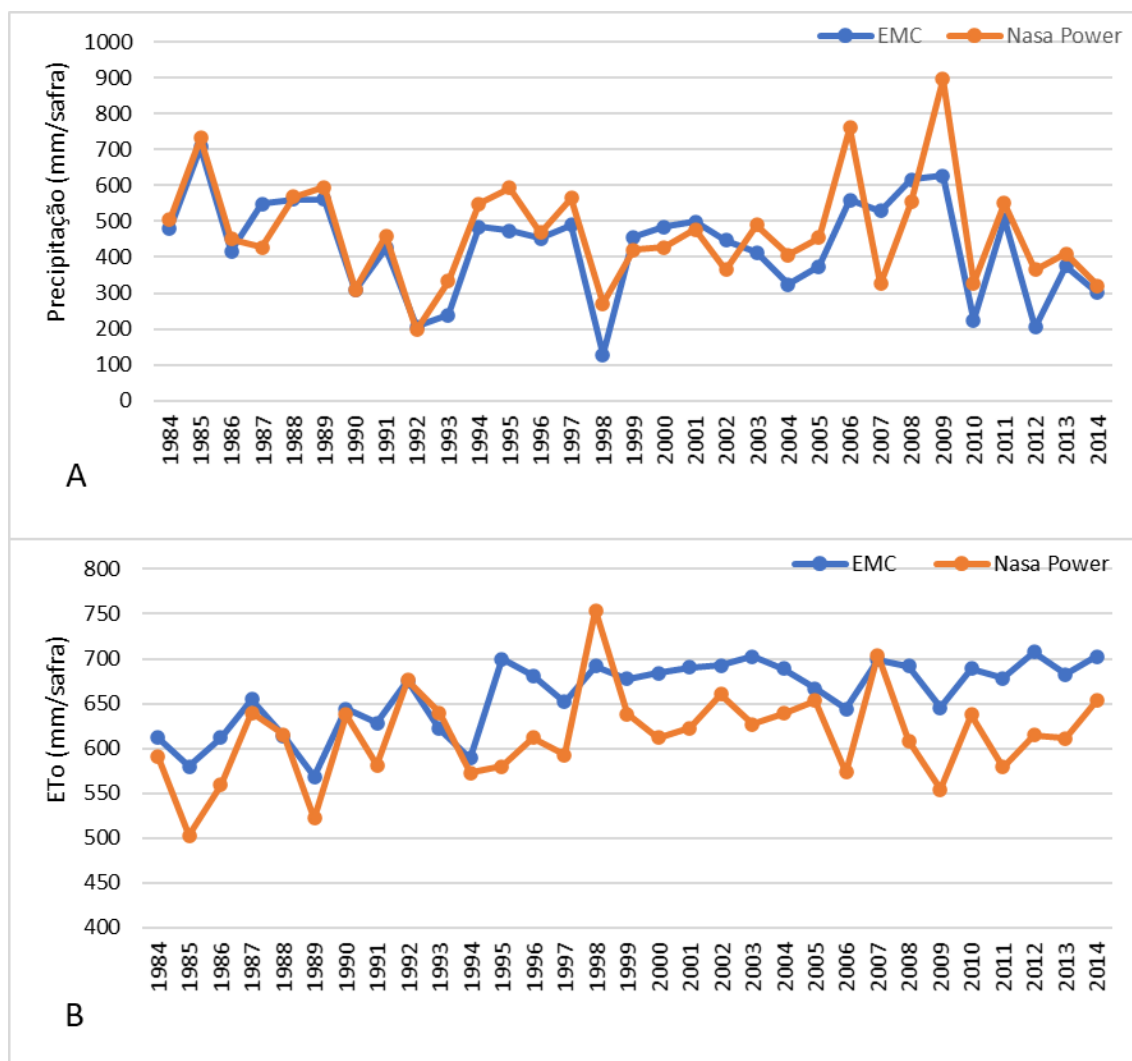


Figura 30. Precipitação (A) e a evapotranspiração de referência (ETO) (B) acumulada ao longo da safra de milho grão entre 1984 e 2014 considerando as bases climáticas de estações meteorológicas convencionais (EMC) e NASAPOWER para Balsas, MA.

4.9 ALGODÃO - LUÍS EDUARDO MAGALHÃES, BA

As simulações para a cultura do algodão na região de Luís Eduardo Magalhães tiveram um período de 160 dias, tendo início na metade de fevereiro e terminando próximo ao final de julho.

Segundo Barreto et al. (2007), a acultura do algodão requer quantidade de água ideal durante a sua produção, afirmando que durante o seu ciclo os teores requeridos pela cultura ficam entre 450 a 700 mm.

Analisando a Figura 31, vemos muito que bem que as recomendações de complementação hídrica feitas pelo NASAPOWER se manteve praticamente

com as mesmas recomendadas através do INMET, onde poucas vezes houveram uma pequena diferenciação, principalmente nos primeiros anos, de 1983 a 1986, e em alguns anos ao longo da série histórica, como nos anos de 1992, 1993, 1994 e 2003 onde as diferenças ficaram entre 50 a 100 mm.

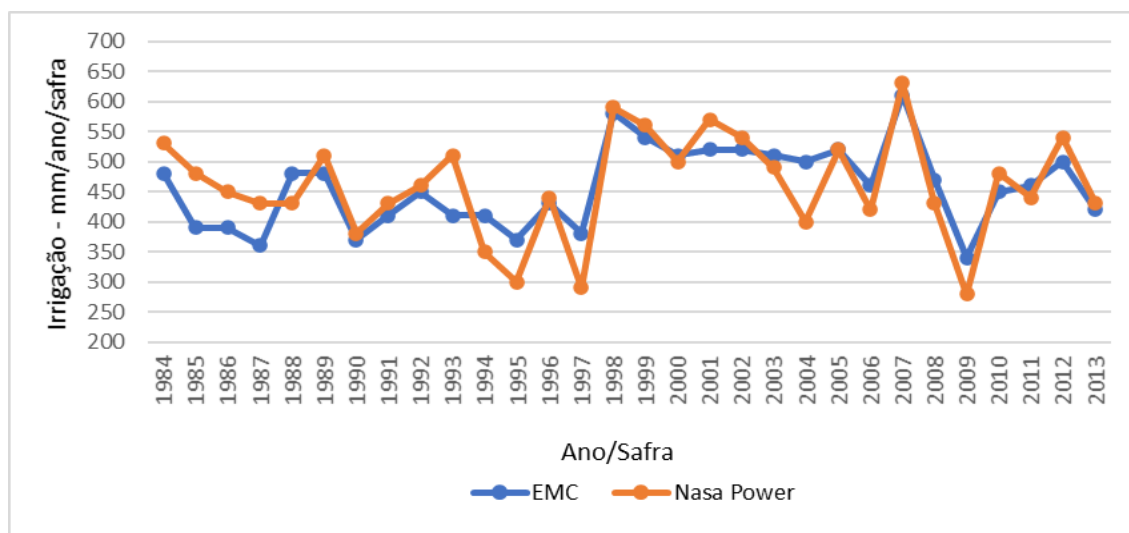


Figura 31. Demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura do algodão determinada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Luís Eduardo Magalhães, BA.

A média de irrigação encontrada pelo INMET foi praticamente a mesma recomendada pelo NASAPOWER, sendo de 457 mm pelo INMET e de 460 mm do NASAPOWER com um desvio padrão entre elas de 75 mm. Desta forma pode-se dizer que o modelo de utilização do NASAPOWER se apresentou muito bem para a cultura do algodão nesta região.

Os anos de menor necessidade de irrigações de acordo com o INMET foram em 1987 e 2009 com 360 e 340 mm respectivamente, enquanto que para o NASAPOWER foram os anos de 1997 e 2009 com 290 e 280 mm respectivamente. Já o período de maior demanda de irrigação para ambos foi em 1998 e 2007 com 580 e 610 mm de recomendação pelo INMET e 590 e 630 pelo NASAPOWER.

O gráfico de dispersão para as irrigações realizadas para o algodão na região de Luís Eduardo Magalhães (Figura 32), apresentou uma correlação de 0,81, com um coeficiente de determinação de 0,66, erro médio absoluto de 40 mm e um RMSE de 50 mm. O índice de concordância de Willmott para as irrigações realizadas foi de 0,88.

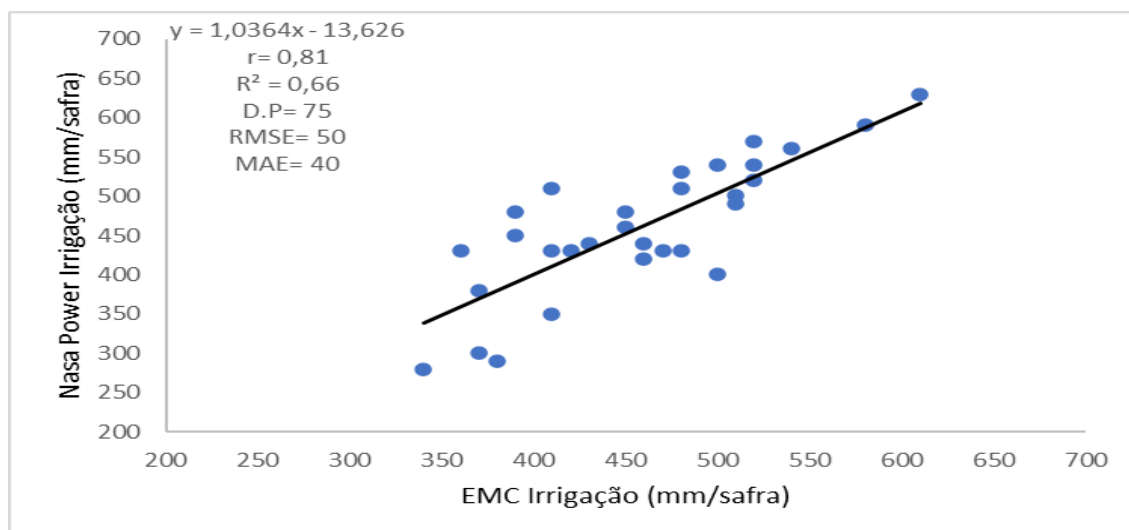


Figura 32. Relação de demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura do algodão quantificada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOW para Luís Eduardo Magalhães, BA.

Na Tabela 16 são encontrados os valores estatísticos das principais variáveis meteorológicas avaliadas para região de Luís Eduardo Magalhães, onde é possível verificar que os valores de precipitação, radiação solar, vento e todas as temperaturas não apresentaram bons resultados. Os valores de umidade relativa média e evapotranspiração tiveram valores razoáveis.

Como as variáveis meteorológicas tiveram valores semelhantes, os calculados para ETo se mantiveram no mesmo patamar, por isso a boa concordância (0,83) em relação aos valores encontrados pelo INMET para ETo com um erro médio absoluto de 0,64.

Tabela 16. Relação dos valores dos índices estatísticos para cada parâmetro analisado e calculado com base nos dados do NASAPOW e EMC do INMET para Luís Eduardo Magalhães em escala diária.

Índice Est.	Prec.	T.Max.	T.Min.	T.Med.	R.S.	V. Vento	Ur.Med.	ETo.
d	0,54	0,76	0,71	0,67	0,69	0,57	0,88	0,83
R ²	0,18	0,42	0,57	0,57	0,35	0,44	0,65	0,49
RMSE	9	2	2	2	5	1	9	1
MAE	3,05	1,44	1,93	1,92	4,05	1,30	6,99	0,64

Índice Est. – Índice estatístico, Prec. – Precipitação (mm), T.Max. – Temperatura máxima (°C), T.Min. – Temperatura mínima (°C), T.Med. – Temperatura média (°C), R.S. – Radiação solar (MJ), V. Vento – Velocidade do vento (m/s), Ur.Med. – Umidade relativa média (%), ETo. – Evapotranspiração de referência (mm).

*Os gráficos de dispersão dos principais elementos climáticos avaliados entre EMC e NASAPOWER em escala diária durante o período das simulações da cultura para esta região, além da precipitação acumulada, podem ser visualizados no Apêndice I.

Percebe-se ao analisar o gráfico de precipitação acumulada da Figura 33 - A que o NASAPOWER faz variáveis recomendações iguais ou muito próximas as do INMET, sendo que apenas em alguns anos que ocorre uma mudança de situação, em que o NASAPOWER subestima a precipitação ocorrida, sendo os anos de 1984, 1995 e 1999 com cerca de uma diferença de 200 mm. Há também os anos de 2002 e 2005 que houveram uma diferença de 300 mm, sendo que nesses anos as simulações poderiam ter sido maior impactadas, devido a precipitação ser a principal fonte de entrada de água no balanço hídrico.

A média de precipitação obtida pelo INMET ao longo da série histórica foi de 468 mm, enquanto que para o NASAPOWER foi de 367 mm, com um desvio padrão entre elas de 137 mm.

Com relação ao gráfico de ETo da Figura 33 - B é possível ver que houveram poucas variações entre as estimativas do NASAPOWER e os valores obtidos pelo INMET ao longo dos anos, havendo uma pequena subestimativa e superestimativa dependendo dos anos, mas sempre com uma variação pequena, sendo que as maiores diferenças foram observadas em 1996 e 2003.

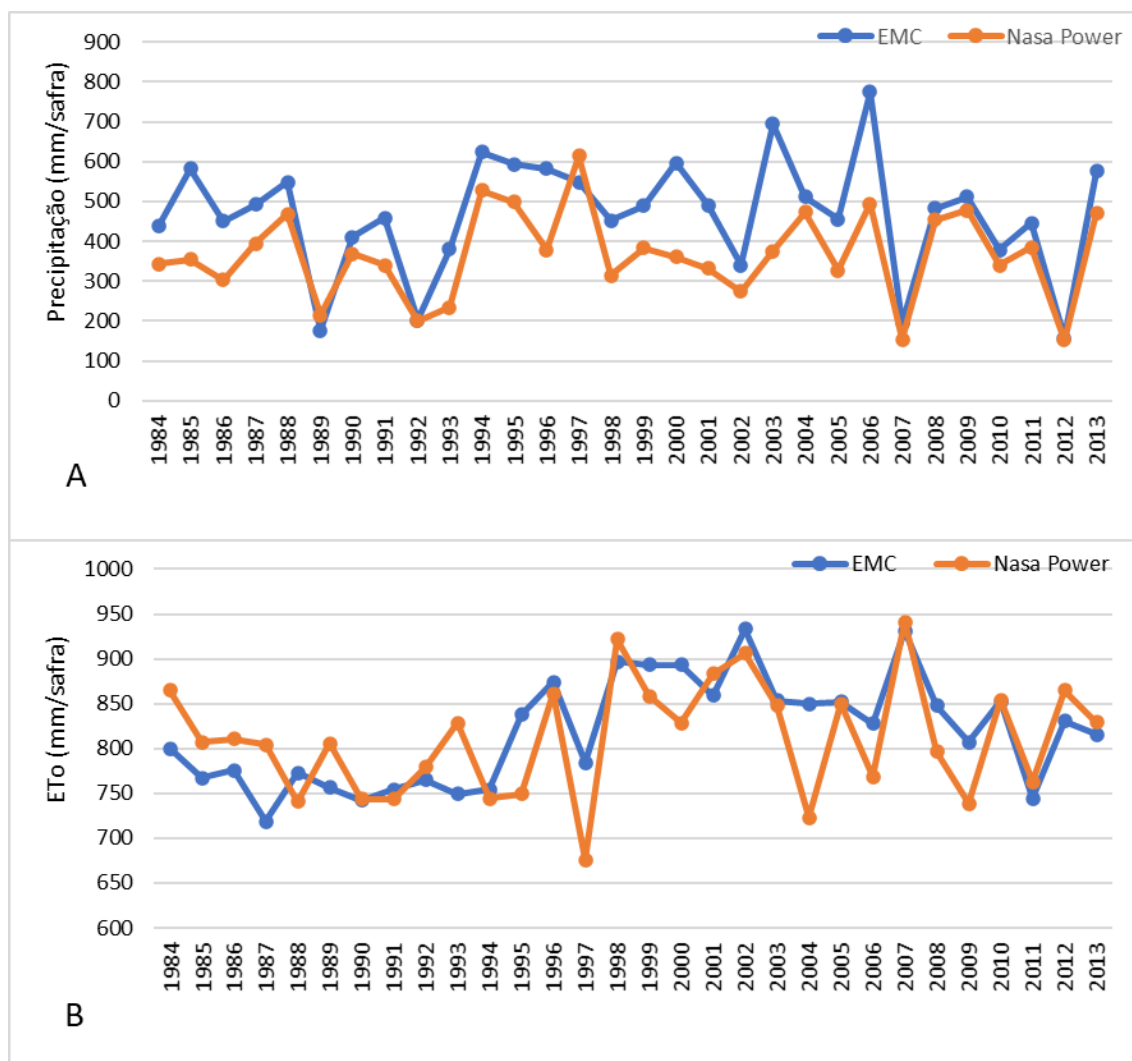


Figura 33. Precipitação (A) e a evapotranspiração de referência (ETo) (B) acumulada ao longo da safra de algodão entre 1984 e 2013 considerando as bases climáticas de estações meteorológicas convencionais (EMC) e NASAPOWER para Luís Eduardo Magalhães, BA.

4.10 FEIJÃO - PRIMAVERA DO LESTE, MT

Para as simulações da cultura do feijão em Primavera do Leste foi usado o período propício a terceira safra que ocorre na região, ao qual a cultura do feijão é muito utilizada, devido as medias de temperaturas adequadas e implantação em áreas com sistemas irrigados. Desta forma o início da simulação foi realizado no primeiro dia do mês de junho até o final do mês de agosto.

Segundo Carvalho et al. (2013) a cultura do feijoeiro é exigente por temperatura na média de 25°C (18° a 30°) e precipitações mensais de

aproximadamente 100 mm com uma boa distribuição. Neste caso a temperatura média apurada para região de Primavera do Leste com base nos dados do INMET ficou em torno de 24°C, ou seja, próxima do recomendado.

Por ser um período de baixos volumes de precipitação para esta região e época com base nos dados da EMC, como pode ser visto na Figura 34 - A, o sucesso da produção de feijão nesse período dependerá de forma praticamente exclusiva de um bom manejo de irrigação, visto que as precipitações são muito variáveis e insuficientes a produção da cultura.

Observando o gráfico de precipitação acumulada, fica nítido que os volumes de água proveniente de chuvas são baixos, com uma média de apenas 26 mm pelo INMET e de 38 mm pelo NASAPOWER. Fica claro que na maioria dos anos o NASAPOWER superestima a precipitação em diversos valores, não sendo muito confiável, apesar das proximidades e do breve período analisado de 3 meses.

Quando verificamos o gráfico de ETo apresentado na Figura 34 - B é possível ver uma excelente relação de 1984 até 1994, onde após este período há maiores variações no decorrer dos anos, onde em determinados períodos elas chegam a 150 mm em favor do INMET.

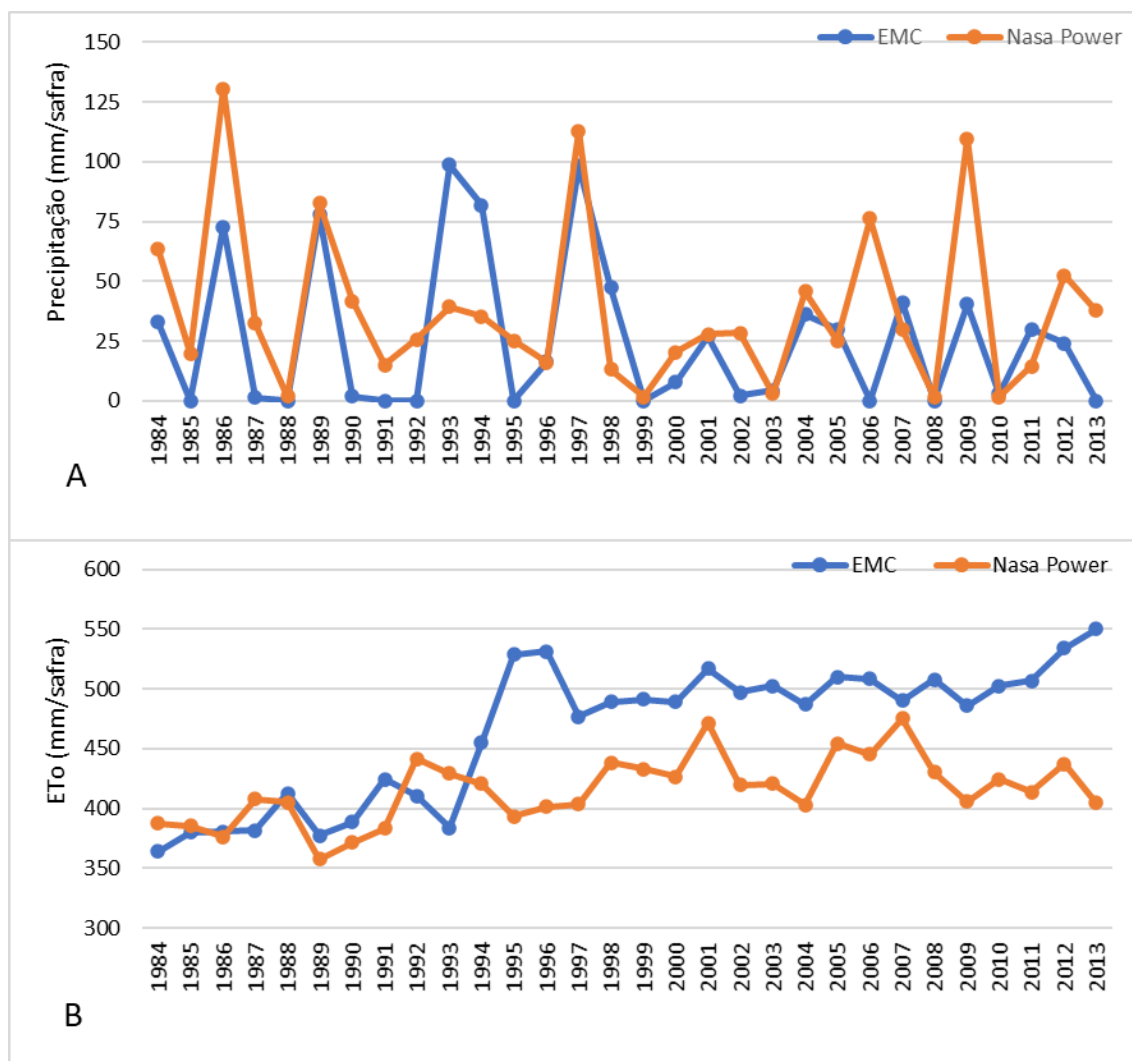


Figura 34. Precipitação (A) e a evapotranspiração de referência (ETo) (B) acumulada ao longo da safra de feijão entre 1984 e 2013 considerando as bases climáticas de estações meteorológicas convencionais (EMC) e NASAPOWER para Primavera do Leste, MT.

O feijão é uma cultura muito sensível ao estresse hídrico, devido ao seu sistema radicular pouco desenvolvido ele acaba tendo uma reduzida capacidade de recuperação em casos de falta d'água. O excesso de água, causado por um manejo de irrigação mau feito também pode gerar prejuízos para o feijoeiro, pois a cultura também é sensível ao excesso hídrico, principalmente nas fases de florescimento e enchimento de grãos (Carvalho et al., 2013; Figueiredo et al., 2007).

Quando analisamos o gráfico de complementação hídrica da Figura 35, é possível verificar uma semelhança com o gráfico de ETo da Figura 34 - B, onde também houve uma boa relação de irrigações entre os anos de 1983 até 1993, sendo que após este período houve um acompanhamento da linha do

NASAPOWER em relação ao INMET, porém com variações maiores entre as complementações hídricas.

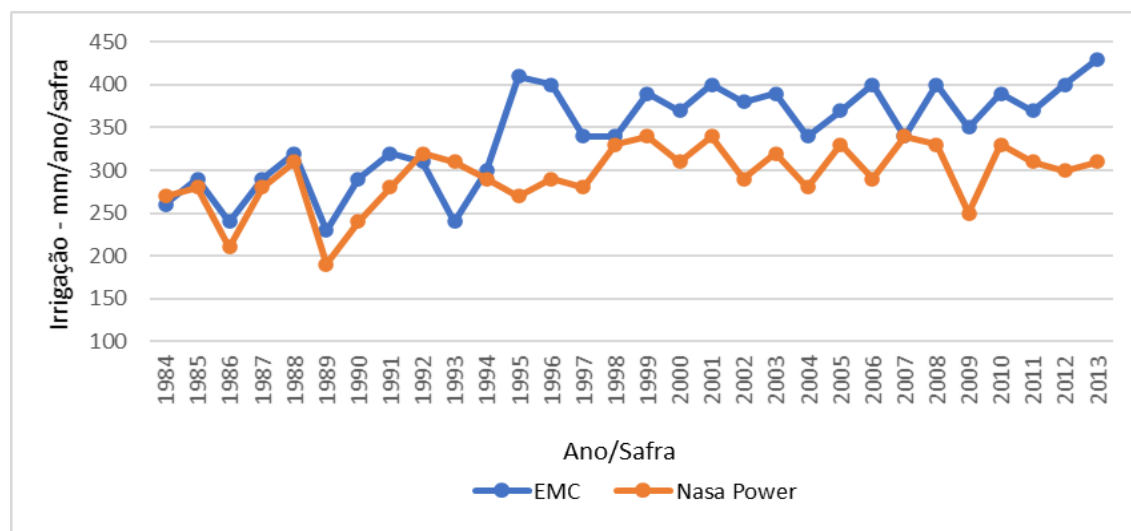


Figura 35. Demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura do feijão determinada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Primavera do Leste, MT.

As médias de irrigações recomendada pelo INMET ao longo das safras foi de 343 mm, enquanto que para o NASAPOWER foi de 294 mm, com um desvio padrão entre elas de 53 mm. O ano de menor exigência de irrigação foi o de 1989, tanto para o INMET, quanto para o NASAPOWER, com recomendações de 230 e 190 mm respectivamente para cada, já o maior ano de exigência de irrigação com base no INMET foi em 2013 com 430 mm, enquanto para o NASPOWER foram os anos de 1999, 2001 e 2007, todos com 340 mm.

O gráfico de dispersão para as irrigações do feijão na região de Primavera do Leste, pode ser visualizado na Figura 36, o coeficiente de correlação e determinação (R^2) foram de 0,58 e 0,34 respectivamente, tendo um RMSE de 67 mm e um MAE de 55 mm. O índice de concordância de Willmott encontrado para as irrigações realizadas foi de 0,63.

De acordo com a Tabela 17, podemos afirmar que a região que teve os piores índices estatísticos para as variáveis meteorologias analisadas em escala diária foi em Primavera do Leste. Pois o conjunto de valores apresentados nesta região foram os mais baixos encontrados em comparação com todas as outras análises feitas para outras regiões, onde até mesmo a precipitação acumulada que

geralmente apresenta melhores resultados, acabou tendo baixo desempenho, como pode ser visto no Apêndice J (Figura F).

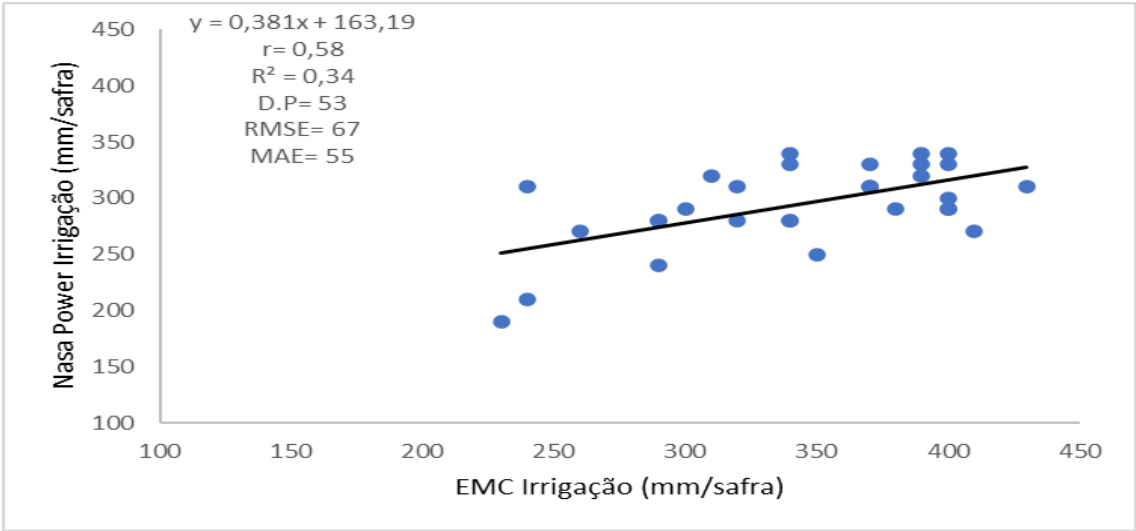


Figura 36. Relação de demanda de irrigação total ao longo do ciclo da cultura do feijão quantificada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para Primavera do Leste, MT.

Tabela 17. Relação dos valores dos índices estatísticos para cada parâmetro analisado e calculado com base nos dados do NASAPOWER e EMC do INMET para Primavera do Leste em escala diária.

Índice Est.	Prec.	T.Max.	T.Min.	T.Med.	R.S.	V. Vento	Ur.Med.	ETo.
d	0,24	0,55	0,58	0,59	0,59	0,44	0,72	0,70
R²	0,02	0,24	0,14	0,20	0,23	0,11	0,36	0,31
RMSE	4	4	4	4	7	1	11	1
MAE	0,63	3,77	3,09	2,76	5,46	0,77	8,63	0,85

Índice Est. – Índice estatístico, Prec. – Precipitação (mm), T.Max. – Temperatura máxima (°C), T.Min. – Temperatura mínima (°C), T.Med. – Temperatura média (°C), R.S. – Radiação solar (MJ), V. Vento – Velocidade do vento (m/s), Ur.Med. – Umidade relativa média (%), ETo. – Evapotranspiração de referência (mm).

*Os gráficos de dispersão dos principais elementos climáticos avaliados entre EMC e NASAPOWER em escala diária durante o período das simulações da cultura para esta região, além da precipitação acumulada, podem ser visualizados no Apêndice J.

4.11 AVALIAÇÃO GERAL DA DEMANDA DE IRRIGAÇÃO

Na Figura 37 é apresentado a relação de todas as 306 recomendações de complementação hídrica (Apêndice K e L) com base na ETc para todas as culturas, ano/safra e regiões simuladas através de cada uma das bases de dados

(EMC e NASAPOWER), onde há uma variação zero até próximo de 1400 mm de recomendação de irrigação.

Os índices estatísticos obtidos para essa análise geral, foi um coeficiente de correlação (r) de 0,95, coeficiente de determinação (R^2) de 0,91, raiz quadrada do erro médio (RMSE) de 115 mm, erro médio absoluto (MAE) de 85 mm e um coeficiente de Willmott (d) de 0,96.

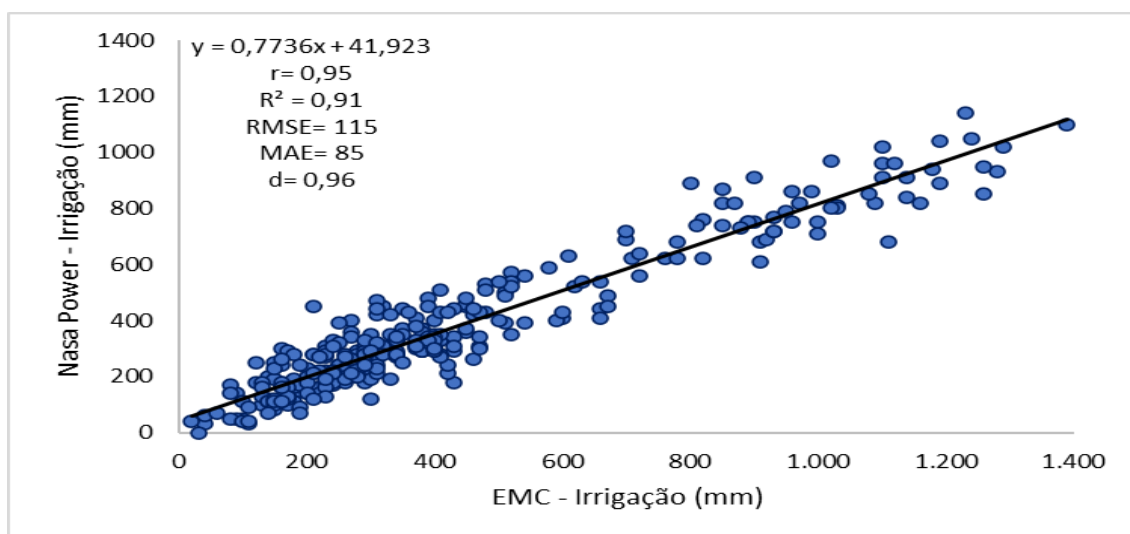


Figura 37. Relação de demanda de irrigação total ao longo do ciclo de todas culturas quantificada utilizando dados meteorológicos da estação meteorológica convencional (EMC) e do NASAPOWER para todos os locais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira geral as variáveis meteorológicas avaliadas em escala diária apresentaram bons índices entre estações meteorológica convencionais e NASAPOWER, com exceção da precipitação e velocidade do vento. Isso sugere a necessidade de medidas in loco para que a obtenção de ETo seja mais precisa e venha a contribuir para um melhor manejo de irrigação. Para chuva foi observado melhores resultados quando avaliada de forma acumulada ao longo do ciclo.

A partir dos resultados obtidos nesse estudo, o uso do NASAPOWER para realização de manejo de irrigação em alguns locais, culturas e períodos específicos, apresenta grande potencial por apresentar baixo custo de uso e manutenção, quando comparado a estações meteorológicas convencionais, além de apresentar erros de estimativas aceitáveis dentro da escala de demanda total de irrigação ao longo do ciclo da cultura. Para algumas exceções, verificou-se que as series históricas de demanda não apresentaram um bom ajuste, condição que pode ser melhorada for futuros estudos que identifiquem ajustes e correções regionais.

Concluo de maneira que, a utilização dos dados meteorológicos provenientes da plataforma NASAPOWER, para fins de recomendação de manejo de irrigação, em substituição a dados meteorológicos fornecidos por estações meteorológica convencionais, podem ser classificados como:

- Recomendado, para o algodão em Luís Eduardo Magalhães, soja em Cruz Alta, laranja em Araraquara e milho grão em Balsas.
- Recomendado com ressalvas, para milho doce em Unaí, arroz em Uruguaiana, cana-de-açúcar em Rio Verde e café em Araguari.
- Não recomendado para cana-de-açúcar em Uberaba e feijão em Primavera do Leste.

6 REFERÊNCIAS

ABOELKHAIR, H.; MORSY, M.; EL AFANDI, G. **Assessment of agroclimatology NASA POWER reanalysis datasets for temperature types and relative humidity at 2 m against ground observations over Egypt**. *Advances in Space Research*, v. 64, n. 1, p. 129-142, 2019.

AGENCIA BRASIL. **Participação da agropecuária no PIB sobe para 23% em 2015**. Disponível em <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2015-12/participacao-da-agropecuaria-no-pib-sobepara-23-em-2015>>. Acessado em 18 de outubro de 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada/Agência Nacional de Águas**. Brasília, 2017a. 86p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno / Agência Nacional de Águas**. Brasília, DF. 2017b. 177p.

Agência Nacional de Águas (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual / Agência Nacional de Águas**. Brasília: ANA, 2019. 100p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Situação da Água no Mundo**, Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/agua-no-mundo/agua-no-mundo>>. Acesso em: 25 de maio de 2020.

ALBUQUERQUE, P. E. P. et al. **Coeficientes de cultivo das principais culturas anuais. Revista ITEM—Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n. 52/53, p. 49-57, 2001.

ALBUQUERQUE, P. E. P. **Manejo de irrigação na cultura do milho**. Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 1 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 6ª edição Set./2010.

ALDRIGHI, M.; JARDIM, C. C. S.; ALVES JÚNIOR, J.; BATTISTI, R.; CASAROLI, D.; Evangelista, A. W. P. Necessidades hídricas das gramas batatais (*Paspalum notatum* Flügge) e esmeralda (*Zoysia Japonica* Steud) estimadas por sensoriamento remoto. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 47020-47032, 2020.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; HOWELL, T.A.; JENSEN, M.E. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, v. 98, p. 899-920, 2011.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES, I.; PERRIER, A.; PEREIRA, L.S. **Aerodynamic and surface resistances of complete cover crops**: How good is the "Big Leaf"? Transactions of the ASAE, v.41, n.2, p.345-351, 1998.

AMARAL, C. O. **Déficit hídrico no preflorescimento da laranjeira 'folha murcha' e a influência na produção e na qualidade dos frutos**. 2018. Tese de Doutorado. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

ARAÚJO, W. F.; COSTA, S. A. A; DOS SANTOS, A. E. **Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (eto) para boa vista, RR**. Revista Caatinga, v. 20, n. 4, p. 84-88, 2007.

ASSAD, E. D. **Estudo sobre eficiência do uso da água no brasil**: análise do impacto da irrigação na agricultura brasileira e potencial de produção de alimentos face ao aquecimento global. Fundação Getúlio Vargas. 2016. 92 p.

BAI, J.; XINPING C.; ACHIM D.; HAISHUN Y.; KENNETH G C.; FUSUO Z. **Evaluation of NASA satellite-and model-derived weather data for simulation of maize yield potential in China**. Agronomy Journal, 102, p. 9-16, 2010.

BARRETO, A. N. **Consumo hídrico do algodoeiro herbáceo nas diferentes fases fenológicas no município de Irecê-BA**. In: VI Congresso Brasileiro de Algodão. Agosto de 2007.

BASTIAANSEN, W. G. M.; MOLDEN, D. J.; MAKIN, I. W. **Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications**. Agricultural Water Management, v.42, p. 137-155, 2000.

BATTISTI, R.; BENDER, F. D.; SENTELHAS, P. C. **Assessment of different gridded weather data for soybean yield simulations in Brazil**. Theoretical and applied climatology, v. 135, n. 1-2, p. 237-247, 2019.

BATTIST, R.; SENTELHAS, P. C. **Characterizing Brazilian soybean-growing regions by water deficit patterns**. Field Crops Research, v. 240, p. 95-105, 2019.

BERGAMASCHI, H. et al. **Estimating maize water requirements using agrometeorological data**. Revista Argentina de Agrometeorologia, v.1, p.23-27, 2001.

BERNARDI, A. C. C. et al. **Agricultura de precisão**: resultados de um novo olhar. Embrapa Instrumentação-Livro técnico (INFOTECA-E), Brasília, DF. 2014.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV, 2019.

BRAND, E. **What is CERES?**. National Aeronautics and Space Administration, 2020. Disponível em: <<https://ceres.larc.nasa.gov/>>. Acesso em: 12 de jun. de 2020.

BRANDÃO, Z. N. **Estimativa da produtividade e estado nutricional da cultura do algodão irrigado via técnicas de sensoriamento remoto**. 2009. 152 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

BRASIL. **Decreto Nº 24.643, de 10 de julho de 1934**. Decreta o Código de Águas. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643.htm>. Acesso em 11 de agosto de 2019.

BRASIL. **Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm>. Acesso 11 de agosto de 2019.

BRASIL. **Lei Nº 9.984, de 17 de julho de 2000**. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9984.htm>. Acesso em 11 de agosto de 2019.

BRASIL. **A irrigação no Brasil: situação e diretrizes**. Ministério da integração nacional. Brasília, 2008. 134p.

BRUINSMA, J. **The resource outlook to 2050**: by how much do land, water and crop yields need to increase by 2050? In: expert meeting on how to feed the world in 2050, Rome, 2009.

CAMARGO, A. P. **Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo**. Bragantia, v.21, n.12, p.163-213, 1962.

CAMARGO, A. P.; PEREIRA, A. R. **Prescrição de rega por modelo climatológico**. Campinas: Fundação Cargill, 1990. 27p.

CAMPBELL, E. C.; TANNER, B. D. **Structured design in automated weather stations**. In: WEISS, A. Computer techniques and meteorological data applied to problems of agriculture and forestry: a workshop. Anaheim, p. 5-18, 1981.

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; NETO, P. C.; **Evapotranspiração de referência**: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.

CARVALHO, I. R.; KORCELSKI, C.; PELISSARI, G.; HANUS, A. D.; ROSA, G. M. **Demanda hídrica das culturas de interesse agrônomo**. Enciclopédia Biosfera, v. 9, n. 17, p. 969-985, 2013.

CLIMATEMPO. **Climatologia e histórico de previsão do tempo em Rio Verde, GO**. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/90/rioverde-go>>. Acesso em: 16 de dezembro de 2020.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. L. **Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água**. Bahia Agrícola, v. 7, n. 1, p. 57-60, 2005.

COLETTI, C. **Caracterização da irrigação por sulcos na cultura do tomateiro e da disponibilidade hídrica da Bacia Hidrográfica do Rio das Pedras, SP**. 2005. 173p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

CONAB. **Levantamento de Safra**. 2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=>>>. Acesso em: fev 2020.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. FAO Irrigation and Drainage paper 24, 2nd ed., Rome, 179p.1977.

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

DUARTE, Y. C. N.; SENTELHAS, P. C. **NASA/POWER and DailyGridded weather datasets how good they are for estimating maize yields in Brazil?**. International Journal of Biometeorology, v. 64, n. 3, p. 319-329, 2020.

EMBRAPA. **Milho verde - Agência Embrapa de Informação Tecnológica**. 2020. Disponível em <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONT000fy779fnk02wx5ok0pvo4k3c1v9rbg.html>>. Acessado em 15 de dezembro de 2020.

EMBRAPA. **Satélites de Monitoramento**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2009. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 27 jun. 2020.

EMBRAPA. **Uso e manejo de irrigação**. Embrapa Informação Tecnológica; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Brasília, DF. 2008.

FAO. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2015**. Oecd-fao Agricultural Outlook, p.61-108, 1 jul. 2015. OECD Publishing. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2015_agr_outlook-2015-en> Acesso em: 11 maio. 2020.

FAO. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture**. Managing systems at risk. New York, 2011.

FIGUEIREDO, M. G. et al. **Lâmina ótima de irrigação para o feijoeiro considerando restrição de terra e aversão ao risco**. Maringá, v.29, supl., p. 593- 598, 2007.

GALINA, M. H.; VERONA, J. A. **Fontes de observações meteorológicas no Estado de São**. Estudos Geográficos, Rio Claro, v. 2, n. 1, p. 107-118, 2004.

GASS, J. **Global Modeling and Assimilation Office**. Goddard Space Flight Center. Disponível em: <<https://gmao.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em: 12 de jun. de 2020.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. **Reference crop evapotranspiration from temperature**. Applied Engineering in Agriculture, St Joseph, v.1 n.2, p.96–99, 1985.

IBGE. **Contas Nacionais - PIB - valores correntes, ano 2015**. Disponível em: <<http://brasilemsintese.ibge.gov.br/contas-nacionais/pib-valores-correntes.html>>. Acesso em 18 de outubro de 2019.

IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. Produção Agrícola Municipal. 2018. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>>. Acesso em: 30 de jun. de 2020.

INMET. **Dados Históricos**. BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. 2020. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 30 de jun. de 2020.

JENSEN, J. R. **Remote sensing of the environment: an Earth Resources Perspective**. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall. 592p. 2007.

JENSEN, M. E. **Consumptive use of water and irrigation water requirements**. New York: American Society of Civil Eng., 215p. 1973.

JOSEPH, N. **Langley Research Center**. About NASA Langley, 2020. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/langley/overview>>. Acesso em: 12 de jun. de 2020.

KECK, A. **NASA Earth Data Power Energy Saving Decisions**. Global Climate Change, 2020. Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/news/2976/nasa-earth-data-power-energy-saving-decisions/>>. Acesso em: 12 de jun. de 2020.

KUSTERER, J. M. **Atmospheric Science Data Center**. Processing, archiving and distributing Earth science data at the NASA Langley Research Center, 2019. Disponível em: <<https://eosweb.larc.nasa.gov/>>. Acesso em: 12 de jun. de 2020.

LORENSI, R. P. **A utilização dos recursos hídricos no sistema de irrigação por superfície (inundação) na cultura do arroz mediante as normatizações.** Use of water resources in irrigation system by surface (flood) in rice cultivation by the standards. *Ambiência*, v. 6, n. 2, p. 355-364, 2010.

MALDONADO JÚNIOR, W.; VALERIANO, T. T. B.; DE SOUZA R. G. **EVAPO: A smartphone application to estimate potential evapotranspiration using cloud gridded meteorological data from NASA-POWER system.** *Computers and electronics in agriculture*, v. 156, p. 187-192, 2019.

MARIN, F. R., Angelocci, L. R., Pereira, A. R., Villa Nova, N. A., Sentelhas, P. C. (2002) **Balanço de energia e consumo hídrico em pomar de lima-ácida 'Tahiti'.** *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, 17(2):219-228.

MARQUELLI, W. A. et al. **Manejo da água de irrigação.** Embrapa Mandioca e Fruticultura-Capítulo em livro científico (ALICE), 2011.

MARQUES, D. V. **Evapotranspiração e biomassa de culturas agrícolas em sistema convencional e plantio direto via sensoriamento remoto em Uruçuí-PI.** 2017.

MEDEIROS, R. D. et al. **Efeitos da compactação do solo e do manejo da água sobre os componentes de produção e a produtividade de arroz.** *Ciência e Agrotecnologia*. Vol.29 n.5, Lavras, Set/Out 2005.

MENDONÇA, J. C. et al. **Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) na região Norte Fluminense, RJ.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.

MENESES, K. C. **Estimativa da evapotranspiração potencial diária do baixo parnaíba utilizando redes neurais artificiais.** Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2019. 31p.

MIKOVITZ, C. **NASA GEWEX Surface Radiation Budget.** National Aeronautics and Space Administration, 2019. Disponível em: <<https://gewex-srb.larc.nasa.gov/>>. Acesso em: 12 de jun. de 2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Ciclo Hidrológico: Águas Subterrâneas e o Ciclo Hidrológico.** Disponível em <<https://www.mma.gov.br/informma/item/420-ciclo-hidrol%C3%B3gico.html#:~:text=O%20ciclo%20hidrol%C3%B3gico%2C%20ou%20ciclo,dos%20oceanos%20e%20dos%20continentes>> Acessado em 06 de Junho de 2020.

MONTEIRO, L. A.; SENTELHAS, P. C.; PEDRA, G. U. **Assessment of NASA/POWER satellite-based weather system for Brazilian conditions and**

its impact on sugarcane yield simulation. International Journal of Climatology, v. 38, n. 3, p. 1571-1581, 2018.

MOURA, A. R. C. et al. **Evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em bacia experimental no estado de Pernambuco - Brasil.** Revista Brasileira de meteorologia, v. 28, n. 2, p. 181-191, 2013.

MOURA, R. M. et al. **Estação Meteorológica de Baixo Custo:** Uma contribuição para o monitoramento meteorológico das cidades. Monografia (Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia. 2018. 58p.

MOURTZINIS, S.; EDREIRA, J.I.R.; CONLEY, S.P.; GRASSINI, P. **From grid to field:** assessing quality of gridded weather data for agricultural applications. Eur. J. Agron. 82: 163–172. 2017.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Landsat Data Continuity Mission: Continuously Observing Your World.** 2013. Disponível em: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2012/12/LDCM_Brochure_Dec2012.pdf>. Acesso em: 23 maio 2020.

OLIVEIRA, A. D.; VOLPE, C. A. **Comparação de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v., n., p., 2004.

OLIVEIRA, A. D.; VOLPE, C. A. **Estimativa da evapotranspiração de referência utilizando dados de estação meteorológica convencional e automática.** In: XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. 2003. p. 307-308.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **The United Nations World Water Development Report 3:** water in a changing world. Paris: Unesco Publishing, World Water Assessment Programme; London: Eartscan, 2009.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA – (FAO). **Information System on Water and Agriculture – AQUASTAT.** Disponível em: <<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>>. Acesso em: 10 de agosto de 2019.

PENMAN, H. L. **Evaporation: an introductory survey.** Neth. J. Agric. Sci., v.4, p. 9-29, 1956.

PENMAN, H. L. **Natural evaporation from open water, bare soil and grass.** Proc. R. Soc. London, v.A193, p.120-146, 1948.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração.** Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PEREIRA, A. R.; SENTELHAS, P. C.; ANGELOCCI, L. R. **Meteorologia agrícola**. ESALQ-Departamento de Física e Meteorologia, 2000.

PEREIRA, L. M. P.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; CAVIGLIONE, J. H. **Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Londrina – PR**. Semina (Londrina), v. 29, p. 299-306, 2008.

QUIRINO, D. T.; ALVES JR., J.; DERBLAI, C.; MESQUITA, M.; EVANGELISTA, A. W. P. **Balanço hídrico climatológico da cultura da cana-de-açúcar via sensoriamento remoto em Santo Antônio de Goiás-Go**. In: Balanço hídrico climatológico da cultura da cana-de-açúcar via sensoriamento remoto em Santo Antônio de Goiás-Go, 2017, São José dos Campos. XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: SBSR, 2017. v. 18. p. 1-6.

REIS, J. S. **Sistema de controle aplicado à automação de irrigação agrícola**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2015. 73p.

ROBBINS, J. W. D.; VINCHESI, B. E. **Overview of irrigation systems**. In: Irrigation. Falls Church: Irrigation association, 2011. Cap. 2, p.5 – 21.

RODRIGUES, M. **Anais da quarta conferência latino-americana sobre sistemas de informação geográfica/segundo simpósio brasileiro de geoprocessamento**. São Paulo: Epusp, 1993.

RODRIGUES, R. A. F. et al. **Manejo de água em arroz de terras altas no sistema de plantio direto usando o tanque de Classe A**. Engenharia Agrícola. Jaboticabal, v.24, n.3, p.546-556, set/dez 2004.

SATO, F. A. et al. **Coeficiente de cultura (kc) do cafeeiro (Coffea arabica L.) no período de outono-inverno na região de Lavras-MG**. Engenharia Agrícola, v. 27, n. 2, p. 383-391, 2007.

SCHERER-WARREN, M.; RODRIGUES, L. N. **Estimativa de Evapotranspiração Real por Sensoriamento Remoto: procedimento e aplicação em pivô central**. EMBRAPA Cerrados, Planaltina, DF, 2013.

SEDIYAMA, G. C. **Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica**. Rev. Bras. de Agrometeorologia, v.4, n.1, p.i-xii, 1996.

SENTELHAS, P. C.; ANGELOCCI, L. R. **Balanço hídrico climatológico normal e sequencial de cultura e para manejo da irrigação**. Piracicaba, ESALQ/USP, 2009.

SENTELHAS, P. C. **Ocorrência de helmintosporiose (Helminthosporium sativum) e de oídio (Erysiphe graminis) na cultura do trigo (Triticum aestivum, L.) sob diferentes condições microclimáticas**. Piracicaba, 1992.

103p. Dissertação (M.S.) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

SENTELHAS, P. C.; MORAES, S. O.; PIEDADE, S. M. S.; PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; MARIN, F. R. **Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estações convencional e automática**. Rev. Bras. de Agrometeorologia, v.5, n.2, p.215-221, 1997.

SENTELHAS, P. C. **Estimativa diária da evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática**. 1998. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo.

SERRARENS, D. A.; PEREIRA, F. A. C.; SILVA, F. C.; FOLEGATTI, M. V.; FRIZZONE, J. A. Performance de campo de estações meteorológicas automáticas portáteis comparadas a uma estação meteorológica automática padrão. In: Simpósio de iniciação científica da Universidade de São Paulo, 5, Piracicaba, 1997. **Resumos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1997, p.515.

SILVA, B. B.; BEZERRA, M. V. C. **Determinação dos fluxos de calor sensível e latente na superfície utilizando imagens TM – Landsat 5**. Revista Brasileira de Agrometeorologia. v. 14, n. 2, p. 174-186, 2006.

SILVA, B. B. et al. **Evapotranspiração e estimativa da água consumida em perímetro irrigado do Semiárido brasileiro por sensoriamento remoto**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 47, n. 9, p. 1218-1226, 2012.
SILVA, T. G. F. et al. **Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.15, n.12, p.1257–1265, 2011. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG.

SOUZA, C. M. P. **Apostila Irrigação e Drenagem**. Universidade Federal dos Vales do Jequitimonha e Mucuri. Diamantina – MG, 2013. 77 p.

SOUZA, I. A.; GALVANI, E.; ASSUNÇÃO, H. F. **Estudo comparativo entre elementos meteorológicos monitorados por estações convencional e automáticas na região de Maringá**. Maringá-PR, v. 25, n. 2, p. 203-207, 2003.

STACKHOUSE, P.W.; CHANDLER, W. S.; ZHANG, T.; WESTBERG, D.; BARNETT, A. J.; HOELL, J. M. **Surface Meteorology and Solar Energy (SSE) Release 6.0 Methodology**. Version 3.2.0. 2016. Disponível em: <<https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/documents/SSE6Methodology.pdf>>. Acesso em: 22 de maio de 2020.

Stackhouse, P. W. **The POWER Project**. NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources, 2020. Disponível em: <<https://power.larc.nasa.gov/>>. Acesso em: 12 de jun. de 2020.

TEODORO, I. et al. **Crescimento e Produtividade da cana-de-açúcar em cultivo de sequeiro nos tabuleiros costeiros de Alagoas**. STAB, Março/Abril, v. 27, n. 4, 2009.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: Métodos, sistemas e aplicações**. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. 2011. 216p.

THOMPSON, R. B.; GALLARDO, M.; VALDEZ, L. C.; FERNANDEZ, M. D. **Using plant water status to define threshold values for irrigation management of vegetable crops using soil moisture sensors**. Agricultural Water Management, Amsterdam, NL, v. 88, n. 1-3, p. 147-158, 2007.

THORNTHWAITE, C. W. **An approach toward a rational classification of climate**. Geogr. Rev, v.38, p.55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W. **The moisture factor in climate**. Am. Geophys Union Trans., v.27, p.41-48, 1946.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Landsat Missions - Landsat 9**. Disponível em:< https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-9?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con> Acesso em: 08 jun 2020.

VAN, W. J.; GRASSINI, P.; CASSMAN, K. G. **Impact of derived global weather data on simulated crop yields**. Global Change Biol. 2013. Disponível em:< <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.12302>> Acesso em: 11 jun 2020.

VAN, W. J.; GRASSINI, P.; YANG, H.; CLAESSENS, L.; JARVIS, A.; CASSMAN, K. G. 2015. **Creating long-term weather data from thin air for crop simulation modeling**. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192315000696>> Acesso em: 11 jun 2020.

VIEIRA, R. C. S. **Parâmetros indicadores de impactos ambientais na cultura do tomate de mesa sob irrigação por sulco no município de Estiva Gerbi/SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003. 95p.

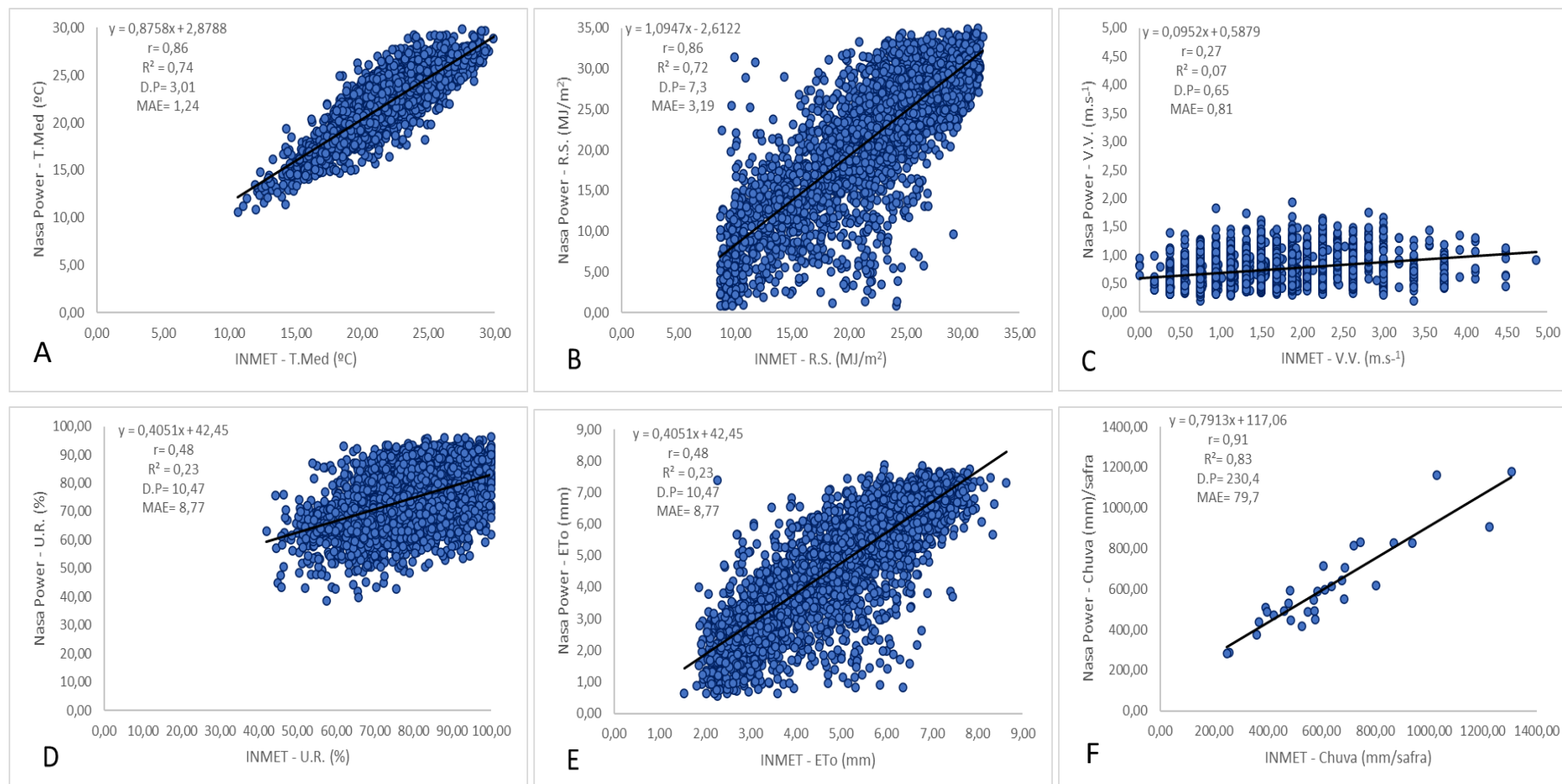
WHITE, J. W.; HOOGENBOOM, P. W.; STACKHOUSE, J. M. **Evaluation of NASA satellite- and assimilation model-derived long-term daily temperature data over the continental US**. Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 148, p. 1574-1584, 2008.

WHITE, J. W.; HOOGENBOOM, P. W.; WILKENS, P. W. STACKHOUSE, J. M. **Evaluation of Satellite-Based, Modeled-Derived Daily Solar Radiation Data for the Continental United States**. Agronomy Journal, Vol. 103(4), p. 1242-1251, 2011.

WILLMOTT, C. J. et al. **Statistics for the evaluation and comparison of models.** *Journal of Geophysical Research*, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.

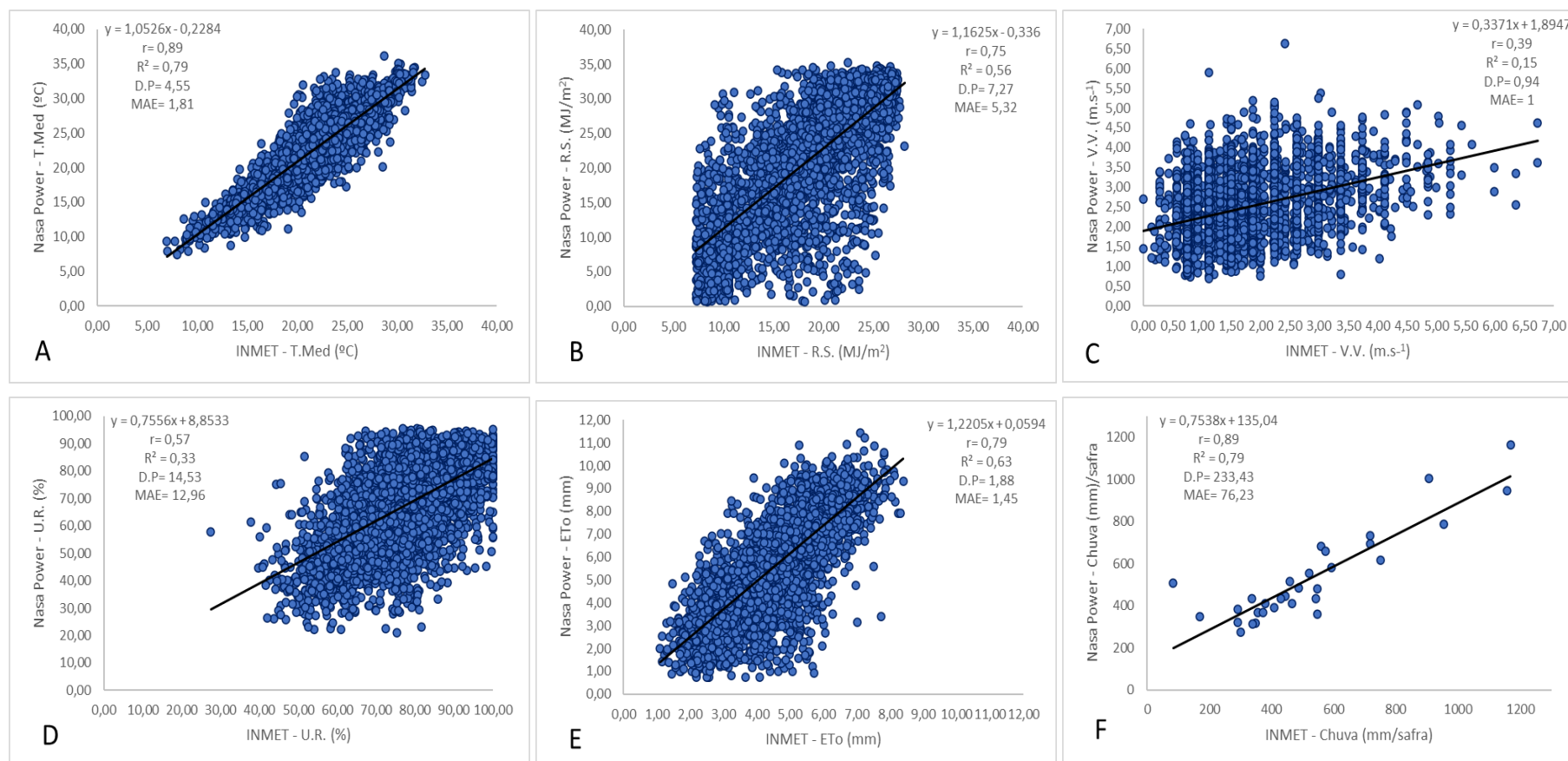
YATES, T. **Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER).** NASA's Open Data Portal, 2018. Disponível em: <[https://data.nasa.gov/Earth-Science/Prediction-Of-Worldwide-Energy Resources-POWER-/wn3p-qsan](https://data.nasa.gov/Earth-Science/Prediction-Of-Worldwide-Energy-Resources-POWER-/wn3p-qsan)>. Acesso em: 12 de jun. de 2020.

Apêndice A. Gráficos de dispersão das principais variáveis climáticas de Cruz Alta – RS.



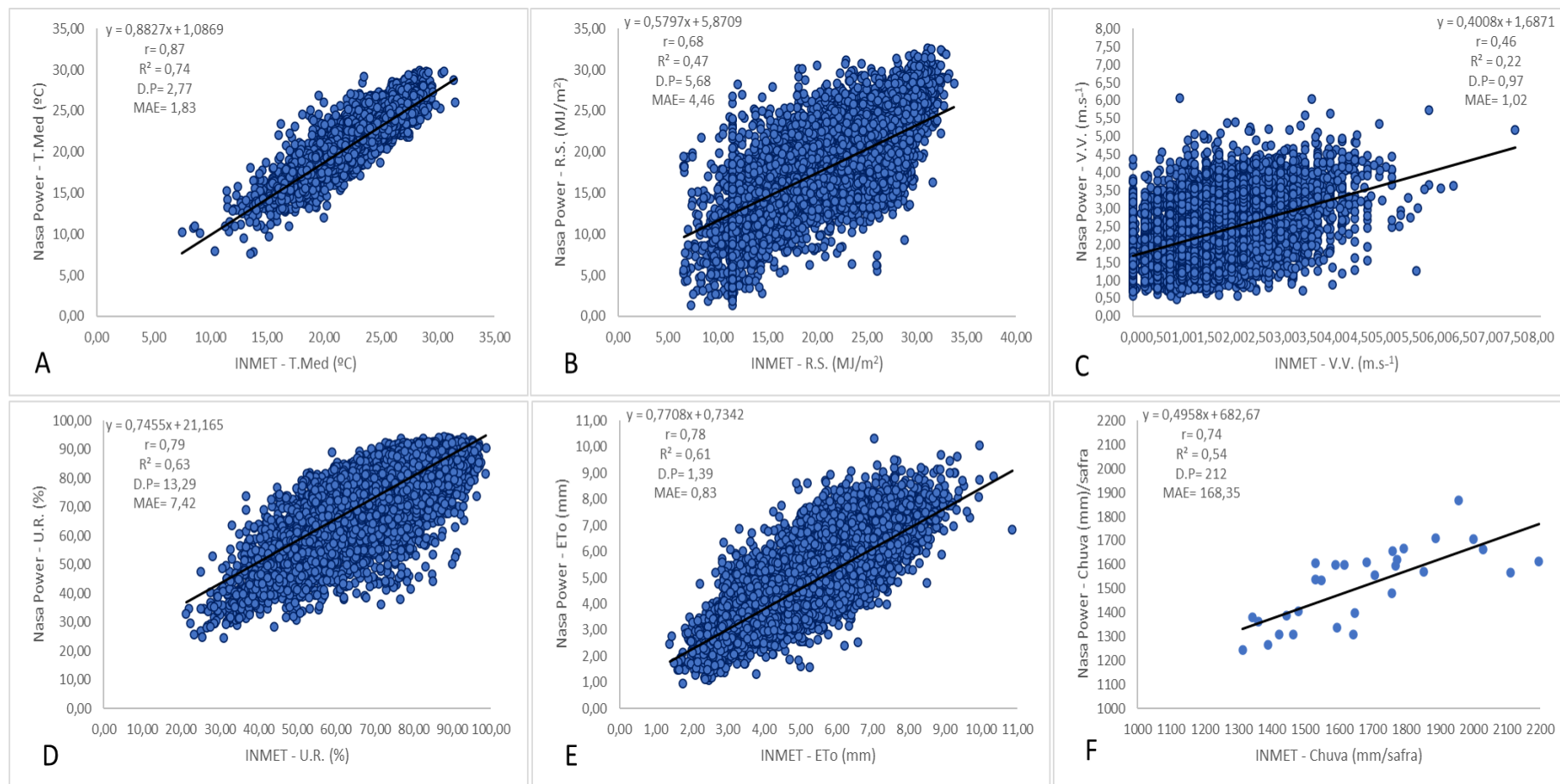
Apêndice A. Relação dos dados diários ao longo das safras avaliadas de temperatura média (T. Med), umidade relativa (U.R), velocidade do vento (V. V.), radiação solar (R.S.) e evapotranspiração de referência (ETo), além da precipitação acumulada (Chuva), obtidos através de dados da EMC do INMET e dados em grade do NASAPOWER para região de Cruz Alta – RS.

Apêndice B. Gráficos de dispersão das principais variáveis climáticas de Uruguaiiana – RS.



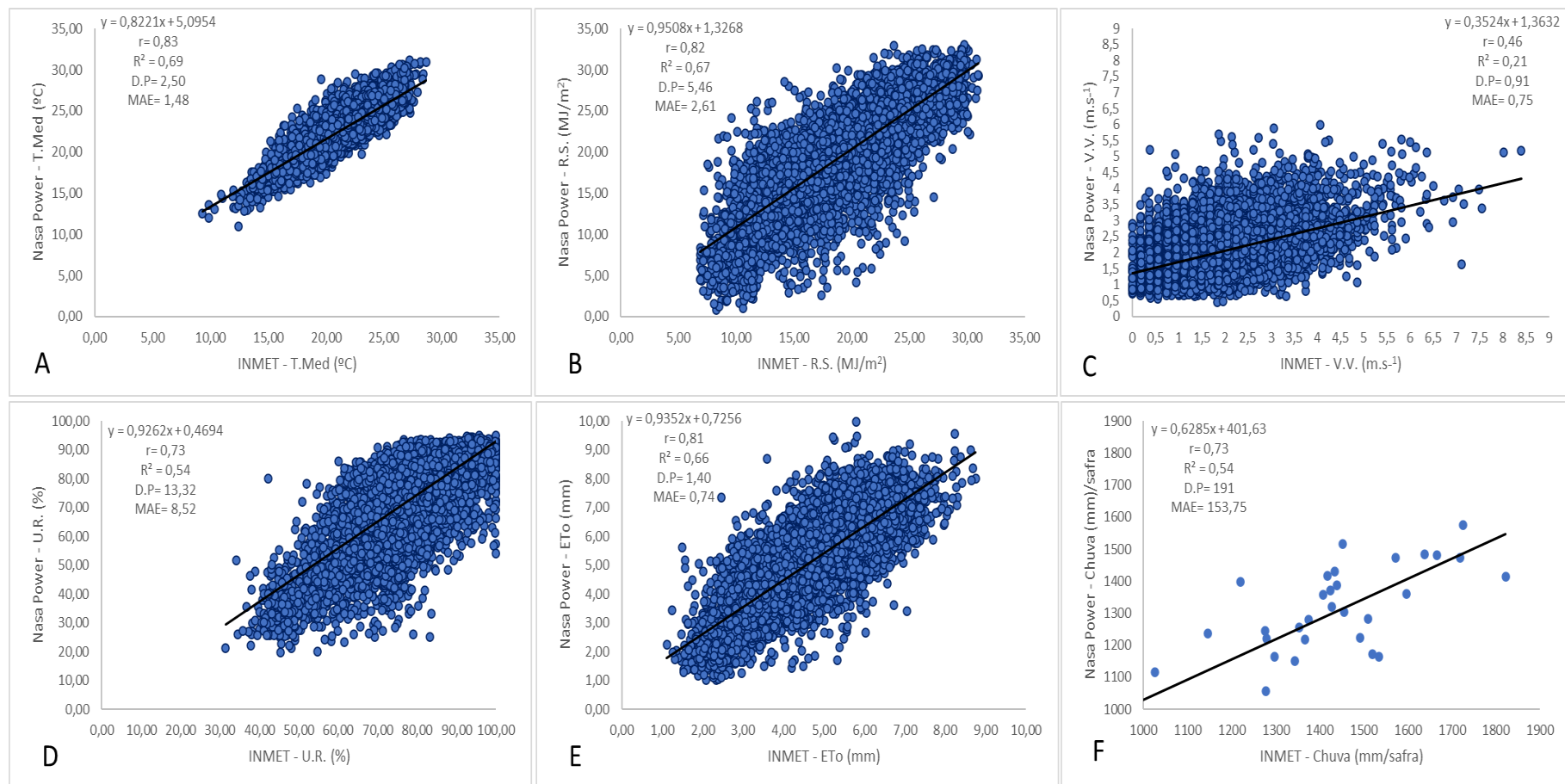
Apêndice B. Relação dos dados diários ao longo das safras avaliadas de temperatura média (T. Med), umidade relativa (U.R), velocidade do vento (V. V.), radiação solar (R.S.) e evapotranspiração de referência (ETo), além da precipitação acumulada (Chuva), obtidos através de dados da EMC do INMET e dados em grade do NASAPOWER para região de Uruguaiiana – RS.

Apêndice C. Gráficos de dispersão das principais variáveis climáticas de Uberaba – MG.



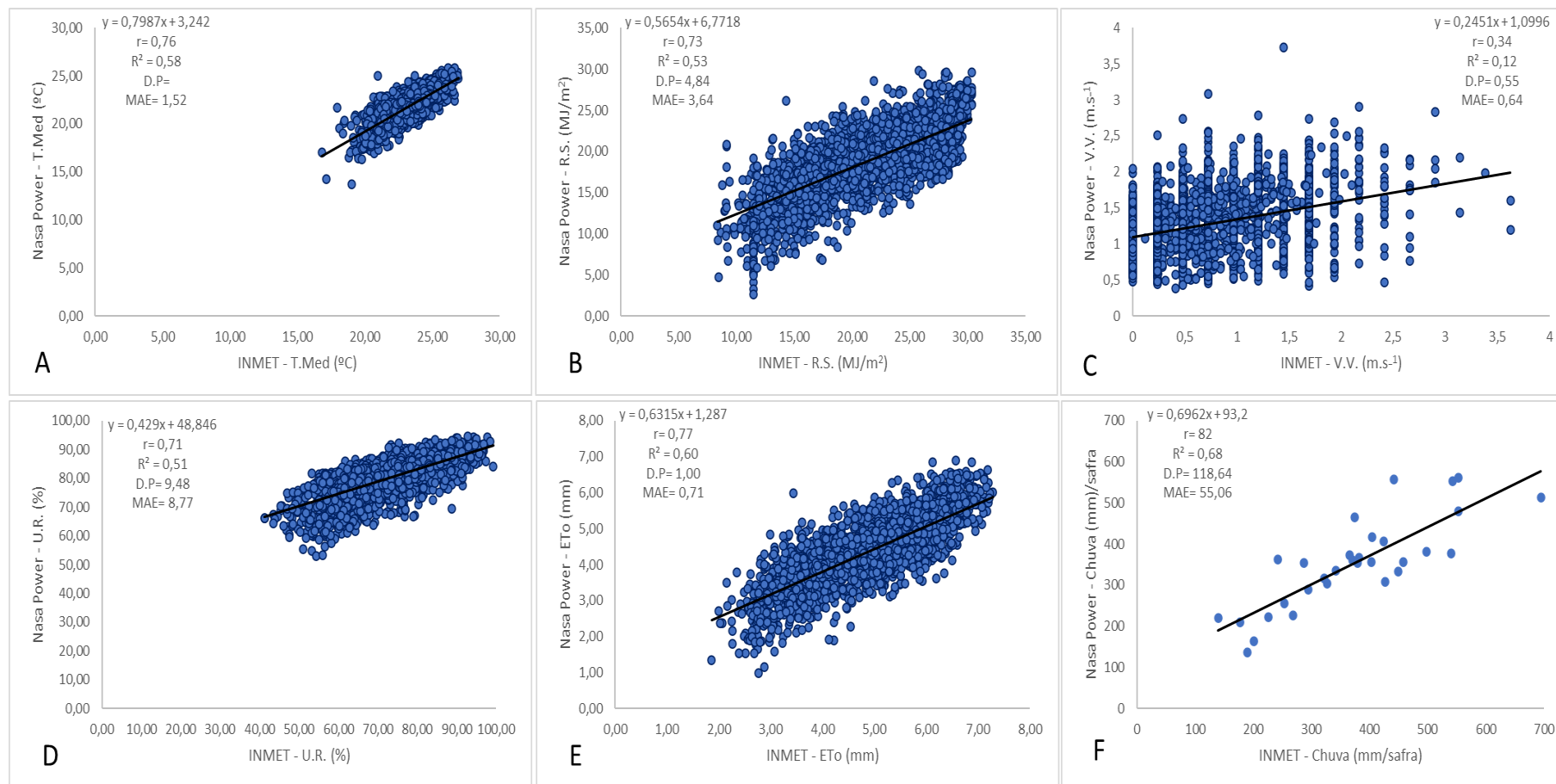
Apêndice C. Relação dos dados diários ao longo das safras avaliadas de temperatura média (T. Med), umidade relativa (U.R), velocidade do vento (V. V.), radiação solar (R.S.) e evapotranspiração de referência (ET_o), além da precipitação acumulada (Chuva), obtidos através de dados da EMC do INMET e dados em grade do NASAPOWER para região de Uberaba – MG.

Apêndice D. Gráficos de dispersão das principais variáveis climáticas de Araraquara – SP.



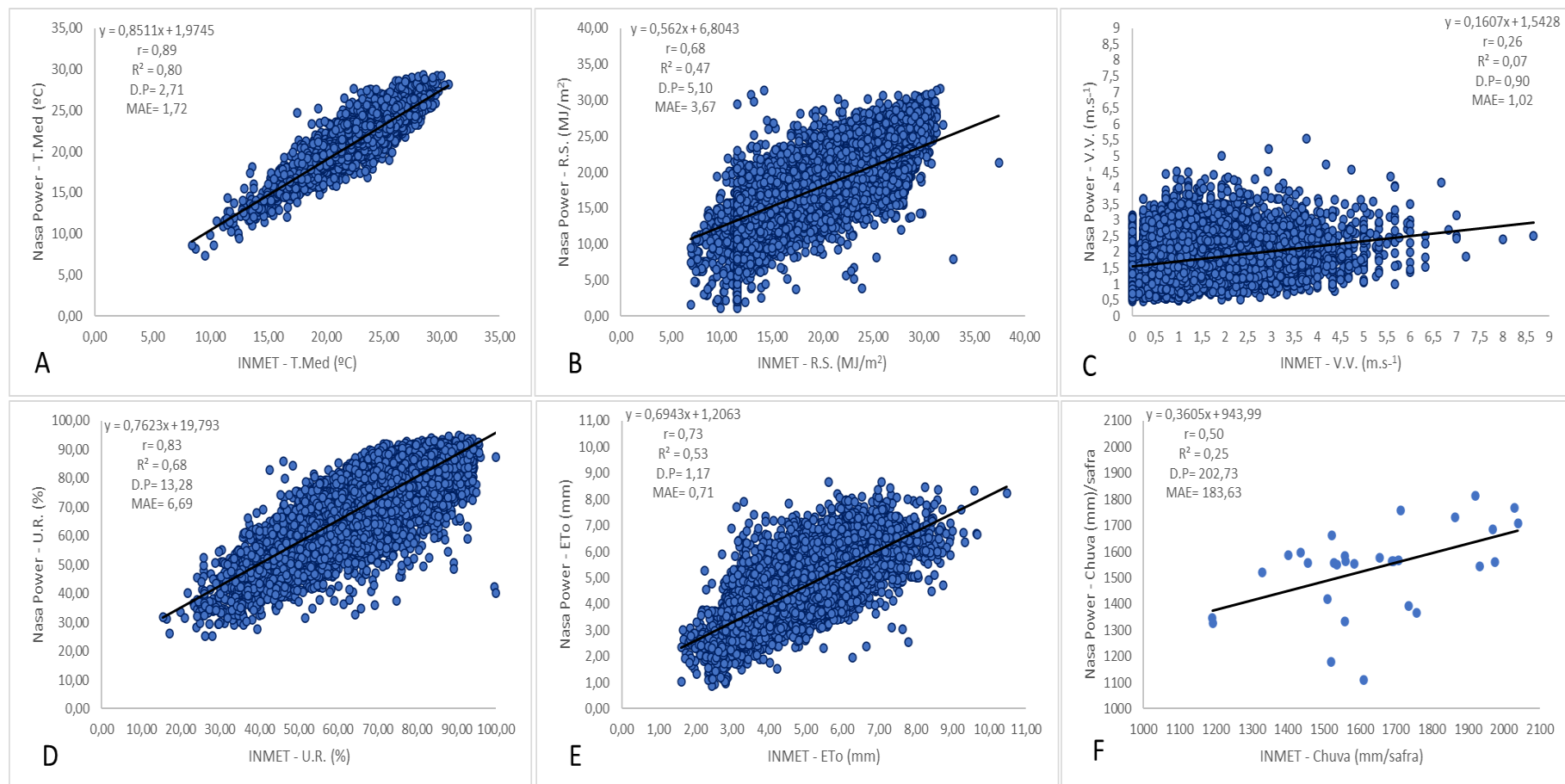
Apêndice D. Relação dos dados diários ao longo das safras avaliadas de temperatura média (T. Med), umidade relativa (U.R), velocidade do vento (V. V.), radiação solar (R.S.) e evapotranspiração de referência (ETo), além da precipitação acumulada (Chuva), obtidos através de dados da EMC do INMET e dados em grade do NASAPOWER para região de Araraquara – SP.

Apêndice E. Gráficos de dispersão das principais variáveis climáticas de Unaí – MG.



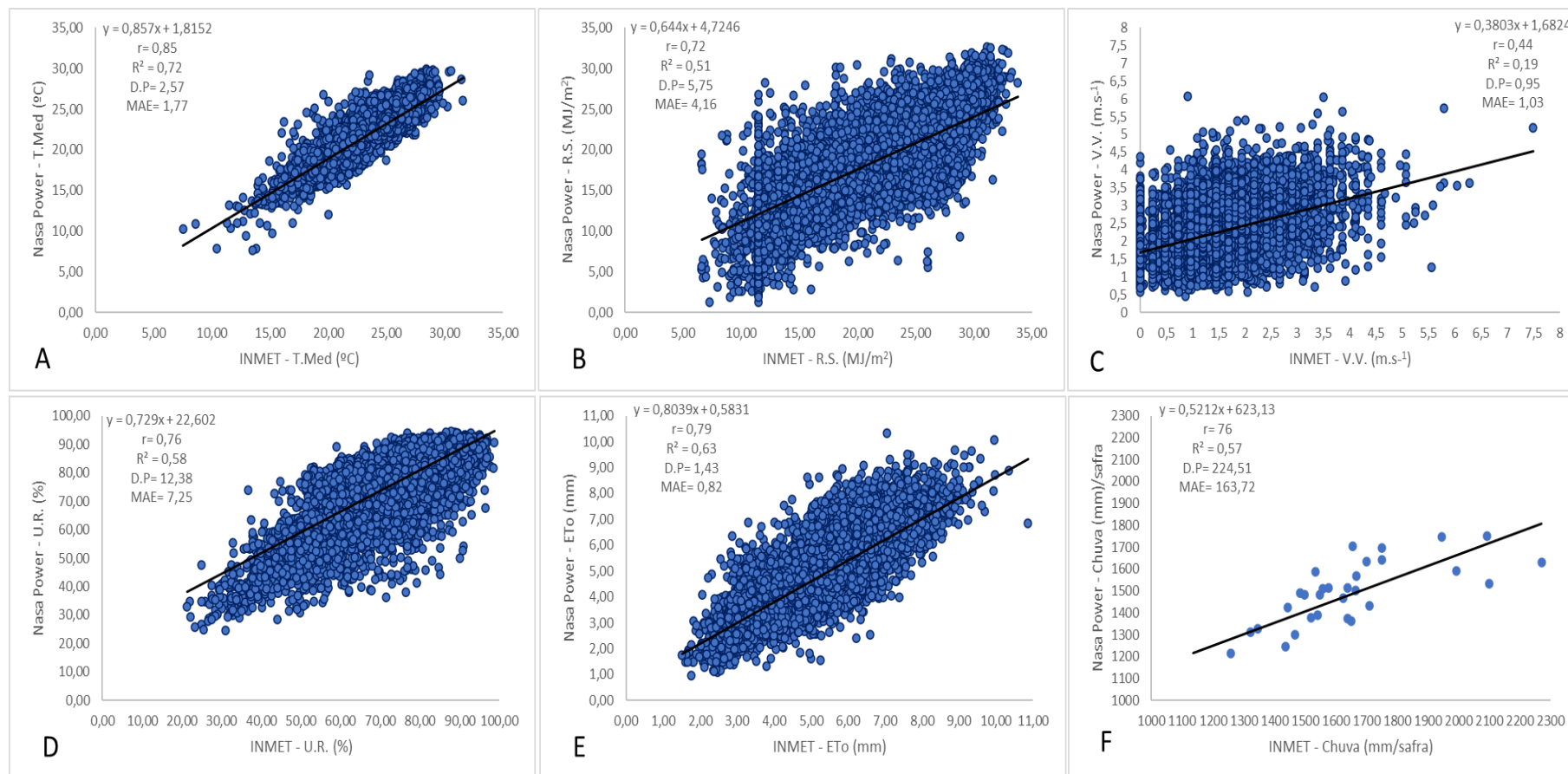
Apêndice E. Relação dos dados diários ao longo das safras avaliadas de temperatura média (T. Med), umidade relativa (U.R), velocidade do vento (V. V.), radiação solar (R.S.) e evapotranspiração de referência (ETo), além da precipitação acumulada (Chuva), obtidos através de dados da EMC do INMET e dados em grade do NASAPOWER para região de Unaí – MG.

Apêndice F. Gráficos de dispersão das principais variáveis climáticas de Rio Verde – GO.



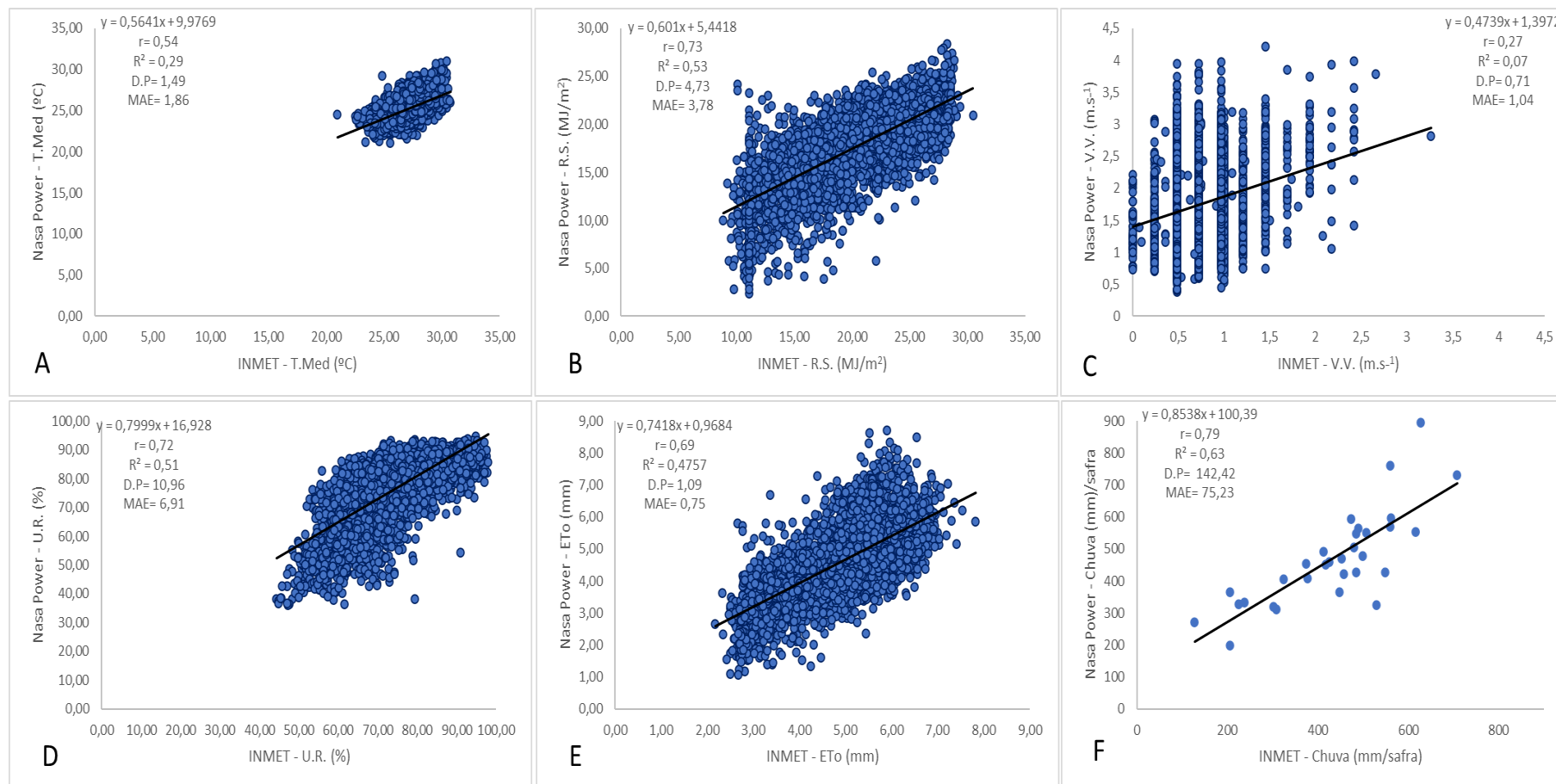
Apêndice F. Relação dos dados diários ao longo das safras avaliadas de temperatura média (T. Med), umidade relativa (U.R), velocidade do vento (V. V.), radiação solar (R.S.) e evapotranspiração de referência (ETo), além da precipitação acumulada (Chuva), obtidos através de dados da EMC do INMET e dados em grade do NASAPOWER para região de Rio Verde – GO.

Apêndice G. Gráficos de dispersão das principais variáveis climáticas de Araguari – MG.



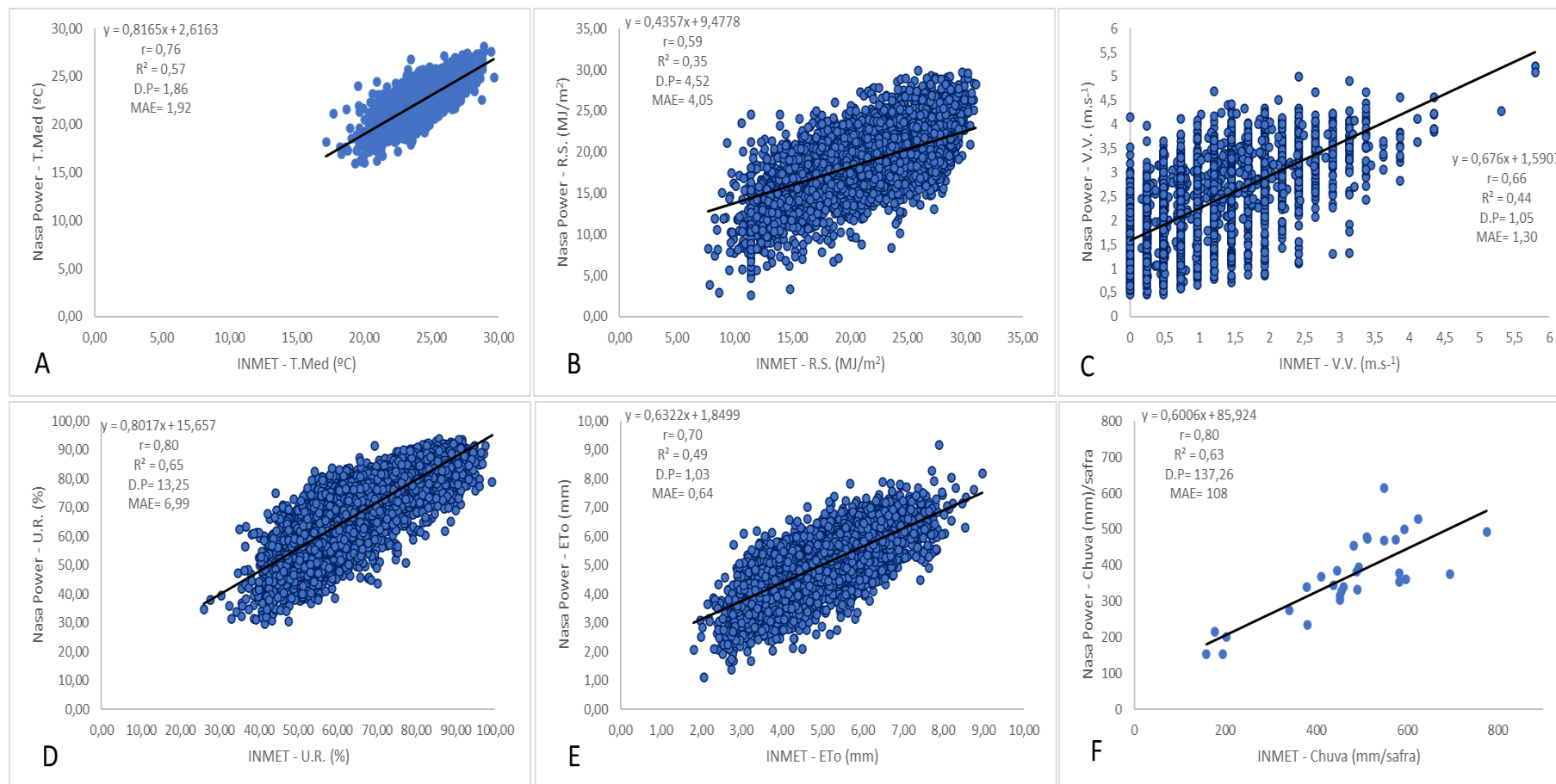
Apêndice G. Relação dos dados diários ao longo das safras avaliadas de temperatura média (T. Med), umidade relativa (U.R.), velocidade do vento (V. V.), radiação solar (R.S.) e evapotranspiração de referência (ETo), além da precipitação acumulada (Chuva), obtidos através de dados da EMC do INMET e dados em grade do NASAPOWER para região de Araguari – MG.

Apêndice H. Gráficos de dispersão das principais variáveis climáticas de Balsas – MA.



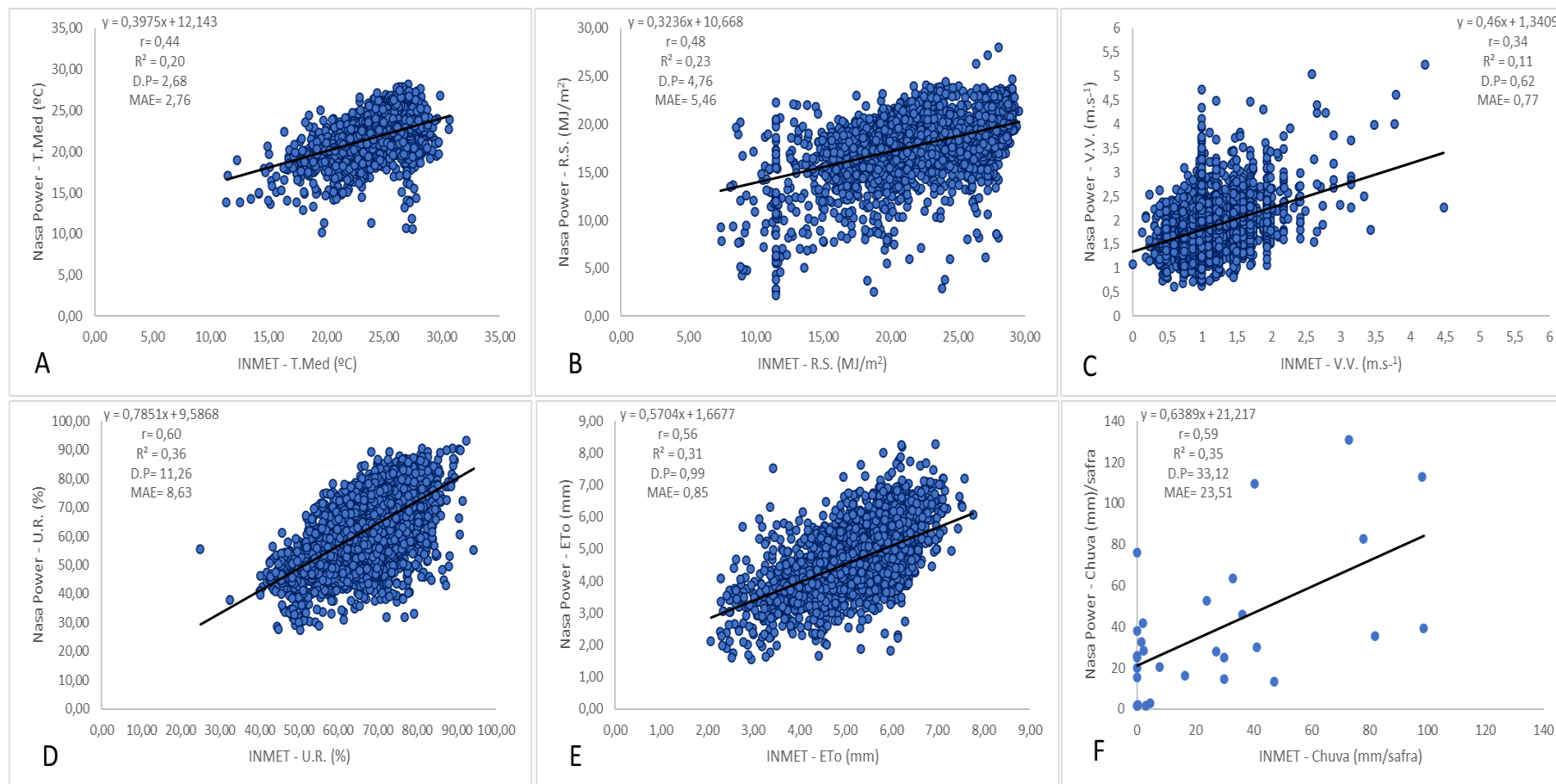
Apêndice H. Relação dos dados diários ao longo das safras avaliadas de temperatura média (T. Med), umidade relativa (U.R), velocidade do vento (V. V.), radiação solar (R.S.) e evapotranspiração de referência (ETo), além da precipitação acumulada (Chuva), obtidos através de dados da EMC do INMET e dados em grade do NASAPOWER para região de Balsas – MA.

Apêndice I. Gráficos de dispersão das principais variáveis climáticas de Luís Eduardo Magalhães – BA.



Apêndice I. Relação dos dados diários ao longo das safras avaliadas de temperatura média (T. Med), umidade relativa (U.R), velocidade do vento (V. V.), radiação solar (R.S.) e evapotranspiração de referência (ETo), além da precipitação acumulada (Chuva), obtidos através de dados da EMC do INMET e dados em grade do NASAPOWER para região de Luís Eduardo Magalhães – BA.

Apêndice J. Gráficos de dispersão das principais variáveis climáticas de Primavera do Leste – MT.



Apêndice J. Relação dos dados diários ao longo das safras avaliadas de temperatura média (T. Med), umidade relativa (U.R), velocidade do vento (V. V.), radiação solar (R.S.) e evapotranspiração de referência (ETo), além da precipitação acumulada (Chuva), obtidos através de dados da EMC do INMET e dados em grade do NASAPOWER para região de Primavera do Leste – MT.

Apêndice K. Irrigação (mm) recomendada com base na EMC e NASAPOWER para as diferentes culturas, anos e locais avaliados.

Cruz Alta - RS			Uruguaiana - RS			Uberaba - MG			Araraquara - SP			Unaí - MG		
SAFRA	EMC	NASAPOWER	SAFRA	EMC	NASAPOWER	SAFRA	EMC	NASAPOWER	SAFRA	EMC	NASAPOWER	SAFRA	EMC	NASAPOWER
1983	200	140	1983	210	280	1983	850	820	1983	300	120	1984	130	160
1984	280	250	1984	230	310	1984	800	890	1984	180	160	1985	140	110
1985	410	340	1985	320	450	1985	700	690	1985	270	360	1986	200	180
1986	160	160	1986	90	140	1986	820	760	1986	260	230	1987	140	110
1987	250	240	1987	240	330	1987	850	870	1987	180	190	1988	150	80
1988	230	220	1988	300	350	1988	890	750	1988	260	280	1989	260	200
1989	240	170	1989	120	250	1989	900	750	1989	150	190	1990	170	100
1990	290	240	1990	40	30	1990	1000	710	1990	100	110	1991	150	100
1991	180	180	1991	430	180	1991	660	540	1991	280	280	1992	80	50
1992	180	110	1992	290	310	1992	760	620	1992	30	0	1993	190	90
1993	170	160	1993	90	50	1993	1180	940	1993	80	140	1994	160	110
1994	150	100	1994	150	250	1994	1280	930	1994	230	290	1995	110	30
1995	300	270	1995	310	470	1995	1190	890	1995	210	280	1996	170	120
1996	230	160	1996	230	270	1996	1140	840	1996	160	180	1997	100	40
1997	160	110	1997	130	130	1997	1160	820	1997	120	180	1998	230	180
1998	280	200	1998	310	420	1998	1290	1020	1998	130	180	1999	290	220
1999	310	260	1999	350	440	1999	1260	850	1999	270	340	2000	260	180
2000	130	100	2000	160	180	2000	1260	950	2000	200	200	2001	290	180
2001	220	220	2001	340	290	2001	1390	1100	2001	190	170	2002	300	190
2002	140	120	2002	20	40	2002	1090	820	2002	260	220	2003	150	120
2003	160	110	2003	80	170	2003	1030	810	2003	260	200	2004	110	90
2004	280	290	2004	140	200	2004	1140	910	2004	290	290	2005	170	160
2005	250	240	2005	160	300	2005	1030	800	2005	190	240	2006	140	70
2006	220	160	2006	200	230	2006	1230	1140	2006	150	230	2007	280	210
2007	290	220	2007	220	270	2007	890	750	2007	250	320	2008	190	70
2008	250	240	2008	330	420	2008	910	610	2008	230	280	2009	110	40
2009	100	50	2009	40	60	2009	1240	1050	2009	60	70	2010	240	180
2010	220	140	2010	310	440	2010	1080	850	2010	180	280	2011	230	160
2011	390	300	2011	270	400	2011	1100	910	2011	250	390	2012	200	140
2012	190	150	2012	160	240	2012	960	750	2012	160	260	2013	170	130
2013	240	190	2013	170	290				2013	210	450	2014	150	110

Apêndice K. Cruz Alta (soja); Uruguaiana (arroz); Uberaba (cana-de-açúcar); Araraquara (laranja), Unaí (milho doce).

Apêndice L. Irrigação (mm) recomendada com base na EMC e NASAPOWERS para as diferentes culturas, anos e locais avaliados.

Rio Verde - GO			Araguari -MG			Balsas - MA			Luís Eduardo Magalhães - BA			Primavera do Leste - MT		
SAFRA	EMC	NASAPOWERS	SAFRA	EMC	NASAPOWERS	SAFRA	EMC	NASAPOWERS	SAFRA	EMC	NASAPOWERS	SAFRA	EMC	NASAPOWERS
1983	710	620	1983	260	190	1984	290	270	1984	480	530	1984	260	270
1984	810	740	1984	330	350	1985	170	130	1985	390	480	1985	290	280
1985	720	640	1985	400	400	1986	280	230	1986	390	450	1986	240	210
1986	700	720	1986	350	370	1987	350	350	1987	360	430	1987	290	280
1987	870	820	1987	290	240	1988	270	260	1988	480	430	1988	320	310
1988	620	520	1988	450	360	1989	160	160	1989	480	510	1989	230	190
1989	820	620	1989	400	340	1990	380	370	1990	370	380	1990	290	240
1990	1110	680	1990	410	330	1991	280	200	1991	410	430	1991	320	280
1991	720	560	1991	430	290	1992	380	360	1992	450	460	1992	310	320
1992	780	680	1992	230	130	1993	320	310	1993	410	510	1993	240	310
1993	960	860	1993	420	210	1994	210	210	1994	410	350	1994	300	290
1994	910	680	1994	660	440	1995	210	120	1995	370	300	1995	410	270
1995	920	690	1995	600	410	1996	270	210	1996	430	440	1996	400	290
1996	780	620	1996	460	260	1997	310	240	1997	380	290	1997	340	280
1997	850	740	1997	520	350	1998	450	450	1998	580	590	1998	340	330
1998	1100	960	1998	590	400	1999	220	270	1999	540	560	1999	390	340
1999	1000	750	1999	670	490	2000	270	260	2000	510	500	2000	370	310
2000	930	720	2000	660	410	2001	420	240	2001	520	570	2001	400	340
2001	990	860	2001	670	450	2002	340	330	2002	520	540	2002	380	290
2002	930	770	2002	540	390	2003	340	270	2003	510	490	2003	390	320
2003	1020	800	2003	380	290	2004	430	340	2004	500	400	2004	340	280
2004	1120	960	2004	600	430	2005	400	350	2005	520	520	2005	370	330
2005	950	790	2005	470	310	2006	240	220	2006	460	420	2006	400	290
2006	1100	1020	2006	470	340	2007	290	330	2007	610	630	2007	340	340
2007	880	730	2007	370	410	2008	330	190	2008	470	430	2008	400	330
2008	900	910	2008	510	390	2009	160	110	2009	340	280	2009	350	250
2009	1190	1040	2009	470	300	2010	380	320	2010	450	480	2010	390	330
2010	970	820	2010	390	310	2011	310	210	2011	460	440	2011	370	310
2011	930	720	2011	400	310	2012	410	280	2012	500	540	2012	400	300
2012	1020	970	2012	450	370	2013	310	230	2013	420	430	2013	430	310
			2013	630	540	2014	400	300						

Apêndice L. Rio Verde (cana-de-açúcar); Araguaui (café); Balsas (milho grão); Luís Eduardo Magalhães (algodão); Primavera do Leste (feijão).

ANEXO I – ÁREA IRRIGADA POR MUNICÍPIO E TIPO DE SISTEMA – 2015

UF	Município	Arroz	Cana-de-açúcar	Demais Culturas em Pivô Central	Demais Culturas e Sistemas	TOTAL
RS	Uruguaiana	80.173		1.567	734	82.474
MG	Paracatu		21.725	50.227	4.556	76.508
RS	Alegrete	75.273		713	339	76.325
RS	Santa Vitória do Palmar	73.399			333	73.732
RS	Itaqui	70.259		1.403	1.463	73.125
MG	Unai		6.995	57.726	2.758	67.478
RS	São Borja	57.539		2.827	3.883	64.249
GO	Cristalina			58.617	116	58.734
BA	São Desidério	94	479	39.667	11.875	52.115
RS	Mostardas	48.596			472	49.067
RS	Cachoeira do Sul	46.284	1	1.359	603	48.247
TO	Lagoa da Confusão	43.000			5.025	48.025
RS	Dom Pedrito	45.940		291	787	47.019
BA	Barreiras	4	31	38.986	7.986	47.006
RS	Arroio Grande	41.326			1.445	42.771
BA	Juazeiro		24.723	1.263	15.321	41.308
MG	Uberaba		32.331	7.868	523	40.722
MG	João Pinheiro		30.354	3.245	6.257	39.857
RS	Camaquã	38.748			653	39.401
MG	Itamarandiba				37.871	37.871
AL	Coruripe		37.065		424	37.489
BA	Mucugê		57	35.132	562	35.751
GO	Rio Verde		17.263	6.870	10.665	34.799
RS	São Gabriel	31.844		249	1.104	33.198
GO	Quirinópolis		30.901	1.496	161	32.557
RS	Viamão	30.762	4		759	31.526
GO	Goiatuba		25.538	3.921	5	29.464
RS	Restinga Seca	25.616	26	46	898	26.586
BA	Livramento de Nossa Senhora	1.929	86		24.532	26.547
RS	Rosário do Sul	25.588	25		655	26.268
SP	Guaíra		10.314	14.308	1.521	26.142
MT	Primavera do Leste			22.479	3.259	25.738
ES	São Mateus		1.973	1.064	22.683	25.719
RS	Palmares do Sul	25.582			7	25.589
BA	Formosa do Rio Preto			1.274	24.231	25.505
MT	Sorriso			14.171	10.659	24.830
BA	Jaborandi		18	21.106	3.224	24.348
RS	Rio Grande	22.609			1.670	24.279
TO	Formoso do Araguaia	22.474			1.556	24.030
PE	Petrolina			816	22.569	23.385
GO	Itumbiara		20.720	1.890	663	23.273
GO	Vila Propício		16.512	410	6.209	23.131
DF	Brasília			14.418	8.476	22.895
RS	Jaguarão	20.553			190	20.743
MG	Jaíba		9.616	2.967	8.043	20.627
MG	Frutal		17.068	1.334	1.555	19.957
MG	Perdizes		6.858	11.922	1.008	19.788
MG	Conceição das Alagoas		13.756	5.841	61	19.658
RS	Barra do Quaraí	19.137		311	79	19.527
SP	Barretos		13.588	1.364	4.363	19.315

ANEXO I – ÁREA IRRIGADA POR MUNICÍPIO E TIPO DE SISTEMA – 2015

UF	Município	Arroz	Cana-de-açúcar	Demais Culturas em Pivô Central	Demais Culturas e Sistemas	TOTAL
RS	Maçambará	17.999		1.133	65	19.196
SP	Casa Branca		1.446	12.771	4.788	19.004
MG	Santa Vitória		18.266	470	109	18.845
AL	Jequiá da Praia		18.656		44	18.700
BA	Luís Eduardo Magalhães	265		16.811	1.526	18.602
MT	Nova Mutum			3.074	15.388	18.462
RS	Tapes	18.164		191	62	18.417
GO	Mineiros		15.052		2.956	18.007
RS	São Sepê	17.038	32	57	831	17.958
GO	Morrinhos		8.589	8.341	738	17.668
MG	Minas Novas				17.410	7.410
GO	Edéia		15.750	1.299	2	17.052
MS	Costa Rica		16.825	159	12	16.996
RS	Capivari do Sul	16.991				16.991
GO	Paraúna		5.419	8.610	2.897	16.926
SP	Boa Esperança do Sul		5.854		10.960	16.815
SP	Itai			15.520	929	16.449
MG	Monte Alegre de Minas		8.420	5.155	2.874	16.449
MG	Rio Paranaíba			14.814	1.076	15.890
MG	Iturama		15.006	509	270	15.785
SP	Paranapanema			13.004	2.749	15.754
ES	Pinheiros		5.281	7.344	3.004	15.629
MS	Ponta Porã		581	11.795	3.151	15.528
MA	Campestre do Maranhão		13.888		1.493	15.381
SP	Ituverava		14.399	715	101	15.215
SP	Andradina		14.547	441	41	15.029
RS	Arambaré	14.980				14.980
ES	Linhares		1.587	1.158	12.001	14.747
ES	Rio Bananal				14.742	14.742
MT	Campo Novo do Parecis		5.153	4.345	5.152	14.650
MG	Campo Florido		11.286	3.211	86	14.583
MG	Santa Juliana		4.381	9.935	36	14.352
RS	Santo Antônio da Patrulha	14.255	11		77	14.344
SP	Miguelópolis		6.717	7.433	130	14.279
SP	Ibiúna				14.191	14.191
GO	Bom Jesus de Goiás		11.824	1.686	554	14.065
RS	Candelária	13.705			288	13.992
SP	Pereira Barreto		11.590	2.249	4	13.843
GO	Chapadão do Céu		13.314		499	13.812
SP	Itapeva			12.576	1.205	13.782
RN	Arês		13.076		679	13.755
RS	Agudo	12.100	14		1.611	13.725
SP	Colômbia		6.369	1.999	5.351	13.719
SP	Castilho		12.015	1.442	110	13.566
MG	Monte Carmelo			2.844	10.721	13.565
RS	Bagé	12.140		254	986	13.380
RS	Quarai	13.218			102	13.320
MS	Chapadão do Sul		11.910		1.378	13.289
ES	Colatina				13.227	13.227

ANEXO I – ÁREA IRRIGADA POR MUNICÍPIO E TIPO DE SISTEMA – 2015

UF	Município	Arroz	Cana-de-açúcar	Demais Culturas em Pivô Central	Demais Culturas e Sistemas	TOTAL
GO	Turvelândia		6.255	1.376	5.381	13.012
ES	Vila Valério			78	12.781	12.859
BA	Riachão das Neves	189	9	11.027	1.624	12.848
MT	Guiratinga			509	12.322	12.831
RS	Eldorado do Sul	12.286	7		491	12.785
RS	Barra do Ribeiro	12.679			33	12.712
GO	Jussara			12.492	61	12.553
SP	Araraquara		9.966		2.538	12.504
MS	Dourados	1.500	4.925	2.806	3.191	12.422
SP	Itapira		188		12.193	12.381
SP	Quatã		942		11.349	12.291
RS	Formigueiro	11.616	14	256	332	12.219
AL	Atalaia		12.075		124	12.199
SP	São Miguel Arcanjo			765	11.362	12.127
MG	Araguari			1.745	10.332	12.077
MG	Nova Ponte		7.081	4.776	152	12.010
BA	Ibicoara			11.423	585	12.009
GO	Santa Helena de Goiás		7.140	2.264	2.567	11.971
AL	Penedo	251	11.656		58	11.964
GO	Goianésia		11.465	369	109	11.943
SC	Meleiro	11.904			11	11.915
MG	Araporã		5.893	599	5.408	11.901
GO	Jataí		7.500	2.421	1.882	11.803
SP	Ilha Solteira		11.435	179	184	11.798
SC	Turvo	11.114	47		335	11.497
SP	Nuporanga		3.930	462	7.083	11.475
MG	Pirajuba		6.570	1.811	3.086	11.467
MT	Lucas do Rio Verde			5.794	5.632	11.426
MS	Rio Brilhante	1.000	8.123	1.582	673	11.378
SP	Batatais		10.705	112	420	11.237
RS	Santana do Livramento	10.603			599	11.201
SC	Nova Veneza	9.307			1.827	11.134
MG	Uberlândia		6.360	2.806	1.919	11.084
GO	Acreúna		8.528	2.377	80	10.984
SP	Valparaíso		10.942		31	10.973
AL	São Miguel dos Campos		10.558		385	10.943
RS	Cacequi	10.195	29	375	167	10.766
SP	José Bonifácio		9.948	452	362	10.763
AL	Campo Alegre		10.316		268	10.584
TO	Pium	7.500		1.000	2.000	10.500
MG	Buritiz			9.232	1.140	10.372
GO	Gouvelândia		10.292	77		10.369
MS	Sonora		4.875	4.542	848	10.265
MG	Guarda-Mor			9.923	300	10.223
ES	Montanha		4.971	877	4.329	10.177
RS	São Lourenço do Sul	9.795			351	10.146
GO	São Luiz do Norte		8.339	1.002	756	10.097
GO	Campo Alegre de Goiás		2.644	7.405	3	10.052
GO	Caçu		8.627	1.333	87	10.047