

Manejo da Irrigação em Pivôs Centrais do Cerrado de Minas Gerais



ISSN 1518-4277
Dezembro, 2010

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 112

Manejo da Irrigação em Pivôs Centrais do Cerrado de Minas Gerais

*Paulo Emílio Pereira de Albuquerque
Antônio Carlos Coutinho
Camilo de Lelis Teixeira de Andrade
Daniel Pereira Guimarães
Jason de Oliveira Duarte*

Embrapa Milho e Sorgo
Sete Lagoas, MG
2010

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Milho e Sorgo

Rod. MG 424 Km 45

Caixa Postal 151

CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG

Fone: (31) 3027-1100

Fax: (31) 3027-1188

Home page: www.cnpms.embrapa.br

E-mail: sac@cnpms.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Antônio Carlos de Oliveira

Secretário-Executivo: Elena Charlotte Landau

Membros: Flávio Dessaune Tardin, Eliane Aparecida Gomes, Paulo

Afonso Viana, João Herbert Moreira Viana, Guilherme Ferreira

Viana e Rosângela Lacerda de Castro

Supervisão editorial: Adriana Noce

Revisão de texto: Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica: Rosângela Lacerda de Castro

Tratamento de ilustrações: Alexandre Esteves Neves

Editoração eletrônica: Alexandre Esteves Neves

Foto da capa: Ademilson Santana da Rocha

1ª edição

1ª impressão (2010): on line

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Milho e Sorgo

Manejo da irrigação em pivôs centrais no cerrado de Minas Gerais / Paulo Emílio Pereira de Albuquerque ... [et al.]. -- Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2010.

31 p. : il. -- (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 112).

1. Irrigação. 2. Equipamento de irrigação. 3. Água. I. Albuquerque, Paulo Emílio Pereira de. II. Série.

CDD 631.7 (21. ed.)

© Embrapa 2010

Autores

Paulo Emílio Pereira de Albuquerque

Engenheiro Agrícola, D.Sc. em Irrigação e Drenagem, Pesquisador em Manejo de Irrigação, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, emilio@cnpms.embrapa.br

Antônio Carlos Coutinho

Engenheiro Agrônomo, funcionário da Fazenda Energética da Cemig, Uberaba, MG, acco@cemig.com.br

Camilo de Lelis Teixeira de Andrade

Engenheiro Agrícola, Ph.D. em Engenharia de Irrigação, Pesquisador em Modelagem e Simulação em Sistemas Irrigados, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, camilio@cnpms.embrapa.br

Daniel Pereira Guimarães

Engenheiro Florestal, D.Sc. em Ciências Florestais (Manejo Florestal), Pesquisador em Agrometeorologia, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, daniel@cnpms.embrapa.br

Jason de Oliveira Duarte

Economista, Ph.D. em Economia Agrícola, Pesquisador em Economia Agrícola, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, jason@cnpms.embrapa.br

Agradecimentos

À Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), pela cooperação financeira para a execução deste projeto.

Ao apoio do Engº Agrº. Antônio Carlos Coutinho, que fica sediado na Fazenda Energética da Cemig, em Uberaba.

Aos agricultores proprietários de pivôs centrais que participaram das nove Unidades de Demonstração espalhadas pelo Estado de Minas Gerais, nos municípios de: Inhaúma, Paraopeba, Esmeraldas, Morada Nova de Minas, Várzea da Palma, Paracatu, Rio Paranaíba, Iraí de Minas e Planura.

Sumário

Introdução	9
Objetivo geral.....	10
Objetivos específicos	11
Abrangência	11
Parâmetros estudados.....	12
Resultados e discussão	13
Conclusões e recomendações	27
Referências	28

Manejo da Irrigação em Pivôs Centrais do Cerrado de Minas Gerais

Paulo Emílio Pereira de Albuquerque

Antônio Carlos Coutinho

Camilo de Lelis Teixeira de Andrade

Daniel Pereira Guimarães

Jason de Oliveira Duarte

Introdução

A energia elétrica e a água estão cada vez mais sendo utilizadas na agricultura como insumos necessários ao aumento da produtividade das culturas, principalmente em irrigação por pivôs. A irrigação é a atividade da agricultura que mais consome energia elétrica em relação às demais atividades agrícolas. Apenas 0,3% dos consumidores utilizam pivôs e consomem 17,3% da energia elétrica no meio rural. Embora existam sistemas alternativos de pivôs que consomem menos energia, como o LEPA (“low energy pressure application”), a grande maioria dos irrigantes por pivôs não o utiliza.

Sabe-se que na maioria das vezes o uso de pivôs não é feito de forma eficiente. Após a instalação do sistema, normalmente nenhum critério é adotado para avaliar, controlar e determinar os momentos corretos de irrigar a cultura durante o seu ciclo. Estudo realizado em parceria da Cemig com a UFV constatou que os consumidores gastam em média 28% a mais de energia elétrica na irrigação das suas lavouras, devido à falta de manejo adequado e por utilizarem equipamentos de irrigação mal dimensionados (ESTUDO..., 1993).

Alguns dos fatores primordiais quando se trabalha com a agricultura irrigada são: a uniformidade de distribuição da água pelo sistema e a

programação da irrigação ao longo do ciclo da cultura. A uniformidade de distribuição está ligada às características hidráulicas do sistema e a alguns fatores climáticos de interferência (como radiação, vento, umidade relativa do ar etc.). A programação da irrigação baseada no empirismo do agricultor acarreta, de modo geral, a aplicação de água em excesso ou em falta, normalmente prevalecendo o primeiro caso.

A falta de um critério sistematizado de irrigação por parte do agricultor é, na maior parte dos casos, consequência de seu desconhecimento sobre o assunto e da inexistência de cobrança pela água utilizada. Muitas das técnicas atualmente disponíveis apresentam um certo grau de dificuldade e complexidade, o que as torna não facilmente assimiláveis pelos agricultores. O uso de ferramentas de informática no controle de irrigação pode possibilitar uma forma simples de utilização, eliminando alguns trabalhos mais difíceis e complexos no processamento de dados.

Uma ferramenta computacional de manejo de irrigação foi disponibilizada há cerca de 10 anos e foi atualizada mais recentemente, como descrita na Circular Técnica nº 97 da Embrapa Milho e Sorgo (ALBUQUERQUE, 2007). Essa metodologia possui uma planilha eletrônica como plataforma, a qual utiliza o balanço da água no solo, em que as entradas (“input”) no sistema são os dados da cultura (tipo, data de plantio, profundidade de semeadura, profundidade efetiva do sistema radicular, duração do ciclo), do solo (densidade, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, umidade inicial), do clima (evapotranspiração de referência dominante, coeficientes de cultura e de tanque, se for o caso) e das características do pivô central (tempo de giro e lâmina de água a 100% de velocidade, eficiência). As saídas (“output”) principais se referem à data recomendada de irrigação e à velocidade de giro do pivô (em percentagem).

Procurando-se utilizar a planilha de manejo de irrigação, como descrita anteriormente, seguem-se os objetivos deste projeto:

Objetivo geral

- Implantar e validar metodologia de manejo de irrigação desenvolvida pela Embrapa, tendo como meta reduzir em torno de 25% o

consumo específico de energia elétrica e água em pivôs centrais, no cerrado de Minas Gerais.

Objetivos específicos

- Implantar 9 Unidades de Demonstração (UD) num primeiro ciclo (inverno/2008) e 7 UD's num segundo (inverno/2009) distribuídas em três grandes regiões do cerrado mineiro, para determinação da uniformidade de distribuição da água e o acompanhamento do manejo de irrigação de culturas de grãos sob pivô central.
- Oferecer treinamento a extensionistas, agentes comerciais da Cemig e irrigantes, contemplando as seguintes áreas do conhecimento: Relações hídricas no sistema solo-clima-planta; Eficiência; Manejo de irrigação; Uso eficiente da energia elétrica e Demonstração do uso de uma estação climática automática.
- Monitorar e avaliar as UD's em que o pessoal recebeu treinamento e algumas das quais receberam estações meteorológicas automáticas, com relação à produtividade, produção, consumo específico de energia elétrica e água.
- Divulgar os resultados do projeto e promover o intercâmbio entre os atores envolvidos, quando da realização de encontros técnicos.

Abrangência

Inicialmente, os 9 municípios participantes do primeiro ciclo (Inverno/2008 - Tabela 1) foram:

- a) Região Central: Inhaúma, Paraopeba, Esmeraldas e Morada Nova de Minas;
- b) Regiões Norte/Noroeste: Várzea da Palma e Paracatu;
- c) Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba: Planura, Iraí de Minas e Rio Paranaíba.

No segundo ciclo (Inverno/2009 – Tabela 1), os 7 municípios participantes foram:

- a) Região Central: Inhaúma e Morada Nova de Minas;
- b) Regiões Norte/Noroeste: Várzea da Palma e Paracatu;
- c) Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba: Planura, Iraí de Minas e Rio Paranaíba.

Tabela 1. Caracterização dos pivôs nas propriedades selecionadas para as Unidades de Demonstração (UD) nas diferentes regiões de Minas Gerais, no primeiro (Inverno/2008) e no segundo (Inverno/2009) ciclos.

Município	Propriedade	Coordenadas	Altitude (m)	Cultura (1º ciclo)	Cultura (2º ciclo)
Esmeraldas	Visual	19°38'21" S 44°22'01"W	760	Capim Tifton-85	N.A. *
Inhaúma	True Type	19°26'05"S 44°29'53"W	702	Feijão	Feijão
Paraopeba	Agéo Agrop.	19°14'40"S 44°29'15"W	720	Milho silagem	N.A.
Várzea da Palma	Guaicuí	17°18'20"S 44°46'35"W	490	Milho	Milho
Paracatu	Gilberto Appelt	16°56'37"S 46°22'43"W	690	Feijão	Feijão
Morada Nova de Minas	Cinco Estrelas	18°42'23"S 45°20'11"W	583	Feijão	Feijão
Rio Paranaíba	Sekita Agrop.	19°19'40"S 46°09'19"W	1115	Trigo	Trigo
Iraí de Minas	Michels	18°58'55"S 47°31'30"W	1007	Trigo	Trigo
Planura	Santa Helena	20°02'59"S 48°41'17"W	520	Milho	Trigo

*N.A. = não avaliado

Parâmetros estudados

- Granulometria e classificação textural do solo;
- Capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), densidade do solo e capacidade total de água disponível (CTAD);
- Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC);
- Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD);
- Eficiência de irrigação;

- Percentagem de área adequadamente irrigada;
- Manejo de irrigação via planilha eletrônica (ALBUQUERQUE, 2007).

O manejo da irrigação realizado com o auxílio da planilha eletrônica está descrito na Circular Técnica nº 97 da Embrapa Milho e Sorgo (ALBUQUERQUE, 2007). A metodologia utiliza o balanço da água no solo, em que as entradas (“input”) no sistema são os dados da cultura (tipo, data de plantio, profundidade de semeadura, profundidade efetiva do sistema radicular, duração do ciclo), do solo (densidade, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, umidade inicial), do clima (evapotranspiração de referência dominante, coeficientes de cultura e de tanque, se for o caso) e das características do pivô central (tempo de giro e lâmina de água a 100% de velocidade, eficiência) . As saídas (“output”) principais se referem à data recomendada de irrigação e à velocidade de giro do pivô (em percentagem).

Em alguns locais, além dos parâmetros listados anteriormente, também determinaram-se:

- Consumo de energia no ciclo (kWh);
- Produção da cultura (kg);
- Produtividade (kg ha⁻¹);
- Consumo específico de água (L de água kg⁻¹ de produto);
- Consumo específico de energia elétrica (Wh consumido kg⁻¹ de produto).

Resultados e discussão

Na Tabela 2, encontram-se as características físico-hídricas dos solos das 9 UD's participantes do projeto, para o primeiro ciclo. E na Tabela 3, encontram-se esses mesmos dados das 7 UD's, para o segundo ciclo.

No Apêndice 1, encontra-se a análise textural dos diversos solos nos pivôs, tanto para o primeiro ciclo quanto para o segundo.

Na Tabela 4, estão os dados referentes às lâminas médias de irrigação e uniformidades de distribuição da água apresentadas pelos pivôs ava-

liados nos dois ciclos.

Tabela 2. Características físico-hídricas dos solos das 9 Unidades de Demonstração (UDs) do projeto Pivôs/Embrapa (1º Ciclo - inverno/2008).

Município	Camada de solo (cm)	CC ¹ (%peso)	PMP ² (%peso)	Densidade do solo (g.cm ⁻³)	CTAD ³ (%volume)
Esmeraldas	0-20	32,232	20,672	1,36	15,7
	20-40	31,824	21,080	1,30	14,0
Inhaúma	0-20	39,304	24,616	1,90	27,9
	20-40	37,400	25,704	1,21	14,2
Paraopeba	0-20	49,504	32,504	1,20	20,4
	20-40	45,696	32,096	1,22	16,6
Várzea da Palma	0-20	19,176	9,248	1,35	13,4
	20-40	17,544	9,112	1,32	11,1
Paracatu	0-20	35,904	21,76	1,28	18,1
	20-40	38,216	21,624	1,22	20,2
Morada Nova de Minas	0-20	58,344	35,224	1,25	28,9
	20-40	54,944	34,272	1,24	25,6
Rio Paranaíba	0-20	53,584	32,504	1,26	26,6
	20-40	53,312	32,232	1,21	25,5
Iraí de Minas	0-20	51,544	32,232	1,18	22,8
	20-40	47,328	33,048	1,21	17,3
Planura	0-20	40,256	25,296	1,22	18,3
	20-40	41,888	25,704	1,20	19,4

1CC = capacidade de campo, determinada pelo método da mesa de tensão (REICHARDT, 1996);

2PMP = ponto de murcha permanente, determinado pelo método do extrator de Richards (REICHARDT, 1996); 3CTAD = capacidade total de água disponível.

Tabela 3. Características físico-hídricas dos solos das 7 Unidades de Demonstração (UDs) do projeto Pivôs/Embrapa (2º Ciclo - inverno/2009).

Município	Número do pivô	Camada de solo (cm)	CC ¹ (%peso)	PMP ² (%peso)	Densidade do solo (g.cm ⁻³)	CTAD ³ (%volume)
Inhaúma	7	0-20	35,36	23,30	1,27	15,3
		20-40	33,86	23,73	1,14	11,5
	8	0-20	33,53	23,36	1,05	10,7
		20-40	34,56	24,10	1,23	12,9
Várzea da Palma	3	0-20	12,43	5,86	1,82	12,0
		20-40	13,90	7,00	1,79	12,4
	4	0-20	12,00	4,63	1,72	12,7
		20-40	11,06	5,10	1,76	10,5
Paracatu	3	0-20	30,63	17,83	1,26	16,1
		20-40	34,00	18,50	1,48	22,9
	4	0-20	30,60	17,53	1,21	15,8
		20-40	32,26	18,40	1,41	19,5
Morada Nova de Minas	3	0-20	40,47	25,24	1,25	19,0
		20-40	42,90	25,94	1,24	21,0
	4	0-20	37,03	19,70	1,44	25,0
		20-40	35,26	19,83	1,44	22,2
Rio Paranaíba	3	0-20	37,83	23,53	1,19	17,0
		20-40	37,10	24,03	1,15	15,0
	9	0-20	38,53	24,30	1,28	18,2
Iraí de Minas	10	20-40	39,13	24,73	1,22	17,6
		0-20	38,76	24,06	1,27	18,7
	20-40	38,33	24,73	1,20	16,3	
Planura	4	0-20	30,83	18,00	1,37	17,6
		20-40	31,80	17,70	1,48	20,9

¹CC = capacidade de campo, determinada pelo método da mesa de tensão (REICHARDT, 1996);²PMP = ponto de murcha permanente, determinado pelo método do extrator de Richards (REICHARDT, 1996); ³CTAD = capacidade total de água disponível.

Tabela 4. Dados referentes às lâminas médias de irrigação e uniformidades de distribuição da água dos pivôs avaliados nas Unidades de Demonstração (UDs) do projeto Pivôs/Embrapa

Município	1º Ciclo (Inverno/2008)				Classificação ⁵ do CUC
	LMC ¹ (mm)	EA ² (%)	CUC ³ (%)	CUD ⁴ (%)	
Esmeraldas	2,19	91,13	80,74	76,51	Regular
	2,66	90,53	85,10	72,77	Bom
Inhaúma	2,12	89,16	76,12	65,39	Ruim
	6,05	92,88	84,71	76,29	Bom
Paraopeba	2,16	89,85	81,76	70,85	Regular
	2,28	91,27	85,16	73,86	Bom
Várzea da Palma	3,68	94,91	88,24	80,80	Bom
	5,71	94,09	87,62	83,71	Bom
Paracatu	6,01	93,66	84,66	71,58	Bom
Morada Nova de Minas	3,62	89,03	74,47	62,50	Ruim
	4,56	92,19	88,36	79,08	Bom
Rio Paranaíba	3,50	88,78	93,97	87,66	Muito Bom
Iraí de Minas	3,11	88,40	86,46	80,12	Bom
	3,09	93,08	87,69	76,74	Bom
Planura	4,88	91,45	90,25	83,64	Muito Bom

Continua...

Tabela 4. Continuação

2º Ciclo (Inverno/2009)				
Município	Pivô	LMC ¹ (mm)	CUC ³ (%)	Classificação do CUC ⁵
Inhaúma	7	3,80	76,4	Ruim
	8	3,74	85,3	Bom
Várzea da Palma	3	5,34	90,8	Muito Bom
	4	3,68	88,2	Bom
Paracatu	3	3,16	80,9	Regular
	4	3,76	80,3	Regular
Morada Nova de Minas	3	5,07	77,8	Ruim
	4	4,44	82,6	Regular
Rio Paranaíba	3	3,10	80,4	Regular
Iraí de Minas	9	6,70	81,8	Regular
	10	7,16	84,9	Bom
Planura	4	3,25	74,2	Ruim

¹LMC = lâmina média de irrigação coletada a 100% de velocidade; 2EA = eficiência de aplicação;

³CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen; 4CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição; 5Classificação do CUC de acordo com a norma NBR 14244 da ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).

A maioria dos solos é classificada como argiloso e muito argiloso, exceção ao solo de Várzea da Palma e do pivô 4 de Morada Nova de Minas (Apêndice 1). Com isso, comprova-se nas Tabelas 2 e 3 a boa retenção de água por todos os solos, porém inclui-se aí o efeito da média para alta densidade desses solos. Embora não tenham sido realizados testes

de compactação sobre os solos, por hipótese pode-se responsabilizar parcialmente o trânsito de máquinas nas áreas por esses altos valores de densidade. Ainda, se há esse efeito da compactação do solo, pode existir dificuldade de infiltração da água de irrigação e de chuvas.

Analisando-se a Tabela 4, pode-se concluir que os sistemas avaliados apresentaram, em geral, níveis aceitáveis de uniformidade de aplicação de água, cujos coeficientes de distribuição de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD) estiveram acima de 80 e 70%, respectivamente, considerados, portanto, como um bom resultado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998). Cerca de 82% dos pivôs testados estavam dentro dessa faixa de CUC e CUD. A eficiência de aplicação de água apresentou valores dentro do admissível e/ou do normal, ficando com uma média de 91,30%, podendo ser considerada como de boa eficiência. Nessa mesma Tabela 4, observando-se o segundo ciclo de cultivo (inverno/2009), nota-se que em dois terços dos pivôs avaliados os CUCs apresentaram classificações regular e ruim. Nessa etapa, os melhores pivôs quanto à uniformidade foram os de Várzea da Palma.

Um detalhe que deve ser salientado e que serve como exemplo é o caso do pivô 3 de Morada Nova de Minas, que gerou um valor de CUC de 77,8%. O primeiro vão de emissores (que vai da torre central à primeira torre) apresentou desvios muitos grandes nos valores coletados da lâmina de água, indicando possíveis emissores não adequados para esse vão. Quando se desconsidera esse vão, o valor do CUC se eleva para 87,8%. Haveria a necessidade de fazer um redimensionamento, principalmente para os emissores desse primeiro vão.

Na Tabela 5, estão os dados das culturas nos pivôs escolhidos para adotarem o manejo de irrigação pela planilha eletrônica.

Na Tabela 6, apresentam-se alguns dados para a entrada na planilha eletrônica de manejo de irrigação, além de alguns resultados sobre a irrigação dos pivôs avaliados, para o caso do primeiro ciclo de avaliação (Inverno/2008). E na Tabela 7, são mostrados esses dados para o caso do segundo ciclo (Inverno/2009).

Tabela 5. Dados referentes às culturas nos pivôs selecionados para uso da planilha eletrônica de manejo de irrigação das Unidades de Demonstração (UD) nas diferentes regiões de Minas Gerais (1º Ciclo: Inverno/2008; 2º Ciclo: Inverno/2009)

1º Ciclo (Inverno/2008)					
Município	Cultura	Data do plantio	Profundidade do sistema radicular* (cm)	Ciclo previsto (dias)	
Esmeraldas	Capim Tifton-85	14/05/2008	25	45	
Inhaúma	Feijão	1/05/2008	30	90	
Paraopeba	Milho silagem	20/04/2008	40	100	
Várzea da Palma	Milho	15/05/2008	40	140	
Paracatu	Feijão	02/05/2008	30	90	
Morada Nova de Minas	Milho	08/04/2008	40	140	
Rio Paranaíba	Trigo	22/04/2008	30	110	
Iraí de Minas	Trigo	16/04/2008	30	110	
Planura	Milho	18/04/2008	40	140	
2º Ciclo (Inverno/2009)					
Município	Pivô	Cultura	Data do plantio	Profundidade do sistema radicular* (cm)	Ciclo previsto (dias)
Inhaúma	7	Feijão	24/05/2009	30	90
	8	Feijão	20/04/2009	30	90
Várzea da Palma	3	Milho	06/05/2009	30	125
	4	Milho	15/05/2009	30	120
Paracatu	3	Feijão	22/04/2009	30	90
	4	Feijão	24/04/2009	30	90
Morada Nova de Minas	3	Feijão	16/05/2009	30	90
	4	Feijão	21/05/2009	30	90
Rio Paranaíba	3	Trigo	11/04/2009	30	105
Iraí de Minas	9	Trigo	08/06/2009	30	90
	10	Trigo	30/05/2009	30	90
Planura	4	Trigo	05/06/2009	30	110

*Profundidades estimadas em função da cultura, conforme Moreira (1993).

Tabela 6. Alguns dados para a entrada na planilha eletrônica de manejo de irrigação e alguns resultados sobre a irrigação dos pivôs avaliados nas 9 Unidades de Demonstração (UDs) do projeto Pivôs/Embrapa (1º Ciclo: Inverno/2008).

Município	DEML ¹	Fator f^2	NIF ³	HI ⁴ (h)	Relação h/ ha/dia
Esmeraldas	Moderada	0,5	23	640	0,282
Inhaúma	Moderada	0,6	61	954	0,246
Paraopeba	Moderada	0,6	69	954	0,255
Várzea da Palma	Moderada/ Alta	0,6	66	1919	0,144
Paracatu	Moderada/ Alta	0,6	29	652	0,102
Morada Nova de Minas	Moderada/ Alta	0,6	62	874	0,189
Rio Paranaíba	Moderada	0,6	59	904	0,202
Iraí de Minas	Moderada	0,6	72	1606	0,228
Planura	Moderada/ Alta	0,6	59	1174	0,121

1DEML = demanda evaporativa média predominante no local, de acordo com Doorenbos e Pruitt, 1977 (Moderada: $2,5 < ETo \leq 5,0$ mm/dia; Alta: $5,0 < ETo \leq 7,5$ mm/dia; ETo = evapotranspiração de referência); $2f$ = coeficiente de disponibilidade ou depleção da água no solo; 3NIF = número total de irrigações efetuadas durante o ciclo da cultura; 4HI = horas totais de irrigação durante o ciclo da cultura.

Pela Tabela 6, observa-se que a demanda evaporativa dominante nos 9 locais é moderada (DOORENBOS; PRUITT, 1977), cuja evapotranspiração de referência (ETo) situa-se em torno de 2,5 a 3,0 mm.dia-1 em média, e moderada com tendência a alta, com ETo média em torno dos 3,5 mm.dia-1, o que se confirma ao observar também a Tabela 7.

Tabela 7. Alguns dados para a entrada na planilha eletrônica de manejo de irrigação e alguns resultados sobre a irrigação dos pivôs avaliados nas 7 Unidades de Demonstração (UDs) do projeto Pivôs/Embrapa (2º Ciclo: Inverno/2009).

Município	Pivô	Área do pivô (ha)	Duração do ciclo (dias)	f ¹	ETo média ² (mm. dia ⁻¹)	NIF ³	HI ⁴ (h)
Inhaúma	7	28	90	0,6	3,09	62	560,88
	8	82	90	0,5	2,94	38	755,46
Várzea da Palma	3	105	125	0,5	3,71	76	582,93
	4	106	120	0,5	3,77	70	778,61
Paracatu	3	62	90	0,5	2,78	33	760,38
	4	62	90	0,5	2,77	32	707,32
Morada Nova de Minas	3	70	90	0,5	3,62	21	576,68
	4	85	90	0,5	3,47	24	653,33
Rio Paranaíba	3	40	105	0,5	2,85	22	577,22
Iraí de Minas	9	46	100	0,5	3,13	-	-
	10	34	100	0,5	2,72	-	-
Planura	4	96	105	0,5	3,47	48	1509,60

1f = coeficiente de disponibilidade ou depleção da água no solo 2 ETo = evapotranspiração de referência; 3NIF = número total de irrigações efetuadas durante o ciclo da cultura; 4HI = horas totais de irrigação durante o ciclo da cultura; - dados disponíveis.

Nas Tabelas 8 e 9 estão mostrados os dados de evapotranspiração da cultura (ETc) e resultados obtidos da planilha eletrônica de manejo de irrigação para os pivôs avaliados, para os dois ciclos de análise (inver-

nos de 2008 e 2009, respectivamente).

Tabela 8. Dados de evapotranspiração da cultura (ETc) e resultados obtidos da planilha eletrônica de manejo de irrigação para os pivôs avaliados nas 9 Unidades de Demonstração (UDs) do projeto Pivôs/Embrapa (1º Ciclo: Inverno/2008).

Município	Duração do ciclo (dias)	Variação da ETc ¹ (mm/dia)	ETc média (mm/dia)	LRT ² (mm)	LBTA ³ (mm)	LIM ⁴ (mm)	Déficit ⁵ (%)
Esmeraldas	45	1,74-4,32	3,40	153,3	190,0	4,23	0,0
Inhaúma	89	1,75-5,01	3,54	330,5	288,0	3,23	11,7
Paraopeba	109	1,75-5,54	3,58	414,5	340,0	3,12	15,0
Várzea da Palma	124	1,12-7,74	4,68	629,5	556,6	4,49	13,5
Paracatu	90	2,80-5,07	4,25	392,6	364,0	4,04	7,7
Morada Nova de Minas	123	3,00-5,18	4,35	572,5	472,0	3,84	18,3
Rio Paranaíba	130	2,45-5,37	3,99	529,5	498,7	3,83	3,3
Iraí de Minas	129	2,45-4,98	3,93	524,7	563,0	4,36	0,0
Planura	119	3,01-6,04	4,32	548,5	450,2	3,78	15,8

1ETc = evapotranspiração da cultura, calculada pela relação $K_c \times ETo$ (K_c é o coeficiente de cultura, segundo ALLEN et al., 1998); 2LRT = lâmina requerida total; 3LBTA = lâmina bruta total aplicada; 4LIM = lâmina de irrigação média por evento; 5Déficit da irrigação aplicada em relação à irrigação requerida.

Tabela 9. Dados de evapotranspiração da cultura (ETc) e resultados obtidos da planilha eletrônica de manejo de irrigação para os pivôs avaliados nas 7 Unidades de Demonstração (UDs) do projeto Pivôs/Embrapa (2º Ciclo: Inverno/2009).

Município	Pivô	Variação da ETc ¹ (mm. dia ⁻¹)	ETc média (mm. dia ⁻¹)	LRT ² (mm)	LBTA ³ (mm)	LIM ⁴ (mm)	Déficit ⁵ (%)	Chuva efetiva ⁶ (mm)
Inhaúma	7	1,55-	2,94	261,9	243,3	3,92	17,9	8,9
	8	4,50 1,02- 4,33	3,10	275,7	278,4	7,32	11,1	16,3
Várzea da Palma	3	0,65-	3,42	425,7	418,0	5,50	4,8	55,9
	4	6,50 0,65- 6,50	3,50	417,5	385,6	5,51	12,2	43,7
Paracatu	3	0,89-	2,46	219,3	237,2	7,19	0,0	41,5
	4	3,29 0,89- 3,23	2,46	218,7	277,9	8,68	0,0	34,2
Morada Nova de Minas	3	0,77-	3,35	298,1	255,1	12,15	18,1	20,0
	4	5,16 1,07- 5,88	3,47	308,6	248,4	10,35	17,5	21,0
Rio Paranaíba	3	0,48- 4,27	2,66	276,4	152,3	6,92	16,2	99,1
Iraí de Minas	9	0,59-	2,98	295,1	-	-	-	-
	10	4,75 0,67- 4,75	2,89	286,6	-	-	-	-
Planura	4	0,85- 6,28	3,31	361,1	400,2	8,34	10,2	38,6

1ETc = evapotranspiração da cultura, calculada pela relação $Kc \times ETo$ (Kc é o coeficiente de cultura, segundo ALLEN et al., 1998); 2LRT = lâmina requerida total; 3LBTA = lâmina bruta total aplicada; 4LIM = lâmina de irrigação média por evento; 5Déficit da irrigação aplicada em relação à irrigação requerida; - dados não disponíveis; 6Chuva efetiva calculada conforme Albuquerque (2007).

Observando-se as Tabelas 5 a 9 em conjunto pode-se verificar alguns parâmetros necessários para a implementação do manejo de irrigação, baseado principalmente em variáveis climáticas. Também observam-se os resultados apresentados para os 9 locais estudados no primeiro ciclo (Inverno/2008) e para os 7 locais no segundo ciclo (Inverno/2009). Conclui-se que em mais de 70% desses locais ocorreram déficits, ou seja, as irrigações aplicadas estiveram abaixo das lâminas de irrigação requeridas, o que ainda denota, na maioria dos locais, a falta de um manejo de irrigação adequado. Entretanto, vale salientar que o déficit muitas vezes pode estar ligado a uma necessidade do irrigante em “economizar” energia elétrica, o que, embora possa causar algum estresse hídrico às culturas, não seja um fator agravante em termos de lucro na atividade. Para determinar se os déficits quantificados são prejudiciais em termos econômicos, uma análise econômica mais apurada deve ser considerada.

Os melhores resultados do projeto foram obtidos no segundo ciclo (Inverno/2009) com os pivôs de Várzea da Palma, da Fazenda Guaicuí (ALBUQUERQUE et al., 2010). Pelos relatos do gerente dessa fazenda, além da implantação do manejo da irrigação, outras ações foram implantadas: adoção de manutenção preventiva nos pivôs; treinamento de equipes com mecânicos e eletricitistas; instalação de equipamentos para monitoramento do consumo e demanda de energia elétrica, dentre outras. Com isso, já obtiveram uma economia de 35% no custo da irrigação, já inclusos os gastos com manutenção.

Com os dados coletados na Fazenda Guaicuí, em Várzea da Palma, no segundo ciclo, obtiveram-se os gráficos apresentados na Figura 1, os quais são os volumes brutos específicos de água aplicada e os consumos específicos de água em ambos os pivôs. Além disso, essa figura mostra o consumo específico de energia elétrica de cada pivô (ALBUQUERQUE et al., 2010).

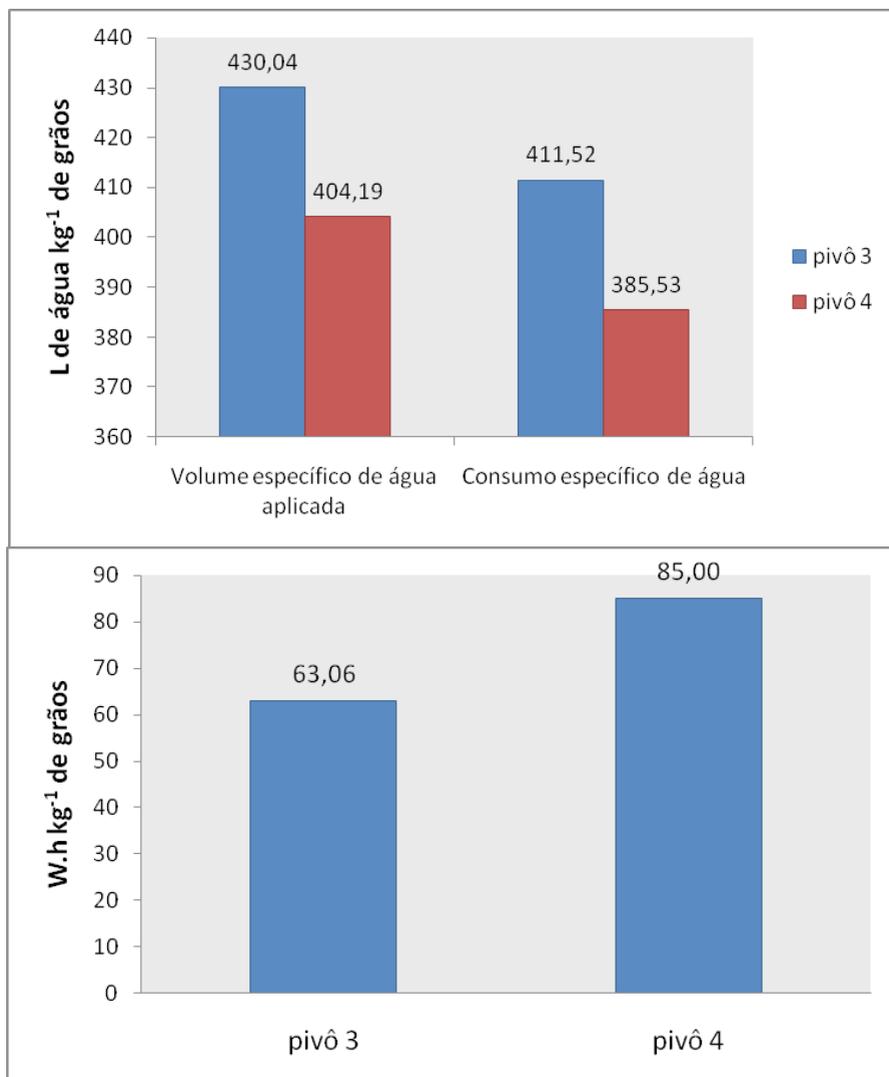


Figura 1. Acima: Volume bruto específico de água aplicada e consumo específico de água (em litros de água kg⁻¹ de grãos produzidos) nos pivôs 3 e 4. Abaixo: Consumo específico de energia elétrica (em W.h kg⁻¹ de grãos produzidos) para bombeamento de água nos pivôs 3 e 4 da Fazenda Guaicuí - Várzea da Palma (Fonte: ALBUQUERQUE et al., 2010)

Observa-se na Figura 1 que tanto o volume específico bruto da água de irrigação aplicado no pivô 3 (430,04 L kg⁻¹ de grãos) quanto o consumo específico de água pela cultura nesse pivô (411,52 L kg⁻¹ de grãos) foram maiores em relação aos mesmos parâmetros do pivô 4 (404,19 e 385,53 L kg⁻¹ de grãos, respectivamente). Isso indica que o pivô 3, embora tenha apresentado menor déficit hídrico calculado (4,8%) ao final do ciclo (Tabela 9), consumiu mais água para produzir 1 kg de grãos de milho e também aplicou-se mais água (lâmina bruta de irrigação) para essa mesma produção. Esse resultado tem várias explicações: uso de cultivar de milho mais tolerante ao déficit hídrico, que torna a cultura mais eficiente no uso da água; uso de parâmetros inapropriados, principalmente valores não muito corretos do coeficiente de cultura (Kc) do milho para fazer o manejo de irrigação, dados de solo, de clima, dentre outros. O milho no pivô 3, apesar de resultar numa produtividade ligeiramente mais alta (9.720,0 kg ha⁻¹) em relação à do pivô 4 (9.540,0 kg ha⁻¹), foi menos eficiente em termos de “produtividade” da água, ou seja, produziu menos fitomassa para cada unidade de volume de água consumida ou aplicada.

O raciocínio torna-se contrário ao se observar a parte de baixo da Figura 1, ou seja, a energia elétrica consumida no pivô 3 foi mais eficiente em sua conversão para massa de grãos produzidos. Enquanto se consumiram 63,06 Wh kg⁻¹ de grãos no pivô 3, já no pivô 4 se consumiram 85,00 Wh kg⁻¹ de grãos. Embora as potências de ambos os conjuntos motobombas fossem as mesmas (150 cv ou 110,4 kW), o pivô 4 aplica uma lâmina média de água de 3,68 mm e o pivô 3, uma lâmina de 5,34 mm, no mesmo tempo de giro completo a 100% de velocidade, que é de 7,44 horas. Para aplicar lâminas próximas de irrigação em ambos os pivôs, haverá necessidade de gastar mais tempo no pivô 4. E foi o que ocorreu: no pivô 3 gastou-se um total de 582,93 horas e no pivô 4 foram 778,61 horas (Tabela 7). Desde que as bombas estejam funcionando com alturas manométricas próximas, os resultados levam a concluir que a bomba no pivô 4 está com alguma deficiência e medidas deverão ser adotadas para melhorar a sua eficiência ou trocá-la por outra mais eficiente, pois a vazão bombeada está aquém em relação

à vazão do pivô 3. Há informação de que as duas bombas já possuem cerca de 20 anos de funcionamento.

Em que pese algum problema detectado na bomba do pivô 4, o manejo da irrigação foi adotado em ambos os pivôs avaliados. Mesmo o pivô 4, que foi escolhido para adotar o manejo de irrigação segundo o critério da fazenda, resultou em boa produtividade do milho e melhor volume específico bruto de água aplicada. Os dados desse pivô lançados na planilha de manejo de irrigação geraram resultados satisfatórios de consumo de água pela cultura, com um certo grau de déficit hídrico (12,2% - Tabela 9), mas que não comprometeu de forma acentuada a produtividade. Um determinado grau de déficit pode ser até benéfico, além de originar economia de água e energia elétrica, aumentando as respectivas eficiências de uso. Uma análise econômica pode ser útil para verificar até que grau de déficit não causaria perda de lucratividade (Albuquerque et al., 2010).

Conclusões e recomendações

Observou-se que nos 9 locais avaliados os pivôs apresentaram, de modo geral, uma eficiência regular na uniformidade de distribuição da água de irrigação. Em relação à planilha eletrônica de manejo de irrigação, houve, na maioria dos casos, uma aplicação da água de irrigação com um certo grau de déficit, ou seja, aplicou-se uma quantidade de água aquém do recomendado.

Embora a ideia deste estudo fosse principalmente comparar o manejo de irrigação adotado pelo agricultor com a planilha eletrônica de manejo, esse objetivo não foi cumprido de forma plena, porque o produtor tinha a liberdade de fazer o manejo de irrigação do modo que ele quisesse em função da operacionalidade do seu sistema. Entretanto, este trabalho gerou dados interessantes que podem servir de subsídios para outros estudos, como por exemplo:

- A transferência da tecnologia deve ser mais atuante e acompanhar com mais dedicação o manejo de irrigação aqui apresentado;

- O manejo de irrigação que necessita de dados climáticos, como o proposto aqui, nem sempre se apresentou tão fácil para alguns produtores, ou por deficiência na coleta de dados de clima feita pela estação climática, ou pelo desinteresse do operador do acompanhamento da irrigação do pivô central por meio de uma nova técnica em detrimento de uma técnica já tradicionalmente utilizada;
- Uma análise econômica mais minuciosa deve ser realizada, tendo em vista a tendência de muitos agricultores fazer a irrigação com algum déficit hídrico, o que pode ser economicamente interessante;
- Ainda deve ser melhorada sobremaneira a uniformidade de irrigação dos pivôs. Para isso vale um trabalho de conscientização aos agricultores para essa empreitada;
- Uma vistoria na hidráulica do sistema de irrigação deve ser realizada continuamente, incluindo aí redimensionamento de emissores e até troca de conjuntos motobombas para outras que sejam mais eficientes em termos hidráulicos e elétricos;
- Finalmente, considera-se que o trabalho de pesquisar, desenvolver, inovar, difundir e transferir as metodologias de manejo de irrigação deve ser continuado e ampliado, tendo em vista os benefícios que poderão advir não só de sustentação econômica da atividade agrícola, como de sustentação social e ambiental.

Referências

ALBUQUERQUE, P. E. P. **Planilha eletrônica para programação da irrigação em sistemas de aspersão convencional, pivô central e sulcos**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. 18 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 97).

ALBUQUERQUE, P. E. P.; COUTINHO, A. C.; GONÇALVES, P. P.; AGOSTINHO, E. M. Uso eficiente da água de irrigação e da energia

elétrica em cultura de milho sob pivô central num plantio comercial em Várzea da Palma, MG. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA DO CARTUCHO, 4., 2010, Goiânia. **Potencialidades, desafios e sustentabilidade**: resumos expandidos... Goiânia: ABMS, 2010. 1 CD-ROM.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14244**: Equipamentos de irrigação mecanizada: pivô central e lateral móvel providos de emissores fixos ou rotativos: determinação da uniformidade de distribuição de água. Rio de Janeiro, 1998. 11 p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 144 p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 24).

ESTUDO de otimização energética setor irrigação: pivô central. Belo Horizonte: Cemig, 1993. 22 f. Relatório do trabalho desenvolvido pela Cemig em parceria com a Universidade Federal de Viçosa e financiado parcialmente pela Eletrobrás (Procecon).

MOREIRA, H. J. C. S.A.A.C.I. - **Sistema agroclimatológico para o acompanhamento das culturas irrigadas**: manual prático para o manejo da irrigação. Brasília: Ministério da Integração Regional, Secretaria Nacional de Irrigação, 1993. 86 p.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. 2. ed. Piracicaba: USP:-ESALQ, 1996. 505 p.

Apêndice. Análise textural dos solos das Unidades de Demonstração (UDs) do projeto Pivôs/Embrapa

Município	Camada de solo (cm)	1º Ciclo – Inverno/2008				Classificação textural
		Areia grossa (----- dag.kg ⁻¹ -----)	Areia fina	Silte	Argila	
Esmeraldas	0-20	36	13	11	40	Argilo-Arenoso
	20-40	34	10	11	45	Argiloso
Inhaúma	0-20	20	7	13	60	Muito Argiloso
	20-40	14	10	10	66	Muito Argiloso
Paraopeba	0-20	2	1	11	86	Muito Argiloso
	20-40	1	1	15	83	Muito Argiloso
Várzea da Palma	0-20	54	27	3	26	Argiloso Franco
	20-40	47	27	2	24	Argilo-Arenoso Franco
Paracatu	0-20	6	21	16	57	Argilo-Arenoso
	20-40	4	18	18	60	Muito Argiloso
Morada Nova de Minas	0-20	2	2	10	86	Muito Argiloso
	20-40	2	3	9	86	Muito Argiloso
Rio Paranaíba	0-20	4	5	16	75	Muito Argiloso
	20-40	3	5	11	81	Muito Argiloso
Iraí de Minas	0-20	4	5	23	68	Muito Argiloso
	20-40	4	4	6	86	Muito Argiloso
Planura	0-20	6	17	8	69	Muito Argiloso
	20-40	6	16	8	70	Muito Argiloso

2º Ciclo – Inverno/2009							Classificação textural
Município	Pivô	Camada de solo (cm)	Areia grossa	Areia fina	Site	Argila	
			(----- dag.kg ⁻¹ -----)				
Inhaúma	7	0-20	11	6	11	72	Muito Argiloso
		20-40	8	5	10	77	Muito Argiloso
		0-20	8*		16	76	Muito Argiloso
Várzea da Palma	3	0-20	7*		13	80	Muito Argiloso
		20-40	51	23	7	19	Franco Arenoso
		0-20	48	21	7	24	Franco Argilo-Arenoso.
Paracatu	4	0-20	51	26	9	14	Franco Arenoso
		20-40	49	25	10	16	Franco Arenoso
		0-20	21*		22	57	Argiloso
Morada Nova de Minas	3	20-40	18*		21	61	Muito Argiloso
		0-20	20*		21	59	Argiloso
		20-40	19*		20	61	Muito Argiloso
Río Paranaíba	3	0-20	2	2	10	86	Muito Argiloso
		20-40	2	3	9	86	Muito Argiloso
		0-20	1	6	38	55	Argilo-Siltoso
Iraí de Minas	9	20-40	1	6	34	59	Argilo-Siltoso
		0-20	10*		13	77	Muito Argiloso
		20-40	8*		6	86	Muito Argiloso
Planura	4	0-20	4	5	15	76	Muito Argiloso
		20-40	3	4	15	78	Muito Argiloso
		0-20	5	6	16	73	Muito Argiloso
* Areia total	10	20-40	3	5	14	78	Muito Argiloso
		0-20	9	18	14	59	Argiloso
		20-40	8	18	14	60	Muito Argiloso

* Areia total

Embrapa

Milho e Sorgo

**Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

