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

**Análise do desempenho da irrigação em um projeto hidroagrícola no
Sul da Espanha, utilizando Sistema de Informação Geográfica e
avaliação socioeconômica**

Sílvio Carlos Ribeiro Vieira Lima

**Tese apresentada para obtenção do título de
Doutor em Ciências. Área de concentração:
Irrigação e Drenagem**

**Piracicaba
2009**

Sílvio Carlos Ribeiro Vieira Lima
Engenheiro Agrônomo

**Análise do desempenho da irrigação em um projeto hidroagrícola no Sul da
Espanha, utilizando Sistema de Informação Geográfica e
avaliação socioeconômica**

ORIENTADOR:
Prof. Dr. JOSÉ ANTÔNIO FRIZZONE

**Tese apresentada para obtenção do título de
Doutor em Ciências. Área de concentração:
Irrigação e Drenagem**

Piracicaba
2009

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

Lima, Sílvia Carlos Ribeiro Vieira

Análise do desempenho da irrigação em um projeto hidroagrícola no Sul da Espanha, utilizando Sistema de Informação Geográfica e avaliação socioeconômica / Sílvia Carlos Ribeiro Vieira Lima. - - Piracicaba, 2009.
103 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009.
Bibliografia.

1. Água do solo 2. Balanço hídrico 3. Irrigação - Eficiência 4. Sistema de Informação Geográfica I. Título

CDD 631.7
L732a

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

À minha avó Maria Ribeiro (*In memoriam*) com quem pude compartilhar os momentos bons de minha infância e seguir um ensinamento de luta pela vida. Aos meus Pais, Paulo Eduardo e Ocilma (*In memoriam*) que me ensinaram a importância de fazer o bem e de que tudo na vida é possível. À minha madrinha Oneide (*In memoriam*), pelo carinho e ensinamentos de vida. Aos meus Tios Dílson e Teresa (*In memoriam*), sempre presentes em minhas orientações,

OFEREÇO

À minha Esposa Juliana e aos meus Filhos Paulo Eduardo e João Pedro que me acompanharam em todos os momentos, me ofertando amor e alegria, colaborando para esta conquista. Às minhas irmãs Anne e Cristina, meu cunhado Alberto, minha sobrinha Marieta e minha afilhada Maria Júlia por estarem sempre ao meu lado em todos os momentos. Aos meus sogros Tarciso e Maria Helena e à minha cunhada Carolina, que torceram por esta conquista,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a **Deus**, pela vida e pela oportunidade de ter chegado neste momento acompanhado de uma família maravilhosa e de bons amigos.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – **ESALQ/USP** por fornecer todas as condições para a realização deste curso.

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia da Irrigação – **INCT-EI**, pelo apoio na finalização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – **CNPq**, pela bolsa concedida.

Ao Instituto **CENTEC** pela liberação para este curso.

Ao Prof. Dr. **José Antônio Frizzone**, meu orientador, pelos ensinamentos, amizade e parceria.

Ao Dr. **Luciano Mateos**, meu supervisor na Espanha, pela receptividade e confiança na realização de meu estágio sanduíche.

Ao Prof. Dr. **Francisco de Souza**, a quem devo meu despertar para a Ciência e a Tecnologia.

Ao Prof. Dr. **Raimundo Nonato Távora Costa**, meu primeiro orientador de pós-graduação, pelos ensinamentos.

Aos Tios **Oton e Celeste**, pelo amor e pelo exemplo de educação e formação.

A minha Tia **Olga**, pelas orações.

Ao meu Tio **Sílvio Carlos**, pelo apoio moral e financeiro e por confiar em meus sonhos.

A todos os meus **demais tios**, paternos e maternos, pelo afeto.

Aos meus primos **Douglas, André, Daniel, Luis César** e suas respectivas famílias, que estiveram bem próximos compartilhando os momentos de minha vida.

A todos os **primos** pela alegria e amizade.

Aos Professores Manoel **Valnir** Júnior e Raimundo Rodrigues **Gomes** Filho, pelas parcerias nos projetos e pela amizade.

Aos amigos **Almir, Luciandre, Ana Veras** e a todos os colegas do Instituto **CENTEC**, pela torcida no nosso sucesso.

Aos **alunos** do Instituto CENTEC, por acreditar que a irrigação é uma das soluções para o Nordeste brasileiro.

Aos amigos e **membros** do Instituto **INOVAGRI** por acreditar em um sonho.

Aos amigos **Claudio, Alexsandro e Jaedson**, pelo companheirismo e pela contribuição nesta tese.

Aos colegas de curso e de ESALQ/USP, **Marco Rosa, LÍlian, João Batista, Allan, Pedro, Osvaldo, Cícero, Valfísio, Tadeu, Marconi, Rodrigo Monteiro, Lucas Velame, Elenilson** e a todos os que cursam e que tiveram a oportunidade de passar por este excelente PPG.

Aos amigos brasileiros em Córdoba, Márcio e Grace, um apreço todo especial pelo acolhimento e pela amizade. Assim como aos demais amigos neste período na Espanha, Kim e Nazaré, André e Emi, Paulo e Andréa, Stanley e Michele, Antônio e Elaine, Cacá e Sílvia, Valdir e a todos que de alguma forma nos acompanharam no exterior em 2008, da forma que um bom brasileiro sabe fazer.

Aos colegas Espanhóis do IAS/CSIC: Helena Gomez-Macpherson, Elias Fereres, Davi Losano, Daniel Losano, MariSierra Fernandez, Ignacio, José Afonso, Oscar e aos colegas de outros países: Marrocos: Hachim e família, Mauritânia: Ahmed Baba e Itália: Pietro.

Ao amigo brasileiro Christopher Neale, pelo apoio inicial sobre nossa chegada em Córdoba.

Aos colegas espanhóis do Bairro Parque Cruz Conde: Mick, Sisto e Jesus

Aos funcionários e professores da ESALQ/USP.

Aos Piracicabanos e aos Cordobeses, pelo acolhimento meu e de minha família.

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	15
1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Desempenho da irrigação na região do estudo.....	19
2.2 Modernizações de áreas irrigadas e eficiência na irrigação	20
2.3. Avaliação do desempenho da irrigação em Perímetros Irrigados	27
2.4 Indicadores de Desempenho.....	30
2.5 Avaliação econômica da irrigação	32
2.6 Relação Benefício/custo de cada lote	34
2.7 Irrigação com déficit	35
2.8 Avaliação social e de adoção de tecnologia.....	37
2.9 Sistema de Informação Geográfica da Área Estudada	38
3 MATERIAL E MÉTODOS	41
3.1 Caracterização da área a ser estudada	41
3.2 Tamanho da área de estudo e principais cultivos	45
3.3 Avaliações hidrológicas e da irrigação da bacia estudada	46
3.3.1 Estação hidrológica	47
3.3.2 Instalação do aforador.....	48
3.3.3 Medida e registro do nível de água	49
3.4 Cálculo das necessidades de água dos cultivos	51
3.5 Balanço de água na área e índices de irrigação.	56
3.6 Sistema de Informação Geográfica da Área Estudada	59
3.7 Avaliação socioeconômica da área estudada	59
3.7.1 Avaliação econômica.....	59
3.7.2 Avaliação das receitas líquidas e brutas	60
3.7.3 Relação Benefício/Custo	61

3.7.4 Avaliação social e de adoção de tecnologia	62
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4.1 Sistema de Informação Geográfica da Área Estudada	63
4.2 Desempenho da irrigação	72
4.3 Avaliação social e entrevista.....	84
4.4 Relação Benefício/Custo e produtividade de água da área em estudo	87
5 CONCLUSÕES.....	91
REFERÊNCIAS	93
ANEXO	99

RESUMO

Análise do desempenho da irrigação em um projeto hidroagrícola no sul da Espanha, utilizando sistema de informação geográfica e avaliação socioeconômica

O Projeto de Irrigação Genil-Cabra (PIGC), Coletividade Santaella, está localizado na província de Córdoba-Espanha. Nesse Distrito avaliou-se a irrigação das campanhas de 2004/2005 e 2005/2006. Como complementações, foram realizadas entrevistas com os agricultores, objetivando determinar os custos de produção da área, a adoção das novas tecnologias, por parte da comunidade, a orientação do Sistema de Assessoramento ao Irrigante – SAR —, a produtividade e o consumo da água em cada parcela. Após a coleta dos dados, foram determinados indicadores, como a eficiência da irrigação, a produtividade da água e a relação benefício-custo do investimento. Para determinar a eficiência da irrigação, a pesquisa seguiu a metodologia utilizada por Mateos (2007). Como complementação a essa metodologia, foram introduzidas outras ferramentas, como DEM, SIG e entrevistas com os agricultores. No trabalho realizado por Fernandez et al. (2007), essa área estava dividida em 17 parcelas, denominadas recintos. Definiu-se uma nova delimitação da área, por meio de um DEM mais preciso e, após a nova delimitação e a realização da entrevista, identificou-se a necessidade de dividi-la em áreas de cadastro ou parcelas, com informações do produtor e do site oficial de cadastro. Dessa forma, a área passou a ter 33 parcelas, dando maior amplitude à pesquisa. Depois de entrevistar os agricultores e de comparar as informações com as ortofotos obtidas pelo site de cadastro, pôde-se identificar cultivos diferenciados dos citados por Fernandez et al. (2007). Esse fato foi importante para definir a eficiência do uso da água, visto que as áreas globais foram alteradas e, como exemplo, observou-se que o cultivo com oliveira foi menor do que o citado por Fernandez et al. (2007). Na campanha de 2005, tal cultivo ocupou uma extensão de 105,61 ha; já na de 2006, com o cultivo de novas áreas com oliveiras, esse valor passa para 112 ha, que contrastam com os 169,25 ha, calculados anteriormente. A eficiência da irrigação do ano da campanha de 2005 foi 81,99% e no de 2006, 90%, o mesmo encontrado por Fernandez et al. (2007), o que se justifica pela irrigação deficitária realizada no PIGC. Em relação à produtividade da água (PW), observa-se que os maiores valores foram detectados pela análise por recinto, tanto em 2005 quanto em 2006, justificadas pelo baixo volume de água demandado, observado nos sensores. No cálculo para a PW na parcela, usa-se, como denominador, a evapotranspiração da cultura, enquanto, no cálculo da PW do recinto, usa-se o volume de água que entra na área, ou seja, a água aplicada. Visto que a irrigação foi deficitária, então certamente haverá uma maior produtividade da água no nível do recinto. Os valores obtidos foram 4,06;0,37€ m⁻³ para recintos e parcelas (2005) e 6,60;0,27€ m⁻³ (2006). Esses valores são similares aos encontrados por Garcia-Vila et al. (2008) e Lorite et al. (2004b). Em relação à avaliação socioeconômica, pôde-se concluir que os irrigantes possuem plena consciência do uso correto da irrigação, porém não confiam nos dados do SAR, já que praticamente nenhum deles aceita a recomendação diária ofertada por esse serviço.

Palavras-chave: Eficiência da irrigação; Produtividade de água; Irrigação deficitária

ABSTRACT

Performance analysis of irrigation in a hydro-agricultural project in southern Spain, using Geographic Information System and socioeconomic evaluation

The Genil-Cabra irrigation scheme (GCIS), Coletividade Santaella, is located in Andalusia, southern Spain. This irrigation district has a strong run-government performance helping the private sector to do applied researches, whose investments brings good results to the farmers. It was evaluated the irrigation in 2004/2005 season and 2005/2006 season. To complement the work, it was done interviews with the farmers in the studied area to determine: production cost of the area, the technologies adoption, the orientation of farmer helping system (Servicio de Asesoramiento al Regante; SAR), the yield and water consumption in each parcel. After collecting all data it was made a study to determine indicators, such as irrigation efficiency, water productivity and cost/benefit relationship of the investments. To determine irrigation efficiency was followed the methodology used by Mateos (2007) complemented with the SIG and farmer interviews. In work made by Fernandez et al. (2007), this area was divided in 17 parcels called "recintos". It was defined a new area delimitation through a land digital model more precise, and after the new delimitation and the interviews, it was realized a necessity to divide them in record areas or parcels, it identified by the farmers and by the record official web. In this way, the area became has to 33 parcels, and it gives bigger range to research. After the farmer interviews and compared the information with the orthophotos obtained from the record web it was identified crops differentiated from Fernandez et al. (2007). This fact was important to define the water use efficiency, due the global areas were altered, for example, it was observed that olive cultivation was smaller than cited by Fernandez et al. (2007). In the 2005 season occupied an area of 105.61 ha, however in the 2006 season it was 112 ha due the increase in olive area, that contrasted with 169.5 ha calculated previously by Fernandez et al. (2007). The irrigation efficiency in the 2005 season was 81.99% and in 2006 was 90%, same values encountered by Fernandez et al. (2007), that is due the deficit irrigation realized in the GCIS. In relation to water productivity (WP), it was observed that the biggest values were detected by "recinto" analyze, both in 2005 and 2006 season, due to low water volume demanded, observed in the sensors. In the parcel WP calculation, it was used the crop evapotranspiration as denominator; however in the "recinto" WP calculation it was used the applied water. Since the irrigation was deficiency, then likely will have a bigger WP in the "recinto" level. The values obtained were 4.06;0.37(€ m⁻³) to "recintos" and parcels (2005) and 6.60;0.27(€ m⁻³) to "recintos" and parcels (2006). These results are similar to encountered by Garcia-Vila et al. (2008) and Lorite et al. (2004b). In the socio-economic evaluation from the area could be concluded that irrigators have a full conscience of irrigation correct use, however they don't trust in the SAR database, since most of them don't accepted the diary recommendation offer by this service.

Keywords: Irrigation efficiency; Water productivity; Deficit Irrigation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Placa de entrada do escritório da Comunidade de Irrigantes Genil-Cabra e via de acesso a área irrigada.	41
Figura 2 - Canal Principal do Distrito de irrigação Genil-Cabra. Fernandez et al. (2007).	42
Figura 3 - Área irrigada na Coletividade de Santaella.	44
Figura 4 - Evolução dos cultivos na Coletividade Santaella. Mateos (2007).	45
Figura 5 - Pontos de coletas dos sensores. Fernandez et al. (2007).	47
Figura 6 - Dimensões do aforador da área estudada. Mateos (2007).	49
Figura 7 - Instalação do aforador no canal.	49
Figura 8 – Esquema da sonda utilizada.	50
Figura 9 – Sonda instalada sobre aforador após a tormenta que causou a sua inutilização.	50
Figura 10 – Planilha de cálculo utilizada para cada cultivo proposta por Mateos (2007).	52
Figura 11 – Planilha de cálculo (dados climáticos e de irrigação) utilizada para cada cultivo, proposta por Mateos (2007).	53
Figura 12 – Planilha de cálculo (Balanço de água e calendário) utilizada para cada cultivo proposta por Mateos (2007).	53
Figura 13 – Planilha de cálculo (Gráficos de Kc) utilizada para cada cultivo proposta por Mateos (2007).	54
Figura 14 – Planilha de cálculo (Gráficos de ET) utilizada para cada cultivo proposta por Mateos (2007).	54
Figura 15 – Planilha de cálculo (Gráficos de balanço de água) utilizada para cada cultivo proposta por Mateos (2007).	55
Figura 16 – Planilha de cálculo (Gráficos de Kc) utilizada para cada cultivo proposta por Mateos (2007).	55
Figura 17 – Planilha de cálculo (Resultados) proposta por Mateos (2007).	56
Figura 18 - Site de cadastro com imagem da parcela 45-41.	64

Figura 19 - Site de cadastro com imagem da parcela 45-41 apresentando a ortofoto SIGPAC.	64
Figura 20 - Site de cadastro com imagem da parcela 45-41 apresentando a orto foto SIGPAC distanciada para definir melhor a localização entre as parcelas vizinhas.	65
Figura 21 - Dados da parcela 45-41 disponibilizados pelo site.	65
Figura 22 - Área da bacia delimitada por Fernandez et al. (2007).	66
Figura 23 - Área da bacia delimitada após o DEM.	67
Figura 24 - Áreas da bacia de estudo.	67
Figura 25 - Área da bacia sobre a ortofoto.	68
Figura 26 - Nova área com delimitação por Cadastros.	69
Figura 27 - Nova área da bacia com cultivos de 2005.	70
Figura 28 - Nova área da bacia com cultivos de 2006.	70
Figura 29 - Nova área por delimitação de Recintos.	71
Figura 30 – Evapotranspiração nos períodos 2001-2007 e 2004-2005.	75
Figura 31 - Evolução da precipitação, da irrigação e do escoamento superficial durante a campanha da irrigação em 2005.	76
Figura 32 - Evolução dos parâmetros acumulados que definem o comportamento da área de estudo durante um ano de acompanhamento 2004/2005.	77
Figura 33 - Evolução dos parâmetros acumulados que definem o comportamento da área de estudo durante um ano de acompanhamento 2005/2006. Fernandez et al. (2007).	78
Figura 34 - Produtividade da água (€ m^{-3}) por parcela no ano de 2005.	82
Figura 35 - Produtividade da água (€ m^{-3}) por recinto no ano de 2005.	82
Figura 36 - Produtividade da água (€ m^{-3}) por parcela no ano de 2006.	83
Figura 37 - Produtividade da água (€ m^{-3}) por recinto no ano de 2006.	83
Figura 38 - Fluxograma de atuação do SAR no envio de informações ao irrigante.	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição da superfície das parcelas da Coletividade Santaella (Fernandez et al., 2007)	43
Tabela 2 - Resumo dos Recintos e das áreas de Cadastros	72
Tabela 3 - Resumo dos cálculos para definir o consumo de agua no recinto	74
Tabela 4 - Dados necessários para o cálculo do desempenho da irrigação em 2004/2005	75
Tabela 5 - Indicadores de desempenho da irrigação na área estudada - período 2004/2005	75
Tabela 6. Indicadores da irrigação na área estudada, período 2005/2006. Fernandez et al. (2007)	77
Tabela 7 – Produtividade de água recinto e parcela no ano 2005	80
Tabela 8 – Produtividade de água por recinto e parcela no ano 2006	81
Tabela 10 – Relação benefício-custo por parcela no ano 2005	88
Tabela 11 – Relação benefício-custo por parcela no ano 2006	89

Em momentos de crise, só a imaginação é
mais importante que o conhecimento.

Albert Einstein

Se tiveres que lidar com água, consulta
primeiro a experiência, depois a razão.

Leonardo Da Vinci

1 INTRODUÇÃO

O manejo de irrigação tem sido, ao longo do tempo, negligenciado pelos planejadores públicos, que têm dispensado pouca atenção ao assunto, principalmente nos estados nordestinos do Brasil, onde, até hoje, pouco crédito é dado a essa atividade. Em se tratando dos perímetros públicos de irrigação brasileiros, eles são alvo de constantes tentativas de modernização mal-sucedidas, já que geralmente, não obtêm retorno do investimento realizado. Talvez o maior desafio não seja nenhuma tecnologia de irrigação nova, mas a busca por maneiras de reduzir as grandes diferenças em eficiência técnica, rendimento e produtividade da água, entre as que podem ser encontradas dentro dos sistemas de irrigação, sejam eles novos ou antigos.

Na Espanha, o Projeto de Irrigação Genil-Cabra (PIGC), Coletividade Santaella, está situado a 30 km do centro de Córdoba, onde o IAS/CSIC tem uma grande atuação em pesquisa e difusão tecnológica. Nesse Distrito de Irrigação, existe uma forte atuação do setor público, auxiliando o setor privado para viabilizar pesquisas aplicadas, de cujos resultados os produtores são os maiores beneficiados. Essa experiência o autor teve a oportunidade de vivenciar durante o ano de 2008.

De posse de dados da irrigação pré-existentes de uma área irrigada, foram avaliadas a irrigação das campanhas de 2004/2005 e de 2005/2006. Como complementação ao trabalho, foi utilizado um modelo digital de terreno, produzido pelo governo da Andaluzia, por meio do qual foi possível definir uma melhor delimitação da área que contribuiria com o estudo; um novo sistema de informação geográfica também foi elaborado e, para complementar a análise, foram realizadas entrevistas com os agricultores da área estudada, objetivando determinar os custos de produção na área, a adoção das novas tecnologias por parte da comunidade, a orientação do Sistema de Assessoramento ao Irrigante – SAR —, a produtividade e o consumo da água em cada parcela.

Após a coleta de todos os dados, foram realizados estudos dos dados para determinar indicadores, como a eficiência da irrigação, a produtividade da água e outros índices econômicos da irrigação. Esta pesquisa seguiu a metodologia utilizada por

Mateos (2007) para avaliar a irrigação deficitária, que poderá ser alvo de aplicação em outras áreas irrigadas brasileiras.

Desse modo, o objetivo deste trabalho foi utilizar ferramentas como: metodologia de cálculo do balanço de água no solo, modelo digital de terreno, sistema de informação geográfica e entrevista aos agricultores para analisar a eficiência do uso da água de irrigação em uma área de um distrito de irrigação do sul da Espanha.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Desempenho da irrigação na região do estudo

O Projeto de Irrigação Genil-Cabra (PIGC), Coletividade Santaella, vem sendo estudado ao longo dos últimos anos pelo Instituto de Agricultura Sustentável (IAS/CSIC), bem como pela Universidade de Córdoba e por outras instituições de pesquisa. Esse projeto sempre vem obtendo apoio nas pesquisas por parte da Comunidade de Irrigantes, através do Serviço de Assessoramento ao Irrigante – SAR. A Comunidade Santaella começou a atuar na campanha de irrigação de 1990/1991 sobre uma área de 2.663 ha, ampliada para cerca de 6.900 ha em 1993/1994, e que se mantém constante até o presente, ocupando 45% da área do PIGC, onde trabalham 47% dos agricultores (INSTITUTO ANDALUZ DE INVESTIGACIÓN Y FORMACIÓN AGRARIA, PESQUERA, ALIMENTARIA Y DE LA PRODUCCIÓN ECOLÓGICA - IFAPA, 2005).

A água subterrânea nessa área é pouco utilizada, devido à alta salinidade e à dificuldade de acesso a essas fontes. Em tais circunstâncias, mesmo durante os períodos de seca, os agricultores não consideram o uso de águas subterrâneas (GARCIA-VILA, 2008).

Lorite et al. (2004a) realizaram uma série de avaliações da irrigação no PIGC e identificaram que a irrigação era realizada com déficit e, portanto, apresentava alto valor de eficiência. Lorite et al. (2004b), nessa mesma área, definiram a variabilidade dos indicadores utilizados entre as culturas e as parcelas de cultivo.

Um estudo hidrológico da área também foi realizado por Lorite et al. (2005), com base na premissa de que a gestão na agricultura irrigada é uma condição indispensável para a conservação de água na agricultura. Os autores realizaram uma análise detalhada do desempenho da irrigação de cerca de 840 parcelas, no período de 1996 a 2000. A produtividade da água (PW) foi mais elevada para os cultivos de alho e oliveira, variando de 1,13 euro m⁻³ a 6,52 euros m⁻³, enquanto, para as culturas de campo, como o milho, essa variação foi menor (média dos 4 anos de 0,28 euro m⁻³) e mais elevada na beterraba (média dos 4 anos de 1,04 euro m⁻³).

García-Vila et al. (2008) avaliaram o PIGC por meio de entrevistas com 50 irrigantes, escolhidos aleatoriamente, entre os 541 em atividade. O questionário apresentado revelou algumas das causas do pequeno volume de irrigação utilizado, que foram, principalmente, associadas à tentativa de equilibrar a rentabilidade e a estabilidade da produção agrícola e à falta de incentivos para maximizar a produtividade de culturas subvencionadas pela Política Agrícola Comum (PAC) da União Européia. A resposta à escassez de água também foi definida através de entrevistas que demonstraram que a mudança na escolha das culturas é a primeira reação, para se antecipar à restrição no fornecimento de água.

Fernandez et al. (2007) avaliaram o desempenho da irrigação e a contaminação difusa dessa área por agroquímicos, durante a campanha de 2005/2006, utilizando a metodologia de Duarte (2006), aplicada em Portugal. Os autores não obtiveram conclusões satisfatórias para a contaminação difusa, porém verificaram que a área utiliza irrigação deficitária com alto índice de eficiência.

Lorite et al. (2008) concluíram que a utilização do coeficiente de cultivo (K_c), apresentado pelo Manual FAO 56 na região de Andaluzia, pode provocar estresse hídrico à cultura da beterraba e excesso de água no cultivo do milho, neste caso, ocasionando perdas de água e reduzindo a produção.

Mateos (2007) desenvolveu metodologia para avaliar os indicadores de desempenho da irrigação, em condições de déficit hídrico, a qual está sendo utilizada no Projeto de Irrigação Genil-Cabra, assim como é utilizada em diversas pesquisas na Espanha, principalmente em áreas irrigadas às margens do Mediterrâneo. A base da metodologia é a realização do balanço hídrico climatológico, para determinar a evapotranspiração das culturas em condições deficitárias de irrigação.

2.2 Modernizações de áreas irrigadas e eficiência na irrigação

De acordo com Frizzone (2005), o êxito esperado da agricultura depende de muitos fatores, dentre os quais, ressalta os fertilizantes, os defensivos e os herbicidas, as sementes de bom potencial genético, a maquinaria e os implementos agrícolas adequados e oportunamente disponíveis, a facilidade de crédito e de comercialização

dos produtos, a disponibilidade de mão-de-obra durante todo o ciclo da cultura, a pesquisa aplicada, a assistência técnica contínua e permanente, a educação ambiental e, finalmente, a capacitação e a organização dos agricultores. Segundo o autor, o investimento na irrigação mobiliza certa quantidade de capital que poderia ser empregada em outra atividade. O uso de recursos limitados numa direção (por exemplo, o investimento em indústria) reduz os recursos para o uso em outra direção (o investimento em agricultura, por exemplo). A busca de um objetivo (melhor distribuição de renda) pode envolver o sacrifício de outros objetivos (crescimento rápido). Se um país escolher, coerentemente, a alocação de recursos que consigam o máximo em termos desses objetivos garantirá o melhor emprego possível de seus recursos limitados.

Oportunidades para melhorar o desempenho dos sistemas de irrigação, sem dúvida, existem, mas são cada vez mais difíceis de conseguir, e raramente da magnitude sugerida em debates populares (PERRY et al., 2009). De acordo com estes autores, não há uma resposta simples para a pergunta "Qual método de irrigação é o melhor? ". O Irrigation and Drainage Division of the American Society of Civil Engineers (BURT et al., 1999) fornece uma referência que aborda essas complexidades. Tecnologia de irrigação é muitas vezes uma escolha ao nível de parcela, e é adequado considerar a perspectiva do agricultor com cuidado nas opções de entendimento e impactos. Agricultores investem em melhorias na tecnologia de irrigação por várias razões, incluindo: (a) aumento da renda; (b) aversão ao risco/segurança alimentar: os agricultores podem mudar de agricultura de sequeiro para irrigação para reduzir as incertezas associadas com os padrões de precipitação incerta; (c) conveniência: um agricultor pode não querer acordar no meio da noite para irrigar e fertirrigar, já que ele pode ser capaz de distribuir os fertilizantes com maior precisão e com maior economia através de sistemas de fertirrigação; (d) redução de custos: um agricultor pode economizar custos de bombeamento se as perdas de distribuição são reduzidas.

A eficiência técnica da irrigação, que é a forma de realizar as mesmas atividades, mas usando pouca água, é a alternativa preferida pelos tomadores de decisões, quanto ao problema da escassez de água. Para avaliar o efeito da eficiência técnica numa determinada sociedade, requer-se uma discussão sobre a produtividade da água, que

pode ser expressa como produção agrícola por unidade de volume de água (PLAYÁN; MATEOS, 2006). De acordo com esses autores, a modernização dos sistemas de irrigação oferece várias possibilidades para ampliar a produtividade da água. Essa idéia originalmente se restringia à introdução de novas infraestruturas e de equipamentos. Agora, a modernização é entendida como uma fundamental transformação no manejo dos recursos hídricos, que combina mudanças nas regras e nas estruturas institucionais, no serviço de abastecimento de água, nos calendários de irrigação e nos serviços de orientação e de treinamento, além da introdução de tecnologias e de equipamentos modernos.

Playán e Mateos (2006) verificaram que, em grandes e antigos distritos de irrigação da Espanha, foram incentivadas técnicas de manejo para reduzir o consumo excessivo de água de determinadas culturas; como resultado, obtiveram uma considerável economia de água, com praticamente a mesma produtividade das culturas. Isso apenas com a orientação e a reeducação dos agricultores. Existe, na agricultura irrigada, muito mais do que apenas produção de alimento e de fibras. A irrigação é que mantém a água ligada ao meio rural, fixa a população em áreas desertas e contribui fundamentalmente para o valor social da água.

Burton et al. (1999) consideram que a melhoria da eficiência da irrigação deve atender a uma análise holística das fases que constituem o processo. A aproximação holística, tão necessária para entender a agricultura irrigada, é incorporada através da consideração de todos os fatores que podem influenciar na forma como a água é usada, sejam eles técnicos, econômicos, políticos, sociais, sejam ambientais. A análise pode ser posteriormente refinada pela ponderação do impacto de cada fator que influencia o uso da água em uma dada situação.

Jensen (2007) cita a definição de eficiência dada pelo Webster's Unabridged Dictionary: **eficiência** é (1) a habilidade para produzir o efeito desejado com o mínimo esforço, custo, ou desperdício; (2) a razão entre o trabalho efetivo realizado e a energia despendida para a produção, como uma máquina; saída dividida pela entrada. **Eficiente** foi definido como o que produz o efeito ou resultado desejado, com o mínimo de esforço, de custo ou de desperdício.

Quando aplicado à irrigação, o tradicional termo **eficiência da irrigação** (a razão entre a água consumida pelo processo de ET do cultivo e a água derivada de um rio ou de outra fonte natural), conforme definido por Israelsen (1950), é parcialmente aplicável ao considerar-se a água consumida (ET da cultura) na produção do efeito desejado (produção da cultura). É um termo inapropriado, ao considerar como desperdício a água que não foi consumida pelo processo de ET. Se o custo é o principal critério considerado, então um sistema de irrigação por superfície, manejado adequadamente, pode ser mais eficiente que um sofisticado sistema de aspersão ou de microirrigação. Jensen (2007) salienta que o desempenho de um sistema de irrigação pode ser mais bem caracterizado, em relação ao uso dos parâmetros de eficiência, pela descrição da produtividade física ou econômica do sistema. Também propõe que a eficiência da irrigação, conforme definida por Israelsen (1950), seja denominada de Coeficiente de Uso Consuntivo. Um sistema ou projeto de irrigação pode servir a outras necessidades agrícolas, além de satisfazer a demanda por ET das culturas (HEERMANN et al., 1992).

De acordo com Frizzone (2003), a qualidade da irrigação é expressa por alguns parâmetros de desempenho, nomeados, basicamente, por três palavras-chave: uniformidade, eficiência e grau de adequação. O termo uniformidade refere-se aos parâmetros de desempenho, associados à variabilidade da lâmina de irrigação aplicada. É uma grandeza que caracteriza todo o sistema de irrigação e intervém no seu projeto, tanto agrônômico, pois afeta o cálculo da quantidade de água necessária à irrigação, quanto hidráulico, pois, em função dela, se definem o espaçamento entre os emissores de água, a vazão do sistema e o tempo de irrigação. Em inglês, o termo correspondente é *uniformity*. O termo eficiência é utilizado para identificar parâmetros que, através de uma razão entre quantidades de água envolvidas no processo de irrigação, expressam um balanço entre os seguintes volumes de água: (a) derivado da fonte de suprimento; (b) aplicado à parcela; (c) necessário à planta; (d) armazenado no solo à profundidade efetiva das raízes; (e) evaporado e derivado pelo vento e (f) percolado e escoado superficialmente para fora dos limites da área cultivada. Assim compreendido, o termo corresponde à tradução literal do vocábulo inglês *efficiency*. O grau de adequação foi proposto para expressar o quanto o sistema de irrigação satisfaz, em termos de fração de área que está recebendo água, a condição de achar-se em conformidade com as

necessidades da lavoura, para manter a qualidade do produto e a produtividade vegetal em um nível econômico. Adequacy é o termo inglês, proposto para expressar o grau de adequação de um sistema de irrigação às suas específicas condições de utilização, de maneira a satisfazer, de forma conveniente, o seu usuário.

De acordo com Burt et al. (1997) e Solomon e Burt (1999), entende-se que a partição da água aplicada por irrigação quanto à possibilidade de recuperação para uso é feita da seguinte forma:

(a) Uso consuntivo – é a quantidade total de água absorvida pelas plantas para transpiração e constituição dos tecidos, mais a evaporação da água do solo e da água interceptada pela vegetação. Assim, toda água em trânsito para a atmosfera, pelos processos de evaporação e transpiração (ET), ou que permanece nos tecidos das plantas e nos produtos colhidos (água de constituição), é irre recuperável. Esse uso denomina-se consuntivo. Alguns usos consuntivos são:

- Evapotranspiração das culturas;
- Evapotranspiração das ervas daninhas;
- Evaporação da água espalhada pelos aspersores;
- Evaporação de reservatórios;
- Evaporação do solo úmido;
- Água exportada com o produto etc.

(b) Uso não-consuntivo – É a água que, de alguma forma, transita para fora da área de cultivo, mas não se perde para a atmosfera na forma de vapor. A água de uso não-consuntivo pode ser reutilizada na própria área, ou em outra área de jusante na bacia hidrográfica, ou pode retornar à fonte. Está relacionado à água que se drena abaixo da zona radicular, à água que escoam superficialmente e à que se infiltra nos canais. Alguns usos não-consuntivos são:

- Água para lixiviação de sais no perfil do solo;
- Percolação profunda em excesso;
- Escoamento superficial;
- Infiltração em canais e vazamento em tubulações etc.

Segundo os autores, a partição da água de irrigação, quanto aos benefícios agronômicos, é feita como segue:

(a) Usos benéficos – o uso benéfico de água, por definição, pressupõe consumi-la para a produção das culturas. Assim, a água consumida para atingir um determinado objetivo agronômico é considerada água benéfica. São exemplos: a água consumida no processo de evapotranspiração, a utilizada para lixiviar o excesso de sais do solo, para o controle climático, para a preparação do leito de semeadura, para a germinação das sementes, para o umedecimento do solo, com o objetivo de quebrar a costa superficial e de facilitar a emergência das plântulas;

(b) Usos não-benéficos – o uso não-benéfico refere-se à fração da água aplicada sem objetivo agronômico. São exemplos o excesso de percolação profunda, em relação à necessária para remover os sais; o excesso de escoamento superficial, na evapotranspiração de ervas daninhas; a evaporação desnecessária da água na superfície de solo úmido de áreas vizinhas à área cultivada; a deriva, pelo vento, além dos limites da área cultivada. A aplicação de água não é perfeitamente uniforme e, por isso, em alguma fração da área irrigada ocorre excesso de água e percolação; todo excesso à necessidade de irrigação é considerado uso não-benéfico.

Todos os usos benéficos da água são considerados razoáveis, entretanto, os usos não-benéficos podem ser considerados razoáveis e não-razoáveis. Os usos não-benéficos razoáveis são aqueles que podem ser justificados em condições, lugares e momentos particulares. Exemplos são a evaporação de reservatórios, a evaporação do solo úmido, a evaporação da água aplicada por aspersores, a água de lavagem de filtros, alguma percolação decorrente da não-uniformidade de aplicação de água pelo sistema de irrigação. Os usos não-benéficos não-razoáveis são aqueles que não possuem justificativas técnica, econômica, social e ambiental. A seguir, resumem-se os tipos de uso de água de irrigação:

Usos benéficos da água

- Evapotranspiração das culturas;
- Evapotranspiração de plantas benéficas (quebra-ventos, cobertura e proteção do solo, habitat para insetos benéficos);

- Água contida no produto colhido e nos tecidos vegetais;
- Água utilizada para a remoção de sais do solo;
- Água utilizada para o controle do clima;
- Água utilizada para a preparação do solo e o plantio;
- Água utilizada para a quebra da crosta superficial do solo, de modo a facilitar a emergência;
- Água utilizada para a aplicação de pesticidas e fertilizantes etc.

Usos não-benéficos da água

Usos Razoáveis

- Evaporação de reservatórios e canais;
- Alguma evaporação de solo úmido;
- Alguma evaporação da água aplicada por aspersão;
- Alguma água utilizada em lavagem de filtros;
- Água para satisfazer algum propósito ambiental;
- Água necessária para manter o padrão de qualidade dos drenos;
- Alguma percolação por incertezas no manejo da irrigação;
- Alguma percolação pela não-uniformidade de aplicação do sistema de irrigação;
- Perdas que podem ser antieconômicas, se evitadas etc.

Usos não-razoáveis

- Percolação profunda excessiva;
- Deflúvio superficial excessivo;
- Evaporação de solo úmido irrigado fora dos limites da área cultivada;
- Vazamentos em tubulações;
- Vazamentos e infiltração em canais.

Muitas vezes, ao analisar a produção de culturas não é feita distinção entre transpiração (uso benéfico) e evaporação do solo e outras superfícies, consumo de água devido a dificuldades de ordem prática para estimar ou medir-los separadamente

(usos não benéficos). Por isso, muitas vezes o consumo de água da cultura é relatado como evapotranspiração (ET) (PERRY et al., 2009). Segundo estes autores, a formulação de muitas das críticas populares da irrigação é simplista e falaciosa. A distinção entre usos consuntivos e não-consuntivos, benéficos e não-benéficos é identificar a medida na qual a água que não é consumida pode ser recuperada para o uso produtivo em outros lugares. Essa terminologia é fundamental para a análise racional do desempenho dos sistemas de irrigação e das possibilidades de melhoria.

2.3 Avaliação do desempenho da irrigação em Perímetros Irrigados

Para melhorar o manejo da irrigação, é necessário estabelecer procedimentos para a avaliação do desempenho dos sistemas. A teoria do manejo requer que os objetivos sejam identificados e definidos, as metas sejam fixadas e as medidas e os indicadores de desempenho, usados para monitorar a consecução das metas e, por conseguinte, os objetivos. A inadequação dos procedimentos para avaliar o desempenho foi identificada por pesquisadores nos meados dos anos 80, quando eles estudaram como se manejavam os sistemas de irrigação. Desde então, muitos trabalhos de avaliação de desempenho foram conduzidos. Ainda serão necessárias pesquisas para identificar medidas práticas para atender às demandas da avaliação de desempenho de diferentes tipos de sistemas de irrigação e de drenagem. A disseminação dessas informações, por meio de um formato utilizável pelos técnicos da extensão rural e pelos irrigantes, é crucial para proporcionar a melhoria no manejo e no uso da água (FRIZZONE, 2007)

A caracterização dos tipos de sistemas de irrigação está associada às questões do desempenho. Se as soluções para o baixo desempenho estão sendo aplicadas a outros sistemas, além daqueles para os quais as pesquisas foram conduzidas, é necessário um procedimento para descrever e categorizar os sistemas, de forma que as soluções potenciais possam ser transferidas.

Uma das mais surpreendentes características do manejo dos sistemas de irrigação públicos é a aceitação tácita de que pouco ou nada pode ser feito, em muitos projetos de gestão governamental, para relacionar os salários e a remuneração ao

desempenho dos projetos de irrigação, ou seja, é inerente à crença de que os funcionários públicos não podem ser recompensados pelas suas ações e pelo desempenho de um projeto de irrigação. Isso é que faz o Banco Mundial e outras agências de financiamento forçarem os governos a mudar ou a privatizar os projetos de irrigação. Existe espaço para idéias inovadoras, para sugerir novas formas de remuneração aos técnicos de agências públicas, visando ao bom desempenho dos projetos, em vez de fechar os olhos e seguir, corrupto, com práticas injustas. Sob esse foco, muitas oportunidades valiosas, identificadas pela pesquisa, podem falhar ao serem implementadas (BURTON; KIVUMBI; EL-ASKARI, 1999).

O desempenho pode ser avaliado para melhorar a operação do sistema, para verificar o progresso em função de metas estratégicas, para observar a situação geral do projeto, para avaliar os impactos de intervenções, para diagnosticar intervenções, para melhor entender os determinantes do desempenho e comparar o desempenho de um perímetro a outros, ou para verificar o mesmo perímetro ao longo do tempo (MOLDEN, 1998 citado por DIÓGENES, 2008).

Pesquisadores tendem a avaliar o desempenho de sistemas irrigados de forma bastante detalhada; entretanto o nível de detalhes dentro do processo de desempenho depende do propósito da avaliação, havendo, portanto, a necessidade de se definir um conjunto de indicadores (BRITO; BOS, 1997).

O monitoramento desses indicadores é um instrumento de grande importância para a tomada de decisões, uma vez que permite acompanhar a evolução do desempenho, ao longo do tempo, adotar medidas corretivas necessárias e, no caso específico das atividades de operação e de manutenção, comparar os indicadores com os de perímetros similares (DIÓGENES, 2008).

Medeiros et al., (2003) simularam a demanda de irrigação utilizando o balanço de água no solo para todo o Perímetro Irrigado de Pirapora – MG, considerando as especificidades de cada lote. Os resultados dos volumes de água, obtidos por meio das simulações, foram integralizados mensalmente e comparados com os volumes de água medidos nos hidrômetros de cada lote. Os resultados obtidos permitiram concluir-se que: ocorreu uma aplicação excessiva de água em todo o perímetro, porém em dois

meses do ano avaliado a irrigação foi deficiente. Os autores recomendaram a implantação de um plano de manejo de irrigação que vise à otimização do uso de água.

Lima et al. (2007) analisou a possibilidade de reativação do Perímetro Irrigado de Gravatá, utilizando modelo de otimização para verificação da sustentabilidade hídrica dos reservatórios e o comportamento hídrico do sistema, através de análises, para diversos cenários climáticos e de um horizonte de planejamento.

Hellegers et al. (2009) apresentaram um método inovador, que combinaram uma técnica de sensoriamento remoto à análise socioeconômica, para avaliar as implicações das decisões políticas sobre a produtividade da água. Na parte técnica, a variabilidade na produtividade da água das culturas (CWP) foi analisada com base no consumo real da água e na produção de biomassa associada, utilizando o Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL). De acordo com o autor, isso gerou grande contribuição para a análise socioeconômica, que visou quantificar a produtividade econômica da água (EWP) advinda das decisões políticas para alocar a água de uma forma social ótima. A utilidade de tal abordagem foi mostrada no trabalho realizado na bacia Inkomati, na África do Sul. Os custos de oportunidade, em termos de rendimento EWP e de decisões para desviar água da agricultura, são avaliados. Os resultados mostraram que o desvio da água longe de culturas com uma baixa CWP não é sempre a melhor relação custo-eficácia, em termos de rendimento EWP.

Mateos (2008) define uma série de expressões como Coeficiente de Uso Consuntivo da Irrigação (ICUC), que levam em consideração a reutilização da água de irrigação em sistemas em série e em paralelo. Para este autor, essas expressões constituem um quadro conceptual para a avaliação, planejamento e políticas de gestão no âmbito de um novo paradigma de gestão integrada dos recursos. As decisões sobre novos empreendimentos de irrigação ou sobre reabilitação e modernização dos sistemas de irrigação existentes precisam ser baseadas neste tipo de análise. Além disso, estas expressões podem ser a base para modelos mais complexos aplicável à avaliação de desempenho de qualquer tipo de sistema de irrigação. Fórmulas para análise de sistemas de irrigação alimentado por um aquífero não foram incluídos neste estudo, mas sua derivação não deve ser difícil.

A relação entre a biomassa e a transpiração é essencialmente linear para uma dada cultura e clima. O aumento da produtividade de água da biomassa pode ser conseguido através da melhoria do estado nutricional, crescimento da cultura durante a estação mais úmida, ou por meio de melhoramentos genéticos (PERRY et. al., 2009). De acordo com estes autores, o melhoramento de plantas proporcionou ganhos de produtividade substanciais nas últimas décadas, aumentando a proporção de biomassa e grãos, reduzindo o período de crescimento e reprodução das culturas que toleram temperaturas mais baixas. As técnicas disponíveis de modificação genética das plantas são mais promissoras, em termos de redução do impacto das doenças e pragas e, possivelmente, em termos de uma maior tolerância à seca. Entretanto, até o momento a relação fundamental entre transpiração e biomassa não foi alterado. As interações identificadas no trabalho deste autores sugerem que, quando a gestão agrícola é relativamente boa e a água é escassa, as intervenções no manejo da água, por vezes, resultam em um jogo de soma aproximadamente zero: reduzindo as perdas em um lugar reduzirá a disponibilidade em outros lugares, e os aumentos na produção vegetal são acompanhados por um aumento proporcional ao consumo de água.

2.4 Indicadores de Desempenho

Indicadores de desempenho têm sido um componente da prática de irrigação, desde que o homem começou a controlar a água para aumentar a produção de alimentos. Os antigos egípcios monitoravam o nível de água do rio Nilo para saber qual área poderia ser irrigada, de modo a prevenir-se de enchentes e da falta de alimentos (BOS et al., 1994).

Diversos autores usaram os indicadores de desempenho para avaliar tendências na gestão da rega (DROOGERS et al., 2000; DECHMI et al., 2003). De acordo com Garcia-Vila et al. (2008), um dos indicadores de desempenho mais popular na irrigação tem sido o PW. Análises recentes têm utilizado o PW benchmarking para as diferenças no manejo da irrigação entre as diversas regiões (MOLDEN; SAKTHIVADIVEL, 1999), para avaliar o desempenho dentro de um sistema de irrigação (LORITE et al., 2004b), e

para discutir medidas de modernização e de otimização dos sistemas de irrigação (PLAYÁN; MATEOS, 2006).

Segundo International Water Management Institute - IWMI (1999), indicadores de desempenho comparativos permitem observar o desempenho da agricultura irrigada e podem ser utilizados como ferramenta para medir o desempenho relativo, ou para acompanhar o desempenho dos perímetros irrigados.

De acordo com Brito e Bos (1997), existe uma carência de metodologias de avaliação de perímetros, com enfoque global, ou seja, que possam fornecer uma idéia ampla sobre o desempenho dos perímetros, a partir de diferentes perspectivas. A falta de metodologias que permitam avaliar o desempenho de projetos, além de não possibilitar uma avaliação objetiva e sistemática, contribui para a manutenção deficitária dos perímetros, uma vez que não se dispõe de ferramentas para identificar onde estão os entraves e propor intervenções para corrigi-los.

O número de indicadores que se utilizará depende do nível de detalhes com o qual se necessita quantificar o desempenho, podendo um bom indicador ser usado de dois modos distintos. Por exemplo, quando ele informa como está o desempenho do projeto, em conjunto com outros indicadores, poderá auxiliar a identificação do curso correto de ações para melhorar esse desempenho. Dessa forma, o uso do mesmo indicador ao longo do tempo é importante, porque auxilia na identificação de tendências que se deverão rever, antes que medidas reparadoras se tornem muito caras ou complexas (BOS, 1997 citado por DIÓGENES, 2008). Segundo o autor, um verdadeiro indicador inclui um valor real e um valor planejado e permite a avaliação da divergência entre ambos, podendo, assim, avaliar-se se a divergência é aceitável ou não. Portanto é desejável expressar os indicadores na forma de uma razão entre a situação medida realmente e a situação pretendida ou planejada. Tais indicadores são utilizados para mostrar relações e tendências e serão úteis na identificação das situações que demandam estudos mais detalhados.

Mateos (2008) define expressões para o cálculo de indicadores de desempenho em sistemas de irrigação, dispostos em série e em paralelo, com uma única fonte e várias oportunidades para reuso de água. De acordo com o autor, apesar das críticas recentes, o conceito clássico de eficiência da irrigação ainda é válido se for

devidamente utilizado no contexto de múltiplas unidades de irrigação. Na verdade, ele continua a ser adequado para analisar o desempenho dos sistemas de irrigação compostos de unidades múltiplas, dispostas em diferentes configurações. O primeiro passo para a avaliação do desempenho da irrigação deve ser uma definição clara das fronteiras do sistema de interesse. Intervenções ou práticas de irrigação que melhoram o desempenho do sistema à escala de um determinado domínio podem ter pouco ou nenhum impacto no desempenho da irrigação em outras escalas.

Segundo Perry et al. (2009), para entender melhor como as culturas, os ambientes agroclimático e as diferentes práticas de manejo podem influenciar na relação entre a produção agrícola e o consumo de água, pode-se definir a produtividade de água para uma cultura (WP) como a razão entre a quantidade produzida e a quantidade de água consumida para obter essa produção. Além disso, a definição da produtividade da água precisa ser específica, indicando qual o produto (ou o rendimento da biomassa) e qual o consumo por transpiração (ou evapotranspiração). Assim, pode-se expressar a produtividade da água de uma cultura (WP) como: (a) Produtividade de água da biomassa referida à transpiração: $WP(T) = (\text{kg de biomassa})/(\text{m}^3 \text{ de água transpirada})$; (b) Produtividade de água da biomassa referida à evapotranspiração: $WP(ET) = (\text{kg de biomassa})/(\text{m}^3 \text{ de água evapotranspirada})$; (c) Produtividade de água da biomassa relativo ao rendimento, referida à transpiração: $WP(T) = (\text{kg de Rendimento utilizável})/(\text{m}^3 \text{ de água transpirada})$; Produtividade de água da biomassa relativo ao rendimento, referida à evapotranspiração: $WP(ET) = (\text{kg de Rendimento utilizável})/(\text{m}^3 \text{ de água evapotranspirada})$

Ali e Talukder (2008) apresentam uma síntese do incremento em produtividade da água na agricultura e concluem que novos dados científicos são necessários para melhorar os ganhos econômicos de WP porque as melhorias futuras em WP parecem ser mais limitadas por razões econômicas do que pela falta de meios tecnológicos.

2.5 Avaliação econômica da irrigação

Effertz et al. (1993) consideram de suma importância a utilização de indicadores financeiros no perímetro irrigado, ressaltando a importância da avaliação econômica,

principalmente na fase em que os perímetros irrigados estão sendo administrados pelos próprios usuários, através de suas organizações.

De acordo com Bos (1997), cada participante do setor agrícola, políticos, membros de agências e produtores têm diferentes perspectivas quanto ao significado do desempenho econômico. Cada um deles requer um grupo separado de indicadores, que reflita separadamente seus objetivos. O uso de indicadores em projetos públicos de irrigação, apesar de diagnosticar uma situação momentânea extremamente importante para o direcionamento do perímetro à sua emancipação, é ainda restrito, não permitindo, ainda, diagnosticar os benefícios sociais e econômicos das comunidades onde se encontram instalados desde sua implantação. Esses indicadores são excelentes para diagnosticar o momento econômico de cada perímetro e para gerar uma classificação de desempenho, que, futuramente, possibilitará o direcionamento do perímetro à emancipação total ou parcial, garantindo-lhe a estabilidade socioeconômica.

No estudo da evolução de padrões de produção e de possíveis fatores que influenciam o processo de decisão sobre quais culturas semear, identifica-se que quase todos os estudos relacionados aos elementos motivacionais do comportamento têm enfatizado que a decisão de agir, de certa forma é afetada pela ponderação ou pelo peso de uma série de fatores (BEEDELL; REHMAN, 1999 citados por GARCÍA-VILA et al., 2008). Segundo estes autores, o incremento constante de culturas da Política Agrícola Comum (PAC), na Europa, algodão, beterraba e milho, é principalmente devido à procura de um equilíbrio entre a estabilidade e a rentabilidade. O PAC tem uma influência importante no padrão de cultivo, pois mantém o rendimento dos agricultores (com as intervenções no mercado, os subsídios e os pagamentos diretos aos agricultores) e a estabilização do mercado face aos fatores envolvidos incontrolláveis, como secas, doenças e mudanças climáticas. Sem esses subsídios (que representam atualmente entre 20 e 30% da renda de um agricultor no PIGC), seria difícil para muitos agricultores manter suas operações, devido à concorrência da União Européia no mercado (HOGGART; PANIAGUA, 2001). Por outro lado, o aumento contínuo da área de oliveiras nos últimos cinco anos pode ser devido ao aumento contínuo do preço do azeite de oliva, a partir do ano 2000 (ESPANHA, 2005).

2.6 Relação Benefício/custo de cada lote

Algumas análises de custo consideram somente os custos diretos da irrigação e desconsideram os outros custos da produção. Essa análise incompleta conduz a uma subestimativa do valor ótimo do déficit de irrigação e do ganho na receita líquida. Deve-se salientar que a redução na quantidade da água aplicada e, conseqüentemente, na produção, não implicam somente a redução dos custos da irrigação, mas também a redução dos custos de fertilizantes, de colheita e de outros fatores da produção, e pode ainda implicar a redução dos custos de capital envolvidos na derivação de água e nos sistemas de irrigação (FRIZZONE, 2007).

A agricultura irrigada exige alto investimento em obras e na aquisição de equipamentos, no transporte, no controle e na distribuição da água; além de gastos com energia e mão-de-obra para a operação do sistema, que representam importantes custos adicionais, os quais devem ser pagos pelo incremento da produtividade, proporcionado pelo fornecimento de água às plantas (CLARK et al., 1993 citados por MARQUES, 2006).

A relação entre a quantidade da água aplicada e o custo total da produção denomina-se *função de custo* e pode ser representada por uma linha reta, apresentando três importantes características. A primeira é o intercepto com a ordenada, associado aos custos fixos anuais de produção (custos de capital, taxas, seguros e outros custos fixos da irrigação, bem como custos fixos de preparo do solo, plantio, cultivo, uso de defensivos, fertilizantes e colheita). A segunda é a declividade, que representa os custos marginais variáveis da produção, incluindo os custos variáveis da irrigação (custos de bombeamento, de mão-de-obra envolvida na irrigação e de manutenção). Alguns custos podem variar indiretamente com a irrigação, uma vez que a produção varia com a quantidade da água aplicada. Por exemplo, um agricultor pode ajustar o uso de fertilizantes a uma expectativa de produtividade da cultura, que depende também da quantidade da água aplicada; os custos de colheita podem variar com a produtividade, e assim por diante. Todos esses fatores estão incorporados na declividade da função de custo. A terceira característica da função de custo é o seu limite superior, representando a capacidade do sistema, que define a máxima capacidade de derivação de água do sistema (FRIZZONE, 2007). De acordo com o

autor, embora a função de custo esteja representada por uma reta, no caso geral, ela pode ser curvilínea, especialmente quando se consideram os custos associados ao excesso de água aplicada, como custos da remoção do excesso de água e custos dos nutrientes percolados ou perdidos por escoamento superficial.

2.7 Irrigação com déficit

As práticas convencionais de irrigação baseiam-se na necessidade de água da cultura, definida pela demanda evapotranspirométrica, e na eficiência da aplicação da água. Para dar suporte à formulação de calendários de irrigação, as pesquisas têm sido guiadas por quatro enfoques de manejo da irrigação: irrigação total, irrigação suplementar, irrigação com déficit e irrigação de “salvação” (FRIZZONE, 2007). De acordo com o autor, na irrigação com déficit, planeja-se atender somente a uma fração da demanda de água da cultura por evapotranspiração. Esse tipo de manejo pode ser praticado com irrigação total e com irrigação suplementar. O déficit de água pode ser imposto durante todo o ciclo da cultura, ou somente nas fases não-críticas ao déficit hídrico. Neste último caso, são possíveis menores reduções na produtividade da cultura.

Tradicionalmente, a pesquisa agrícola tem-se concentrado principalmente na maximização da produção total. Nos últimos anos, o foco mudou para os fatores limitantes dos sistemas de produção, especialmente a disponibilidade de terra ou de água. Dentro deste contexto, a irrigação com déficit tem sido amplamente investigada como uma estratégia valiosa para as regiões secas (ENGLISH, 1990; FERERES; SORIANO, 2007) onde a água é o fator limitante no cultivo.

Paz et al. (1997) mostraram a importância de elevados valores de uniformidade de distribuição de água na irrigação do feijoeiro e concluíram que, para qualquer preço da água, quanto menor a uniformidade, maior é o efeito do déficit de água sobre a redução da receita líquida, bem como o excesso de irrigação acarreta maiores reduções da receita líquida em menores uniformidades de distribuição de água. Concluíram também que a redução da receita líquida por excesso de irrigação aumenta com o aumento do custo da água.

O potencial de retorno de irrigação com déficit deriva de três fatores: aumento da eficiência da irrigação, redução de custos da irrigação e o custo de oportunidade da água (ENGLISH et al., 1990 citado por ALI et al., 2007).

A irrigação com déficit tem sido amplamente investigada como uma estratégia valiosa e sustentável de produção em regiões secas. Ao limitar as aplicações de água às fases sensíveis do crescimento, esta prática tem como objetivo maximizar a produtividade da água e estabilizar - ao invés de maximizar – rendimentos (GEERTS; RAES, 2009). Estes autores revisaram pesquisas ao redor do mundo e resumiram as vantagens e desvantagens da irrigação com déficit. Os resultados da pesquisa confirmam que a irrigação com déficit é sucesso no aumento da produtividade da água para diversas culturas sem causar reduções de rendimento grave. No entanto, certa quantidade mínima de umidade deve ser garantida. Esta técnica exige um conhecimento exato da resposta da cultura ao estresse hídrico, pois a tolerância à seca varia consideravelmente pelo genótipo e estágio fenológico da planta. Ao desenvolver e otimizar estratégias, pesquisas de campo devem ser combinadas com a modelagem da produtividade de água da cultura.

A escassez de água limita a oferta de sistemas de irrigação em todo o mundo. Em muitas áreas, os déficits crônicos de água forçam os distritos de irrigação a alocar água em níveis bem abaixo das necessidades hídricas das culturas para a produção máxima (LORITE et al., 2007). Estes autores desenvolveram um modelo que simula o balanço hídrico e do desempenho da irrigação na parcela para realizar análises de cenário de um sistema de irrigação no PIGC, por ser este um projeto que freqüentemente é submetido a limitação de água. Eles concluíram que a alocação de água para as culturas de alta produtividade da água, combinada com uma mudança no padrão de cultivo é recomendado quando o fornecimento de água é limitado. A análise enfatizou a necessidade de desenvolver ferramentas de simulação para otimizar a alocação de água em escassez no nível de sistema de irrigação.

2.8 Avaliação social e de adoção de tecnologia

O grau de desenvolvimento da agricultura irrigada em alguns países constitui uma valiosa oportunidade para acumular experiência. O desenvolvimento que tem acontecido em certos países, as razões e as aptidões ambientais para tal desenvolvimento, fornecem indicações para o desenvolvimento agrícola em outros países. Existe uma progressão natural dentro da sociedade para adaptar e refinar sua tecnologia de irrigação, com base na sua própria história e no ambiente político-técnico-econômico. Têm ocorrido aprimoramentos no sentido de melhorar a eficiência de uso da água e a conservação da energia (sistematização do terreno a laser para irrigação por superfície; irrigação por superfície com vazão intermitente; sistema de reuso da água escoada no final da parcela; substituição de sistemas de irrigação menos eficientes por mais eficientes, como microirrigação). Esses aprimoramentos têm seguido aproximações passo-a-passo e, enquanto as restrições têm sido atenuadas, novos desafios vêm sendo encontrados. É valioso observar a experiência de outros países na busca de modelos para o processo de desenvolvimento (FRIZZONE, 2007).

A fim de compreender as razões subjacentes à evolução do desempenho observado, é importante caracterizar o comportamento dos agricultores através de inquéritos (TANAKA; SATO, 2005; GARCIA-VILA et al., 2008), porque a sua resposta às restrições de fornecimento de água, no caso de uma seca, é o fator determinante na definição do desempenho do sistema.

Prevê-se que o aumento da área de oliveiras na Espanha continuará, já que 18% dos agricultores desejam aumentar a área cultivada com a cultura. No caso das culturas hortícolas, é provável que a área aumentará devido à sua alta rentabilidade e pelo fato de que 27% dos agricultores consideram as culturas hortícolas uma alternativa de futuro para as culturas da PAC. As razões possíveis para a estabilização da área de culturas agrícolas incluem a percepção de elevado risco associados à elevada variabilidade dos preços, como consequência da flutuação da demanda e da alta competição nos mercados (MAPA, 2004), e os elevados custos do trabalho. Este último fator é relacionado com a situação sócio-econômica dos agricultores e suas perspectivas para o futuro. A idade média elevada de fazendeiros (53 anos) e a falta de esperança para

renovação das gerações (8%) são as razões do seu interesse em culturas que necessitem de pouco trabalho e investimento, além de poucas mudanças introduzidas nos sistemas de cultivo nos últimos anos.

2.9 Sistema de Informação Geográfica da Área Estudada

O PIGC está próximo a Córdoba, Espanha e as coordenadas geográficas são: (37° 31'N, 4° 51'W) (LORITE et al., 2004a).

A gestão de água em uma área irrigada, particularmente em condições de escassez de água, deve se apoiar em informações sobre os cultivos, suas necessidades hídricas e nos usos que os irrigantes tendem a fazer da água. Para que este trabalho seja eficaz, a informação deve ser sistematizada em base de dados e, quando os dados têm uma distribuição espacial, a forma mais adequada de organizá-los é em um Sistema de Informação Geográfica (LORITE; CARMONA; MATEOS, 2007).

Wriedt et al. (2009a) e Wriedt et al. (2009b) apresentaram um mapa de irrigação pan-europeu baseado em estatísticas regionais européias, um mapa europeu de uso da terra e um mapa global de irrigação. Estes mapas fornecem informações sobre a distribuição espacial das áreas irrigadas por tipo de cultura que permite a determinação de áreas irrigadas ao nível das unidades espaciais de modelagem. Esse instrumento é uma exigência de uma apreciação à escala europeia sobre os impactos da agricultura irrigada nos recursos hídricos com base na modelagem espacialmente distribuída de crescimento da cultura e de balanço hídrico. De acordo com estes autores, práticas de irrigação diferem consideravelmente na Europa. Em grande parte, a agricultura é geralmente de sequeiro e a irrigação é apenas temporariamente utilizada para superar a escassez de água durante o Verão, otimizando o rendimento das culturas. Especialmente as áreas de agricultura altamente industrializada são freqüentemente equipadas com instalações de irrigação, mesmo não sendo utilizada de forma permanente. Irrigação no sul da Europa é uma parte substancial da agricultura para manter a produção vegetal, que completa falta de chuvas durante a estação de crescimento. Há, contudo, também uma tendência de ampliar a área irrigada.

Hellegers (2009) combinou sistemas de informação geográfica, sensoriamento remoto e avaliação econômica de áreas irrigadas, para definir a produtividade da água. Outros autores também fizeram uso dessa ferramenta, como Lorite (2004a) e Lorite (2004b). Mateos (2007) utilizou sistemas de informação geográfica para definir os indicadores do PIGC.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área a ser estudada

A planície sul de Córdoba estende-se entre o vale do rio Guadalquivir e as Serras Subéticas, ao sul da província de Córdoba. Com uma extensão superficial total de 109.597 ha, que representa 8,75% do total provincial, ela se integra num conjunto de onze municípios, localizados entre Córdoba e Sevilha, que são Aguilar de la Frontera, Fernán Núñez, Montalbán de Córdoba, Montemayor, Montilla, Monturque, Moriles, La Rambla, Puente Genil, San Sebastián de los Ballesteros y Santaella (MATEOS, 2007).

O Projeto de Irrigação Genil-Cabra foi declarado de Interesse Nacional em 1974 e a superfície total que contempla é de 44.580 ha, dos quais estão prontos e transformados em área irrigada, somente 16.486 ha, com gestão dividida em duas coletividades, a de Puente Genil e a de Santaella. A comarca está cercada por numerosos afluentes do rio Guadalquivir. As principais bacias da zona são correspondentes aos rios Cabra, Genil e Guadajoz. Na Figura 1 pode ser visualizado o início da PIGC, coletividade Santaella.

Figura 1 – Placa de entrada do escritório da Comunidade de Irrigantes Genil-Cabra e via de acesso a área irrigada

Na Figura 2, apresenta-se uma imagem clássica do canal principal do PIGC. Esse canal tem seção parabólica e vazão máxima de 40 m³/seg. Ele finaliza em um sifão, para atravessar o rio Cabra. Ao longo desse canal, encontram-se as estações de bombeamento setoriais, que distribuem água a todo o projeto de irrigação.

Dessas estações, parte uma rede principal de tubulações que vai até os pontos de controle, chamados de agrupamentos; daí, segue outra rede de tubulações, chamada secundária, até as parcelas agrícolas. Nesse local, existe uma válvula hidráulica com contador, que serve para faturar, a cada irrigante, a água que consome na campanha de irrigação. Na válvula, existem, permanentemente, vazão e pressão suficientes para irrigar, de acordo com o sistema que cada agricultor utiliza.

O método de irrigação mais utilizado é o de aspersão convencional, ainda que nos cultivos de olivas seja muito frequente a irrigação por gotejamento, um sistema que se está implantando também em outros cultivos como algodão, alcachofra etc.

Figura 2 - Canal Principal do Distrito de irrigação Genil-Cabra. Fernandez et al. (2007)

Os 6.900 ha irrigados da Coletividade Santaella distribuem-se em 783 parcelas, distribuindo-se a terra, de acordo com o que se informa na Tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição da superfície das parcelas da Coletividade Santaella (Fernandez et al., 2007)

Tamanho (ha)	Nº parcelas	Total (ha)
0-5	466	953
5-10	132	879
10-20	116	1731
20-50	47	1460
50-100	19	1290
>100	3	607

De acordo com Fernandez et al. (2007), climaticamente, a zona recebe a classificação de mediterrânea continental, com áreas de diferentes subgrupos. Em geral, essa zona caracteriza-se por verões quentes e secos, concentrando-se as precipitações nos meses de inverno. As temperaturas médias oscilam entre os 10° C no inverno e os 27° C no verão. A pluviometria média varia entre 400 e 600 mm anuais, sendo que este valor de precipitação pode baixar, nos anos secos, para até menos de 400 mm, bem como em anos úmidos pode chegar aos 900 mm. O período de menor chuva corresponde aos meses de junho, julho, agosto e setembro. A evapotranspiração oscila entre os 850 e 950 mm anuais, sendo a maior e a menor quantidade corresponde, respectivamente, aos meses de julho e dezembro. O número de horas anuais de sol nesta zona é muito elevado, alcançando normalmente 2.800 horas e em alguns anos especiais tem chegado às 3.000 horas, igualando aos valores mais altos da península espanhola. Os tipos de solo que predominam na planície sul, de acordo com a classificação FAO-UNESCO, são os Vertissolos, os Regossolos Calcários e os Luvisolos, todos estes são solos de baixa evolução condicionados pelo material originário.

A altitude média dos municípios da planície é de 311 m acima do nível do mar, oscilando entre os 171 m de Puente Genil e os 400 m de Montilla. A atividade agrícola é um setor econômico muito importante na região em que se localiza o projeto de irrigação. Hoje eles se encontram com 54% da superfície agrária útil ocupada por cultivos lenhosos (oliva e vinhedo principalmente) e 46% com cultivos herbáceos (trigo e girassol entre outros). Nesta região predominam os sistemas de sequeiro em relação aos irrigados (81% e 19% respectivamente). Mas este panorama será modificado

quando a totalidade da área do projeto de irrigação Genil-Cabra (37.000 ha) estiver em operação.

A água para irrigação é retirada da represa de Iznájar, construída no rio Genil, com uma capacidade total de 981 hm³ e possui boa qualidade física, química e biológica. Um destaque nessa área é que a Coletividade de Santaella possui quase 7.000 ha e existe pouca área ociosa neste perímetro irrigado (Figura 3). Na atualidade, a Andaluzia é a maior região produtora de hortaliças da Espanha. Em torno de 31% dos produtos frescos são exportados, ficando no mercado nacional 59%.

A evolução da superfície ocupada pelos diferentes cultivos na Coletividade de Santaella é apresentada na Figura 4.

Figura 3 - Área irrigada na Coletividade de Santaella

Figura 4 - Evolução dos cultivos na Coletividade Santaella. Mateos (2007)

3.2 Tamanho da área de estudo e principais cultivos

A área de estudo do desempenho da irrigação está na Comunidade de Irrigantes Genil–Cabra, Coletividade Santaella, foi estimada, inicialmente, por Fernandez et al. (2007) em 316,5 ha, corrigidos, nesta pesquisa, para 313,5 ha. O cultivo mais importante praticado na área é o de oliva, que ocupa as zonas com declives mais acentuados. Outros cultivos praticados são o trigo, com uma forte representatividade, o girassol, a pimenta, o melão, a abobrinha, o algodão, a alfalfa, o feijão, o milho e a ameixa, que ocupam diferentes proporções da área.

Esta área apresenta uma forma alargada com orientação oeste-leste e foi escolhida por apresentar-se em forma de bacia, onde, no caso deste trabalho, teria como leito principal um arroio que recebe contribuições de todo o escoamento superficial e sub-superficial. A topografia é ondulada, com altitudes que variam entre 187 m e 265 m e declives que variam entre 17% e 2,4%, tendo uma média em torno de 5,8%. Por ser uma zona com topografia muito ondulada, as zonas com solos aluviais são muito pequenas e as zonas com declives maiores têm solos pouco profundos.

3.3 Avaliações hidrológicas e da irrigação da bacia estudada

Os dados dos estudos das campanhas de irrigação de 2005/2006 já existiam oriundos do trabalho realizado por Fernandez et al. (2007) e Mateos (2007).

Agora, neste trabalho, foram finalizadas as análises dos dados de 2004/2005. Devido a problemas no aforador, não foi possível continuar a avaliação dos dados de escoamento superficial de 2006/2007 e de 2007/2008, bem como coletar dos dados de 2008/2009. As fontes utilizadas para a compilação de informações neste estudo foram as seguintes:

- Registros da Comunidade de irrigantes.
- Registro, por uma estação de medição via rádio, instalada para este estudo, da quantidade de água aplicada com a irrigação em cada parcela.
- Registros da vazão pela estação de estudos hidrológicos.
- Estação meteorológica automática pertencente ao Instituto de Agricultura Sustentável (IAS), situada no local e que proporciona dados climáticos diários.

Os dados fornecidos pela Comunidade de Irrigantes foram coletados durante as visitas feitas à Coletividade de Santaella. Com estes registros foi feito um Sistema de Informação Geográfica, para representar os dados característicos da área de estudo a cada ano, assim como outros dados que foram considerados importantes para o desenvolvimento deste trabalho.

A medição da água aplicada em cada parcela foi feita de duas formas:

- Leitura direta nos medidores situados nos cavaletes de irrigação de cada parcela pertencente à área de estudo.
- Medida de leitura via rádio, graças a um sensor instalado em cada contador e um rádio conectado a um computador.

A leitura direta dos contadores foi permitida pela Comunidade de Irrigantes. Neste caso as leituras são feitas a cada três meses ou de modo a verificar a água consumida em cada período, em cada parcela.

A medição de vazão, com leitura via rádio, foi feita através de um sistema avançado de gestão de irrigação, especialmente concebido para as comunidades de

irrigantes e as grandes explorações agrícolas. É calculado o consumo de cada usuário, o volume total de água e armazenam-se todos os dados do usuário no banco de dados. Para o equipamento de medição utilizado para a irrigação foi necessário instalar sensores em cada parcela de estudo com fluxo de armazenamento de dados diários.

A leitura destes dados é auxiliada pelo sistema Dialog 3G – Software Greentree , no qual primeiro se devem importar os dados que proporcionam os sensores instalados nas tomadas de água. Para proceder a leitura dos medidores e conseguir importar os dados dos sensores, conecta-se o rádio ao computador portátil e se inicia a leitura, com a ajuda dos mapas de situação dos sensores (Figura 5).

Figura 5 - Pontos de coletas dos sensores. Fernandez et al. (2007)

Depois da leitura de todos os contadores exportam-se os dados para uma planilha a fim de facilitar-lhes o tratamento destes.

3.3.1 Estação hidrológica

A área avaliada possui declividade que converge para um canal de escoamento, o qual flui para um ponto único, onde está instalada a estação hidrológica que é

composta por um aforador e por instrumentos de medida e de registro do nível da água que passa pelo aforador.

3.3.2 Instalação do aforador

O dimensionamento e a implementação de um aforador requerem uma série de observações e de medições das características da bacia estudada, como o declive, a superfície, manipulação e vazão a medir. Para o seu dimensionamento foi necessário conhecer as principais vertentes do canal de escoamento da área estudada e avaliar os valores máximo e mínimo dos fluxos que se destinam à medida.

A concepção incluiu o cálculo das seções de aproximação, de entrada e de saída, bem como as transições de convergência e de expansão, a longitude e a altura (Figuras 6 e 7). Para o seu dimensionamento, era necessário conhecer as principais vertentes do canal da área estudada e avaliar o máximo e mínimo dos fluxos que se destinam a medida. Primeiro fez-se um pré-dimensionamento, em que se avaliaram várias vazões para os diferentes níveis de alinhamento, comprovando se são verificadas as condições de regime no estreitamento crítico e se relacionam as medidas de fluxo e nível da água. A de medição inicia com um canal de 5,6 m de comprimento, com inclinação inferior a 2,5%, que se junta ao canal de aproximação de 1 m de comprimento, em nível, que se comunica com um trecho de transição de 1 m de comprimento, terminando com um trecho de estreitamento de 0,8 m de comprimento e 5 cm acima da faixa de aproximação. O estreitamento consiste de uma secção composta (MATEOS, 2007).

Figura 6 - Dimensões do aforador da área estudada. Mateos (2007)

Figura 7 - Instalação do aforador no canal

3.3.3 Medida e registro do nível de água

Uma vez instalado o aforador, procedeu-se a montagem de um sensor de nível de água de forma contínua. O sensor é ultra-sônico e registra as medidas em um armazenador de dados (datalogger). Duas baterias de 12 volts instaladas em série, duas caixas metálicas para alojar o sensor e as baterias junto com o datalogger e cabos

de conexão completam os componentes da estação. A sonda ultra-sônica usada foi a The Probe – Level Monitor de Siemens Milltronics conforme Figura 8.

Este equipamento foi utilizado nas pesquisas durante os anos 2004, 2005 e 2006 e, após uma tormenta (Figura 9), o equipamento ficou danificado impossibilitando a coleta de dados nos anos 2007 e 2008.

Figura 8 – Esquema da sonda utilizada

Figura 9 – Sonda instalada sobre aforador após a tormenta que causou a sua inutilização

3.4 Cálculo das necessidades de água dos cultivos

Mateos (2007) desenvolveu uma metodologia de avaliação dos indicadores de irrigação, em condições de déficit, atualmente utilizada nessa área. Os requerimentos de água dos cultivos existentes na área foram calculados para identificar como estavam aplicando a irrigação, se: com déficit, ou com excesso de água. Para tanto, foi utilizada uma planilha de cálculo baseada no procedimento descrito no manual Nº 56 da FAO (ALLEN et al., 2006). Na planilha de cálculo foram obtidas as necessidades de irrigação das diferentes culturas existentes na área mediante o cálculo da evapotranspiração da cultura (ET_c), a partir da equação de Penman – Monteith, utilizando a evapotranspiração de referência (ET_o), fornecida pela estação meteorológica do Instituto de Agricultura Sustentável, situada no PIGC. Para isto consideraram-se os efeitos produzidos pelos eventos de umedecimento do solo sobre o coeficiente da cultura (K_c), dividindo-o em dois coeficientes, um para a transpiração da cultura, denominado coeficiente basal da cultura (K_{cb}), e outro para a evaporação do solo (K_e). O coeficiente basal da cultura define-se como a relação entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração de referência, quando a superfície do solo se encontra seca, mas a transpiração mantém sua taxa potencial, ou seja, quando a transpiração não está limitada pela ausência de água (ALLEN et al., 2006).

Para calcular a evapotranspiração das distintas culturas seguiram-se os seguintes passos:

- Identificação das durações das distintas etapas de desenvolvimento dos cultivos e seleção dos valores de K_{cb} correspondentes, utilizando os valores proporcionados pelo manual Nº 56 da FAO (ALLEN et al., 2006);
- Ajuste dos valores dos coeficientes K_{cb} , segundo as condições climáticas de cada etapa;
- Construção da curva de coeficiente basal de cultivo para determinar os valores de K_{cb} em qualquer período durante a temporada de crescimento. Para isso somente se necessitam três valores de K_{cb} , correspondentes às etapas: inicial, de máximo desenvolvimento e final de cada cultivo;

[illegible]

Figura 10 – Planilha de cálculo utilizada para cada cultivo proposta por Mateos (2007)

Figura 13 – Planilha de cálculo (Gráficos de Kc) utilizada para cada cultivo proposta por Mateos (2007)

Figura 14 – Planilha de cálculo (Gráficos de ET) utilizada para cada cultivo proposta por Mateos (2007)

Figura 15 – Planilha de cálculo (Gráficos de balanço de água) utilizada para cada cultivo proposta por Mateos (2007)

Figura 16 – Planilha de cálculo (Gráficos de Kc) utilizada para cada cultivo proposta por Mateos (2007)

Figura 17 – Planilha de cálculo (Resultados) proposta por Mateos (2007)

Uma vez introduzidos todos os dados demandados para o cálculo das necessidades de irrigação, os resultados obtidos são registrados na tabela “Balanço de água e calendário” onde se inserem todas as fórmulas necessárias para o cálculo. Os resultados são apresentados na forma de gráficos e em uma tabela na qual aparece o resumo dos cálculos realizados (Figura 11).

3.5 Balanço de água na área e índices de irrigação.

Nesta parte estão explicados os índices que definem a irrigação realizada na área de estudo. Este estudo está baseado no balanço [equação (1)]:

$$R + II = ET + E_s + P + \Delta S \quad (1)$$

em que:

R: irrigação aplicada (riego aplicado);

II: precipitação (lluvia);

ET: evapotranspiração;

Es: escoamento superficial (escoamento);

ΔS : variação de armazenamento de água no solo;

P: percolação profunda.

Como exemplo, tendo em conta as condições meteorológicas no início e no final da campanha 2004/2005, pode-se considerar que o incremento de água no solo foi desprezível, mostrando-se a situação final do solo praticamente igual à do início da referida campanha. Deve-se observar que, nos solos deste Projeto de Irrigação existe uma camada adensada e relativamente de pouca profundidade, o que dificulta a percolação profunda, provindo os fluxos de retorno do escoamento superficial e sub-superficial.

Para saber o comportamento da irrigação na área, é necessário calcular uma série de índices, conforme o procedimento que segue. Primeiro, deve-se calcular a evapotranspiração real – ET_{real} [equação (2)]; para este solo, deve-se utilizar a equação do balanço de água, desprezando a percolação profunda e o incremento de água no solo:

$$ET_{REAL} = R + II - Es \quad (2)$$

Uma vez calculada a evapotranspiração real e conhecida a evapotranspiração potencial (ET_0) pelo cálculo dos requerimentos dos cultivos, assumindo que nunca se incorre em déficit hídrico, passa-se a conhecer o coeficiente de déficit [equação (3)], que é 1(um) menos a relação entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração potencial:

$$\text{Coeficiente de Déficit} = 1 - \frac{ET_{REAL}}{ET_0} \quad (3)$$

Os demais índices são o suprimento relativo de água (SAR) [equação (4)], que indica a relação entre volume total de água fornecida à bacia estudada (irrigação +

chuva) e a evapotranspiração potencial, e o suprimento relativo de irrigação (SRR) [equação (5)], que indica a relação entre a água fornecida por irrigação aplicada pelos agricultores e o volume de água de irrigação requerida para máxima produção.

$$SAR = \frac{II + R}{ET_{\text{potencial}}} \quad (4)$$

$$SRR = \frac{R_{\text{aplicada}}}{R_{\text{requerida}}} \quad (5)$$

A eficiência global de aplicação da irrigação, que se calcula pela equação (6), é a porcentagem de água de irrigação que fica no solo, para ser utilizada na evapotranspiração dos cultivos, em relação à água de irrigação total aplicada.

$$E_a = \frac{R - E_s}{R} \quad (6)$$

A eficiência de aplicação é equivalente a um menos o rendimento hídrico, apresentado na equação (7), conceito utilizado em hidrologia, que se aplica à estação das chuvas e é definido como:

$$RH = \frac{E_s}{II} \quad (7)$$

Esclarece-se que, nos termos R da equação (6) e II da equação (7) foram consideradas a pouca chuva e a pouca irrigação que, respectivamente, ocorrem na campanha de irrigação e na estação das chuvas.

Por último, calcula-se a eficiência da irrigação, que é a relação entre a evapotranspiração decorrente da água de irrigação e o volume total de água de irrigação aplicada.

O volume de evapotranspiração decorrente da irrigação obtém-se diminuindo-se, do volume de evapotranspiração real, o volume de precipitação durante esse período [equação (9)].

$$ET_{\text{água de irrigação}} = ET_{\text{REAL}} - I \quad (9)$$

3.6 Sistema de Informação Geográfica da Área Estudada

A necessidade de refinar o trabalho de sistema de informação geográfica realizado por Fernandez et al. (2007), foi de fundamental importância para o início da avaliação da área, tendo sido necessários os conhecimentos de geoprocessamento e sensoriamento remoto foram necessários para organizar os dados. Nesta fase foram utilizados softwares modernos como o ArcGis 9.1 e softwares livres como o Kosmos 2.1.

A base de dados foi reformulada com informações dos agricultores, novas delimitações de área oriundos do novo DEM e os dados do balanço de água no solo. Após a alimentação dos dados no SIG, foi feito o geoprocessamento e gerados os mapas, utilizando as ferramentas dos softwares utilizados.

3.7 Avaliação socioeconômica da área estudada

3.7.1 Avaliação econômica

Depois de avaliado, com acompanhamento in loco, o manejo da irrigação no período de maio a setembro de 2008, bem como analisados os dados dos anos anteriores e definida a eficiência da irrigação e os demais indicadores de uso da água, foram introduzidas as avaliações sobre indicadores econômicos e sociais.

Para iniciar essa avaliação ao longo das campanhas 2004/2005 e 2006/2007, por meio de dados obtidos e de estudos já realizados, definiu-se a evolução dos

indicadores econômicos de produtividade de água, na parcela, bem como no recinto (aglomeração de mais de uma parcela de onde a água está sendo derivada) de acordo com Malano e Burton (2001) citados por Lorite et al. (2004) [equação (10)]:

$$WP (\text{€ m}^{-3}) = \frac{\text{Valor anual da produção agrícola}}{\text{Volume anual de irrigação}} \quad (10)$$

Na avaliação da produtividade de água no nível da parcela, foi definida a equação (11) e o do recinto, a equação (12).

$$WP (\text{€ m}^{-3}) = \frac{\text{Valor anual da produção agrícola}}{\text{Evapotranspiração da cultura no período}} \quad (11)$$

$$WP (\text{€ m}^{-3}) = \frac{\text{Valor anual da produção agrícola}}{\text{Volume de água observado no contador}} \quad (12)$$

3.7.2 Avaliação das receitas líquidas e brutas

A função da receita bruta para a unidade técnica pode ser expressa como:

$$lb(w) = p \cdot y(w) \quad (13)$$

sendo:

$lb(w)$ – receita bruta da unidade técnica por unidade de área, euro ha^{-1} ;

p – preço unitário do produto da unidade técnica, euro kg^{-1} ;

$y(w)$ – produtividade da cultura em função da quantidade de água, kg ha^{-1} .

Assumindo que é razoável utilizar uma função de custo linear para a unidade técnica (HART; NORUM; PERI, 1980; ENGLISH, 1990), tem-se:

$$c(w) = c_0 + h(w) + c_w w \quad (14)$$

sendo: $c(w)$ – custo total de produção por unidade de área da unidade técnica, € ha^{-1} ;

c_0 – custos fixos de produção por unidade de área, € ha^{-1} ;

$h(w)$ – custos que dependem indiretamente da quantidade da água aplicada, € ha^{-1} ; c_w – custos que dependem diretamente da quantidade da água aplicada, € m^{-3} , e

w – volume de água aplicada por unidade de área, $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$.

Assumindo, como condição simplificadora, que a soma dos custos fixos (c_0) e dos custos indiretamente dependentes da quantidade da água aplicada [$h(w)$] são constantes (c_f), conforme sugerido por Hart; Norum e Peri (1980) e Frizzone (1998), pode-se expressar a função de custo total da produção da seguinte forma:

$$c(w) = c_f + c_w w \quad (15)$$

A função de receita líquida da unidade técnica para a fazenda, com área irrigada x , pode ser expressa da seguinte forma:

$$Z(w) = x [p y(w) - c_0 - h(w) - c_w w] \quad (16)$$

ou,

$$Z(w) = x [p y(w) - c_f - c_w w] \quad (17)$$

3.7.3 Relação Benefício/Custo

Este índice de desempenho econômico foi calculado com base nos benefícios, brutos advindos da produção agrícola irrigada, e nos custos totais da produção [equação (18)]. A produtividade das culturas foi estimada com base no depoimento dos agricultores entrevistados. Os custos da produção foram definidos a partir de informações de gastos nas operações declarados pelos agricultores.

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Benefício Bruto}}{\text{Custo total da produção}}, \quad (18)$$

A idéia é verificar se os benefícios são maiores do que os custos. Esse critério pode ser empregado em quaisquer análises econômicas, sejam elas, pequenas ou grandes, sejam particulares ou governamentais.

3.7.4 Avaliação social e de adoção de tecnologia

Durante a campanha de irrigação, foi realizada uma entrevista com os agricultores para definir o grau tecnológico, a conscientização ambiental e a receptividade ao Sistema de Assessoramento do Irrigante. Nessa pesquisa, pretendeu-se avaliar todos os produtores da área estudada no PIGC.

Os resultados possibilitaram discutir as possíveis melhorias ambientais para a área em estudo, bem como sugestões para seu gerenciamento, que poderão ser utilizadas no perímetro como um todo, além das perspectivas de evolução obtidas pelas atividades de pesquisa e inovação. O formulário utilizado para essa entrevista foi elaborado com base em outro pré-existente, fornecido pelo IAS/CSIC e encontra-se disponível no anexo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Sistema de Informação Geográfica da Área Estudada

Após a obtenção dos dados das entrevistas realizadas, foram definidas as parcelas em número de cadastro, tornando-se mais preciso em relação ao sistema anterior, em que estava como “parcela”, não proporcionando precisão quanto ao proprietário e ao limite de área, o que afeta na quantidade de água consumida e, conseqüentemente, na produtividade da água no final dos cálculos.

Para obter maior detalhamento no georreferenciamento foi utilizado como auxílio a Oficina Virtual de Cadastro da Espanha, localizada no endereço eletrônico <https://ovc.catastro.meh.es/OVCFrames.aspx?TIPO=Consulta>. Nesse site, mantido pela Direção Geral de Cadastro do Ministério de Economia e Fazenda, pôde ser visualizada toda a área de Santaella, dividida em seus respectivos recintos, com as dimensões e as coordenadas geográficas de cada um.

Na Figura 18, mostra-se, como exemplo, o recinto 45-41 de Santaella, que se refere a uma das áreas estudadas. Na Figura 19, é apresentada a ortofoto SIGPAC, também disponibilizada no site. Em seguida, na Figura 20, apresenta-se uma imagem mais distanciada, para dar a dimensão do que o recinto representa em parte da bacia, com seus vizinhos. Na última imagem, Figura 21, registram-se as informações desse recinto com dimensões e outras informações fundamentais para a elaboração do SIG da área.

Figura 18 - Site de cadastro com imagem da parcela 45-41

Figura 19 - Site de cadastro com imagem da parcela 45-41 apresentando a ortofoto SIGPAC

Figura 20 - Site de cadastro com imagem da parcela 45-41 apresentando a orto foto SIGPAC distanciada para definir melhor a localização entre as parcelas vizinhas

Figura 21 - Dados da parcela 45-41 disponibilizados pelo site

Outra ferramenta utilizada para delimitar, mais precisamente, todas as parcelas que participavam da área foi um novo modelo digital de terreno (DEM), o software

Modelo Digital do Terreno de Andaluzia: Relevo e Orografia, que contém o Modelo Digital do Terreno da Andaluzia com uma resolução de 10 m, gerado a partir de fotografias aéreas com escala 1:20.000 e uma ortofotografia digital a meia resolução, gerada a partir das mesmas fotografias aéreas. Aplicando-se essa visualização, podem-se obter vários produtos cartográficos: mapa de alturas, mapa de curvas de nível, mapa de iluminações e sombras, mapa de declividades classificadas, mapa de zonas vistas e ocultas e mapa de perfis do terreno.

Para a delimitação anterior, realizada por Fernandez et al. (2007), utilizaram-se apenas pontos de referências para delimitar o desnível, o que não permitia a precisão suficiente para o trabalho, na definição desejada. Para apresentar essa correção, pode-se observar, na Figura 22, a primeira delimitação realizada por Fernandez et al. (2007), enquanto, na Figura 23, no mapa azul, a nova delimitação, após o DEM.

Figura 22 - Área da bacia delimitada por Fernandez et al. (2007)

Figura 23 - Área da bacia delimitada após o DEM

Na Figura 24, estão representadas as superposições dos resultados. Em amarelo, apresenta-se a parcela total e, em verde, a bacia delimitada por Fernandez et al. (2007). No contorno em azul, está representada a nova bacia, após a delimitação determinada pelo DEM.

Figura 24 - Áreas da bacia de estudo

Na Figura 25 está representada a área em estudo, com a numeração dos códigos das parcelas, inserida em uma ortofoto do PIGC, coletividade Santaella. Essa representação foi feita logo após a delimitação da área pelo DEM. Nota-se que várias parcelas estavam agrupadas, por isso, na Figura 26, foi realizado um desagrupamento das mesmas, para melhor definir os índices do trabalho com a máxima exatidão nas definições.

No trabalho realizado por Fernandez et al. (2007), a área foi dividida em 17 parcelas, denominadas *recintos*. Após a realização da entrevista, identificou-se a necessidade de dividi-la por *áreas de cadastro*, identificadas pelo produtor e pelo site oficial de cadastro. Dessa forma, a área passou a ter 33 parcelas, dando uma maior amplitude à pesquisa.

Figura 25 - Área da bacia sobre a ortofoto

Figura 27 - Nova área da bacia com cultivos de 2005

Figura 28 - Nova área da bacia com cultivos de 2006

Figura 29 - Nova área por delimitação de Recintos

Na Tabela 2, apresenta-se um resumo das áreas de recinto, cadastro e cultivada, o qual contribui para o estudo da bacia. Observa-se que em uma área de recinto pode-se ter duas ou mais áreas de cadastro. Para cada área de cadastro pode-se ter uma área de cultivo inferior à área total do lote, fato devido às construções ou retiradas. Neste trabalho foi possível verificar que nos lotes praticamente não se tem área de preservação permanente, possivelmente pelo fato de os lotes serem relativamente antigos, portanto, definidos antes de qualquer legislação prevista para este fim.

Tabela 2 - Resumo dos Recintos e das áreas de Cadastros

Recinto	Área do Recinto (m ²)	Cadastro	Área do Cadastro (m ²)	Área cultivada (m ²)
1619A2	31785	45-44	31785	27974
		45-156	31100	31100
	243372	45-159	101072	101072
		45-42	142300	105564
1053		45-41	98300	98300
		45-39	15045	15045
		45-38	48846	48846
		45-36	100468	100468
1054	124246	45-37	23778	23778
		45-33	93724	93724
1056	117777	45-34	24053	24053
		45-20	98264	77354
1058 ^a	160984	45-21	62720	62720
		45-35	303232	148542
1052C1	303232	28-01	4968	4968
1052C2	4968	45-40	47077	47077
1052G	47077	28-02	5246	5246
1052B	134346	28-03	129100	114089
		28-140	113741	39694
1052 ^a	232416	28-04	118675	47353
		29-71	386517	370760
1647 ^a	386517	29-70	46681	46681
		29-69	257447	215068
1647B	304128	29-68	177100	87302
		29-109	86104	86104
1647 E3	378106	29-125	378106	56523
1647 E2	355724	29-110	67774	25543
		29-66	287950	287950
1647D	360630	29-67	249660	178934
		29-87	52433	52433
		29-124	58537	58537
		30-08	112076	19846
1647F	112076	29-73	258350	258350
Sem código	631836			

4.2 Desempenho da irrigação

Para analisar o desempenho da irrigação na área estudada utilizaram-se os dados de balanço de água e os índices de irrigação. Na Tabela 3 observa-se o monitoramento do consumo de água pelos contadores. Como cada contador era

referente a um recinto com duas ou mais áreas de cadastro, como discutido anteriormente, foi necessário relacionar o percentual de área em relação ao volume consumido na área total. Para análise do consumo, somente foram contabilizados os dados da campanha de 2005/2006. Portanto, tomaram-se como referência os mesmos valores para a campanha de 2004/2005. Na área de cadastro 29-73, cultivada com oliva, não houve monitoramento do volume aplicado. Constatou-se que o volume aplicado foi de $1.709.739 \text{ m}^3$. Dividindo este valor por 313, 5 ha, tem-se uma lâmina aplicada durante o ano de 545, 37 mm.

A Tabela 4 mostra um resumo dos dados obtidos neste estudo para a estação de chuva, a estação de irrigação, assim como para o total dos anos 2004/2005. Com os dados da Tabela 4 obtiveram-se os indicadores do desempenho da irrigação na área em estudo. Quando se comparam os 571 mm da lâmina aplicada com os 545, 37 mm do parágrafo anterior, a diferença é devida a alguns sensores serem utilizados em áreas fora da delimitação, bem como pequenas áreas dentro da bacia não estarem em monitoramento. Portanto, essa margem de aproximadamente 10% deve ser inserida no cálculo.

Como se observa, os índices de eficiência da irrigação foram elevados, embora o agricultor tenha mostrado tendência em utilizar mais água que o recomendado pelo SAR. Esse acréscimo de água utilizado pelo agricultor, embora de uso não-consuntivo (FRIZZONE, 2007, MATEOS, 2008), neste caso, pode ser considerado intuitivamente pelo agricultor, como um uso benéfico, utilizado para lixiviação de sais, já que os solos são rasos e factíveis de salinização pela irrigação deficitária.

Um resumo de todos os dados está apresentado na Tabela 5. A evapotranspiração de referência foi obtida com os dados da estação meteorológica, instalada na área do estudo, e os valores diários, coletados pelo IAS/CSIC. Na Figura 30, apresenta-se a evapotranspiração dos períodos 2004-2005 e 2006-2007.

Tabela 3 - Resumo dos cálculos para definir o consumo de água no recinto

Cadastro	Área de Recinto	Área cultivada	Sensor de água	Percentual em relação a toma de água	Consumo identificado sensor (recinto)	Consumo x percentual
45-21	62720	62720	72612	0,39	37796	14725
45-20	98264	77354	72612	0,61	37796	23071
45-37	23778	23778	66560	0,19	21597	4133
45-36	100468	100468	66560	0,81	21597	17464
45-34	24053	24053	67248	0,20	31015	6334
45-33	93724	93724	67248	0,80	31015	24681
45-159	101072	101072	65716	0,25	87704	21857
45-39	15045	15045	65716	0,04	87704	3254
45-38	48846	48846	65716	0,12	87704	10563
45-41	98300	98300	65716	0,24	87704	21258
45-42	142300	105564	65716	0,14	87704	11894
				0,14	87704	11894
45-156	31100	31100	65916	0,49	3580	1771
45-44	31785	27974	65916	0,51	3580	1809
45-40	47077	47077	76824	0,85	15988	13585
				0,15	15988	2377
45-35	303232	70550	75968	0,80	36361	28922
	77992	77992		0,20	36361	7439
30-08	112076	19846	72584	1	21	21
28-01	4968	4968	73616	1	1463	1463
28-02	5246	5246	77748	0,04	1205	47
28-03	129100	114089	77748	0,82	1205	993
		18135	77749	0,14	1205	165
28-140	113741	39694	77870	0,49	16884	8263
28-04	118675	47353	77870	0,51	16884	8621
29-67	249660	178934	70284	0,56	44077	24633
29-87	52433	52433	70284	0,12	44077	5173
29-124	58537	58537	70284	0,13	44077	5776
29-109	86104	86104	80788	0,33	1205	394
29-68	177100	87302	80788	0,67	1205	811
29-66	287950	287950	69760	0,39	142042	55736
29-110	67774	25543	69760	0,09	142042	13119
29-125	378106	56523	17312	1,00	95562	95562
29-73	631836	258350	0	0	0	0
29-69	257447	215068	80224	0,85	128205	108527
29-70	46681	46681	80224	0,15	128205	19678
29-71	386517	370760	79174	1	81277	81277
TOTAL	4463707	2979133			1709739	

Tabela 4 - Dados necessários para o cálculo do desempenho da irrigação em 2004/2005

	TOTAL (dm ³)			TOTAL (mm)		
	Período das Chuvas	Período da irrigação	Total	Período das chuvas	Período da irrigação	Total
Escoamento superficial	250	246	496	79	78	157
Precipitação	612	364	976	194	115	309
Lâmina aplicada	438	1366	1804	139	432	571
LL + Irrigação	1049	1730	2779	332	548	880
ET potencial	1475	1712	3187	467	542	1009
Lâmina requerida	585	1641	2226	185	519	704

Tabela 5 - Indicadores de desempenho da irrigação na área estudada - período 2004/2005

	Período das chuvas	Período da irrigação	Total da campanha
ET real (mm)	253,40	469,77	723,17
Coefficiente de Déficit	45,81%	13,30%	28,29%
SAR	71,1%	101,6%	87,21%
SRR	75%	83,00%	81%
ER		81,99%

Figura 30 – Evapotranspiração nos períodos 2001-2007 e 2004-2005

A Figura 31 mostra os dados obtidos, neste estudo, para o período de um ano, de outubro de 2004 a setembro de 2005. Para melhor compreender os resultados apresenta-se a Figura 32, onde se observa a evolução dos parâmetros que definem o desempenho da irrigação na área em estudo, durante a estação de irrigação no período 2004/2005. Nela se percebe que a lâmina de irrigação aplicada é 81% da lâmina requerida, como indica a Tabela 5. Também quando é somada a precipitação durante este período, a lâmina total aplicada sobre a área é inferior à lâmina requerida que compensaria a demanda dos cultivos, o que confirma os resultados de outras pesquisas realizadas para a área de estudo, situada no PIGC, destacando-se a prática de irrigação deficitária, conforme se relata nos trabalhos de Lorite et al. (2004b); Mateos (2007); Fernandez et al. (2007); Lorite et al. (2007); Santos et al. (2007); Garcia-Vila et al. (2008).

Figura 31 - Evolução da precipitação, da irrigação e do escoamento superficial durante a campanha da irrigação em 2005

A aplicação de irrigação deficitária faz com que a eficiência da irrigação seja muito elevada na área estudada, principalmente na estação chuvosa, demonstrando o bom uso dos recursos hídricos. Na irrigação deficitária, o objetivo é maximizar a produção por unidade de volume de água aplicada (eficiência de uso da água = eficiência produtiva, atualmente denominada produtividade da água). Com esse

objetivo, visa-se a aumentar a eficiência de uso da água e economizá-la pelo aumento da eficiência de aplicação (eficiência técnica), redução das perdas e redução da eficiência de armazenagem (PHENE, 1989), pressupondo-se que a disponibilidade de água constitui limitação à produção agrícola e que o manejo da irrigação deve priorizar a minimização das perdas de água. Sendo a lâmina de irrigação menor que a evapotranspiração da cultura no período, o grau de adequação será reduzido, as produtividades serão menores, mas, como resultado, reduz-se o escoamento, aumenta-se a eficiência de aplicação e há redução nos custos operacionais da irrigação e redução da lixiviação de produtos químicos. Isto é citado também no trabalho de Fernandez et al. (2007) como se apresenta na Tabela 6 e na Figura 33.

Figura 32 - Evolução dos parâmetros acumulados que definem o comportamento da área de estudo durante um ano de acompanhamento 2004/2005

Tabela 6 - Indicadores da irrigação na área estudada, período 2005/2006. Fernandez et al. (2007)

	Período das Chuvas	Período da irrigação	Total campanha
ET real (mm)	275	328	585
Coefficiente de Déficit	38%	42%	43%
SAR	79%	62%	68%
SRR	69%	63%	63%
ER		90%

Figura 33 - Evolução dos parâmetros acumulados que definem o comportamento da área de estudo durante um ano de acompanhamento 2005/2006. Fernandez et al. (2007)

Nas Figuras 34 a 37 são apresentadas análises das produtividades de água calculadas por parcela e por recinto. Observa-se que as maiores produtividades de água foram detectadas pela análise por recinto, tanto em 2005 quanto em 2006, justificadas pelo baixo volume de água demandado, observado nos sensores. No cálculo para PW na parcela tem-se como denominador a evapotranspiração da cultura e no cálculo da PW do recinto, tem-se o volume de água que entrou na área, ou seja, a água aplicada. Visto que a irrigação foi deficitária, então certamente haverá uma maior produtividade de água ao nível de recinto.

Os valores encontrados de PW neste trabalho podem ser visualizados nas Tabelas 7 e 8. Valores acima de 2 € m^{-3} são muito encontrados quando se calcula a PW Recinto. Para este indicador, no ano de 2005 foram identificados 8 valores dos 29 disponíveis. Já para a PW Parcela neste mesmo ano, apenas 1 valor foi encontrado. Em praticamente todos os casos, foi com a cultura da oliveira. As exceções foram alfafa e algodão. No ano de 2006, para PW Recinto, foram observados valores em 9 análises. Para PW Parcela, novamente apenas 1 para a cultura do milho. A alfafa, novamente,

apresentou valores de PW elevados neste ano. Uma surpresa foi o trigo, que no ano de 2005 teve apresentou baixa PW. Em linhas gerais, os resultados observados são similares aos encontrados por Garcia-Vila et al. (2008). Segundo estes autores, que estudaram dados de 15 anos de algumas parcelas deste projeto de irrigação, a produtividade de água (valor monetário da produção dividido pelo volume de água de irrigação derivada), foi moderada e altamente variável (em torno de 2 € m⁻³) e não houve incremento com o tempo. Já com relação à produtividade da água de irrigação (aumento do valor monetário da produção devido à irrigação, dividida pela água de irrigação entregue) foi bem menor (0,65 € m⁻³) e, também, não houve incremento com o tempo.

A variação entre PW de parcelas foi bastante diversificada entre cultivos o que leva a crer que dada a ampla gama de utilização da água e de gestão encontrada nas parcelas estudadas, a melhoria da gestão de uma área irrigada deve sempre considerar desempenho individual de cada agricultor ao conceber medidas para a conservação da água na agricultura irrigada, o que também foi ressaltado por Lorite (2004b), estudando o mesmo projeto de irrigação, em que se deduziu que a produtividade da água foi mais elevada para culturas hortícolas e frutíferas como o alho e a oliveira cujo valor variou de 1,13 € m⁻³ para 6,52 € m⁻³, respectivamente. Em outras culturas extensivas ocorreu uma variação menor como no caso do milho (0,28€ m⁻³) e mais elevada na beterraba (1,04 € m⁻³). Segundo este autor, grandes variações anuais em PW foram observadas em todas as culturas, em particular no girassol e alho, quer devido à flutuação dos preços do alho ou aos efeitos da seca de 1998/1999 para o girassol. De fato, PW foi menor que em todas as culturas neste ano especificamente, porque as lâminas de irrigação foram maiores do que nos outros 3 anos.

Observa-se que existem 2.979.133m² de área cultivada, o que equivale a 67% da área total que é de 4.463.707m² de área de recinto.

Tabela 7 – Produtividade de água recinto e parcela no ano 2005

Numero	Cadastro	Área de Recinto	Área cultivada	Cultivo	PW (€ m ⁻³) Recinto	PW (€ m ⁻³) Parcela
1	45-21	62.720	62.720	Milho	1,95	0,67
2	45-20	98.264	77.354	Trigo	0,60	0,35
3	45-37	23.778	23.778	Oliva	1,00	0,23
4	45-36	100.468	100.468	Oliva	0,82	0,18
5	45-34	24.053	24.053	Oliva	9,73	3,32
6	45-33	93.724	93.724	Oliva	1,08	0,37
7	45-159	101.072	101.072	Oliva	0,72	0,20
8	45-39	15.045	15.045	Retirada	0,00	0,00
9	45-38	48.846	48.846	Pimenta	0,58	0,26
10	45-41	98.300	98.300	Algodão	0,33	0,14
11	45-42	142.300	105.564	Algodão	0,52	0,13
				Pimenta	0,58	0,26
12	45-156	31.100	31.100	Berenjena	0,00	0,00
13	45-44	31.785	27.974	Indefinida	0,00	0,00
14	45-40	47.077	47.077	Trigo duro	0,21	0,08
				Oliva	0,84	0,33
15	45-35	303.232	70.550	Oliva	2,60	1,38
		77.992	77.992	Trigo	0,75	0,09
16	30-08	112.076	19.846	Habas	0,00	0,00
17	28-01	4.968	4.968	Oliva	0,97	0,37
18	28-02	5.246	5.246	Oliva	31,80	0,37
19	28-03	129.100	114.089	Algodão	8,05	0,08
			18.135	Oliva	57,38	0,68
20	28-140	113.741	39.694	Oliva	2,51	0,68
21	28-04	118.675	47.353	Oliva	2,87	0,68
22	29-67	249.660	178.934	Habas	0,00	0,00
23	29-87	52.433	52.433	Trigo	0,71	0,14
24	29-124	58.537	58.537	Habas	0,00	0,00
25	29-109	86.104	86.104	Habas	0,00	0,00
29	29-68	177.100	87.302	Alfafa	20,73	0,17
27	29-66	287.950	287.950	Trigo	0,36	0,14
28	29-110	67.774	25.543	Trigo	0,97	0,98
26	29-125	378.106	56.523	Trigo	0,03	0,11
30	29-73	631.836	258.350	Oliva	0,00	0,37
31	29-69	257.447	215.068	Oliva	0,57	0,37
32	29-70	46.681	46.681	Oliva	0,68	0,37
33	29-71	386.517	370.760	Trigo	0,32	0,14
TOTAL		4.463.707	2.979.133	PW (€ m ⁻³) Média	4,06	0,37

Tabela 8 – Produtividade de água por recinto e parcela no ano 2006

Numero	Cadastro	Área de Recinto	Área cultivada	Cultivo	PW (€ m ⁻³) Recinto	PW (€ m ⁻³) Parcela
1	45-21	62.720	62.720	Trigo	0,25	0,08
2	45-20	98.264	77.354	Milho	4,57	2,68
3	45-37	23.778	23.778	Oliva	1,64	0,37
4	45-36	100.468	100.468	Oliva	1,95	0,44
5	45-34	24.053	24.053	Oliva	1,38	0,47
6	45-33	93.724	93.724	Oliva	1,38	0,47
7	45-159	101.072	101.072	Oliva	1,76	0,49
8	45-39	15.045	15.045	Oliva Nova	0,00	0,00
9	45-38	48.846	48.846	Oliva Nova	0,00	0,00
10	45-41	98.300	98.300	Girassol	0,33	0,14
11	45-42	142.300	105.564	Girassol	0,20	0,07
				Retirada	0,00	0,00
				Calabacin	0,00	0,00
12	45-156	31.100	31.100	Calabacin	0,00	0,00
13	45-44	31.785	27.974	Indefinida	0,00	0,00
14	45-40	47.077	47.077	Algodão	0,24	0,08
				Oliva	0,84	0,33
				Oliva	0,23	0,12
15	45-35	77.992	77.992	Girassol	1,83	0,20
16	30-08	112.076	19.846	Trigo	54,25	0,11
17	28-01	4.968	4.968	Oliva	0,97	0,37
18	28-02	5.246	5.246	Oliva	31,80	0,37
19	28-03	129.100	114.089	Algodão	8,05	0,08
20	28-140	113.741	39.694	Oliva	48,15	0,57
				Oliva	2,29	0,62
				Oliva	1,66	0,39
21	28-04	118.675	47.353	Oliva	1,66	0,39
22	29-67	249.660	178.934	T. Blando	0,42	0,11
23	29-87	52.433	52.433	Habas	1,21	0,24
24	29-124	58.537	58.537	Habas	0,00	0,00
25	29-109	86.104	86.104	Alfafa	42,05	0,17
29	29-68	177.100	87.302	Alfafa	20,73	0,17
27	29-66	287.950	287.950	Trigo	2,58	0,98
28	29-110	67.774	25.543	Trigo	0,97	0,98
26	29-125	378.106	56.523	(Pimenta)	0,32	0,27
				(Melão)		
				(Calabacin)		
30	29-73	631.836	258.350	Oliva	0,00	0,37
31	29-69	257.447	215.068	Oliva	0,57	0,37
32	29-70	46.681	46.681	Oliva	0,68	0,37
33	29-71	386.517	370.760	Trigo	0,32	0,14
TOTAL		4.463.707	2.979.133	PW (€ m⁻³) Média	6,18	0,27

Figura 34 - Produtividade da água (€/m³) por parcela no ano de 2005

Figura 35 - Produtividade da água (€/m³) por recinto no ano de 2005

Figura 36 - Produtividade da água (€ m⁻³) por parcela no ano de 2006

Figura 37 - Produtividade da água (€ m⁻³) por recinto no ano de 2006

4.3 Avaliação social e entrevista

Durante a campanha de irrigação da região de Andaluzia, no ano de 2008, que durou de 1º de maio a 31 de agosto, foram realizadas entrevistas com os irrigantes da área avaliada. A entrevista objetivou identificar o perfil do irrigante desta área, tendo sido analisados os custos de produção, os diversos gastos com os insumos e os equipamentos utilizados na produção. Além disso, foi feita a identificação da receptividade do produtor rural da região à adoção da informação de quando, quanto e como irrigar, repassadas diariamente pelo Serviço de Assessoramento ao Irrigante – SAR, mantido pela Comunidade de Irrigantes do PIGC. Um resumo dos entrevistados pode ser visto na Tabela 9. Vale destacar que o proprietário D possui vários lotes. No entanto, o lote de cadastro 45-43, cultivado com cereja, foi excluído após a nova delimitação.

Observou-se que a maior parte dos irrigantes da área avaliada não tem a agricultura como principal atividade. Os proprietários possuem o lote apenas como rendimento adicional, pois, na maioria, todos possuem empregos em diversas outras atividades. Apesar disso, todos têm uma atenção especial ao lote de terra, pois foi repassado por seus antepassados. Como a região de Andaluzia é a maior produtora de azeite de oliva do mundo, a cultura predomina na região.

Em relação à irrigação, os produtores da Comunidade de Santaella, recebem especial atenção, pois são alvos de constantes atividades de conscientização. O SAR possui um boletim mensal, intitulado “Agroboletín”, por meio do qual são informadas as notícias inerentes à irrigação, como a capacidade de armazenamento dos reservatórios, a cota permitida de irrigação na campanha, as pesquisas realizadas com os produtores, os produtos e os equipamentos à venda para os produtores locais e o preço de produtos no mercado nacional.

Observou-se que o SAR repassa as informações de quando e quanto irrigar da forma como apresentado na Figura 38.

Figura 38 - Fluxograma de atuação do SAR no envio de informações ao irrigante

Apesar desse aspecto, praticamente todos os entrevistados (11 proprietários de 32 cadastros diferentes) informaram que não atendem a recomendação diária do SAR, pois, na opinião deles, o órgão sempre recomenda menos água do que a planta necessita. Observado este fato, é necessário refletir no principal tópico deste trabalho que é a eficiência da irrigação. Já que nesta área, a irrigação teve uma alta eficiência (MATEOS, 2007; FERNANDEZ et al., 2007), bem como nos dados encontrados na metodologia de balanço utilizada nesta pesquisa, precisa-se levantar o seguinte questionamento: como a quantidade de lâmina aplicada pelo irrigante não corresponde a quantidade medida pela ET, sempre um pouco mais, conforme apresentam os resultados da entrevista, pode-se considerar que o PIGC apresenta uma excelente qualidade na irrigação?

Partindo do princípio de que a informação do SAR é prevista para irrigação deficitária, o que se observa é que todos os irrigantes, apesar de irrigarem um pouco mais, ainda assim, aplicam irrigação deficitária nos cultivos. Este fato é justificado por possuírem uma cota de volume de água bem inferior ao necessário para a produção que, no ano de 2008, foi de $2500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, devido a uma melhora na precipitação

daquele ano, mas que em anos de condições climáticas características da região, este volume fica em torno $2000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

A entrevista foi importante também para dirimir algumas dúvidas encontradas nas informações documentais. Algumas áreas, anteriormente, estavam identificadas com cultivos que, posteriormente, após a entrevista e uma análise da documentação de venda do agricultor, se verificou constituírem um novo mapa de cultivos dos anos avaliados. Esse fato foi importante, pois mostrou que a entrevista *in loco* é um fator fundamental para se avaliarem áreas irrigadas, independentemente de todas as tecnologias disponíveis.

A ausência de melhoria na PW, as irrigações deficitárias e as mudanças em padrões de cultivo indicam que as tendências de desempenho na agricultura irrigada são determinadas por uma complexa combinação de fatores técnicos, econômicos e socioculturais, como aqueles que caracterizam o desempenho do Projeto de Irrigação Genil-Cabra.

Tabela 9 - Cadastro e entrevista dos agricultores

Cadastro	Área (m ²)	Propriedade	Área Cadastro (m ²)	Cultivo 2005	Cultivo 2006
29-71	370760	Prop. A	386517,00	Trigo	Trigo
28-40	93737	Prop. B	118675,00	Oliva	Oliva e Trigo
28-40		Prop. B		Algodão	
29-70	76441	Prop. C	46681,00	Oliva	Oliva
	7865	Prop. C			
45-42	1031630	Prop. D	142300,00	Algodão	Oliva
45-42	1031630	Prop. D		Pimenta	
45-43	1031630	Prop. D	1084,00	Cereja	
45-156	15500	Prop. D-A	31100,00	Berinjela	Berinjela
29-87	114706	Prop. E	52433,00	Trigo	Feijão
29-124	114707	Prop. E	58537,00	Feijão	
29-68	226207	Prop. E	177100,00	Alfafa	Alfafa
28-03	98112	Prop. F		Oliva	Oliva
28-03	98112	Prop. F	129100,00	Oliva	
45-41	102146	Prop. D	98300,00	Algodão	Girassol e Pimenta
29-125	565230	Prop. E	378106,00	Trigo	Hort. sob Plástico
29-66	565230	Prop. E	287950,00	Trigo	
29-110	565230	Prop. E	67774,00	Trigo	
45-40	48721	Prop. F	47077,00	Algodão e Oliva	Algodão e Oliva
45-20	77354	Prop. G	98264,00	Trigo e Milho	Trigo
29-67	212540	Prop. E	249660,00	Feijão	Trigo Blando e Alfafa
29-109	212540	Prop. E	86104,00	Feijão	Trigo Blando e Alfafa
28-02	7682	Prop. F	5246,00	Oliva	Oliva
	5211				
45-38	157130	Prop. D	48846,00	Oliva e Pimenta	
45-159	157130	Prop. H	101072,00	Oliva e Pimenta	Oliva e Oliva novo
	6650				
45-39	15201	Prop. D	15045,00	Retirada	Oliva novo
	504				
28-01	6721	Prop. I	4968,00	Oliva	Oliva
45-35	185404	Prop. J	303232,00	Oliva	Oliva
30-08	64230	Prop. E	112076,00	Trigo	Trigo Blando
45-37	23778	Prop. D	23778,00	Oliva	Oliva
45-21	64069	Prop. G	67720,00	Trigo	Trigo
45-36	94309	Prop. D	100468,00	Oliva	Oliva
45-34	24603	Prop. K	24053,00	Oliva	Oliva
45-33	78638	Prop. K	93724,00	Oliva	Oliva
29-73	6541	Indefinido	631836,00	Oliva	Oliva
29-69	235262	Prop. C	257447,00	Oliva	Oliva

4.4 Relação Benefício/Custo e produtividade de água da área em estudo

Baseados em dados fornecidos nas entrevistas, bem como nas acessadas em informações governamentais, quase todas as áreas obtiveram relação B/C acima de 1, provando lucratividade na agricultura da região em estudo (Tabelas 10 e 11).

Tabela 10 – Relação benefício-custo por parcela no ano 2005

Numero	Cadastro	Área de Recinto (m ²)	Área cultivada (m ²)	Cultivo	Benefício bruto (Euros)	Custo total da produção (Euros)	Relação B/C
1	45-21	62.720	62.720	Milho	28778	18650,00	1,54
2	45-20	98.264	77.354	Trigo	13741	11867,00	1,16
3	45-37	23.778	23.778	Oliva	4152	1100,00	3,77
4	45-36	100.468	100.468	Oliva	14327	4567,00	3,14
5	45-34	24.053	24.053	Oliva	61605	20168,00	3,05
6	45-33	93.724	93.724	Oliva	26730	14230,00	1,88
7	45-159	101.072	101.072	Oliva	15693	5243,00	2,99
8	45-39	15.045	15.045	Retirada	0	0,00	0,00
9	45-38	48.846	48.846	Pimenta	6105	5200,00	1,17
10	45-41	98.300	98.300	Algodão	11384	9730,00	1,17
11	45-42	142.300	105.564	Algodão	6129	4900,00	1,25
				Pimenta	6875	6000,00	1,15
12	45-156	31.100	31.100	Berinjela	31100	29000,00	1,07
13	45-44	31.785	27.974	Indefinido		0,00	0,00
14	45-40	47.077	47.077	Trigo duro	2800	2000,00	1,40
				Oliva	1996	500,00	3,99
15	45-35	303.232	70.550	Oliva	75295	14000,00	5,38
		77.992	77.992	Trigo	5600	4500,00	1,24
16	30-08	112.076	19.846	Feijão	5000	4500,00	1,11
17	28-01	4.968	4.968	Oliva	1416	500,00	2,83
18	28-02	5.246	5.246	Oliva	1496	500,00	2,99
19	28-03	129.100	114.089	Algodão	7986	6000,00	1,33
			18.135	Oliva	9482	8000,00	1,19
20	28-140	113.741	39.694	Oliva	20755	6500,00	3,19
21	28-04	118.675	47.353	Oliva	24760	7500,00	3,30
22	29-67	249.660	178.934	Feijão	9000	7600,00	1,18
23	29-87	52.433	52.433	Trigo	3670	2000,00	1,84
24	29-124	58.537	58.537	Feijão	5000	3600,00	1,39
25	29-109	86.104	86.104	Feijão	5000	4000,00	1,25
29	29-68	177.100	87.302	Alfafa	16805	8000,00	2,10
27	29-66	287.950	287.950	Trigo	20156	12000,00	1,68
28	29-110	67.774	25.543	Trigo	12771	8000,00	1,60
26	29-125	378.106	56.523	Trigo	3086	1500,00	2,06
30	29-73	631.836	258.350	Oliva	73684	23778,00	3,10
31	29-69	257.447	215.068	Oliva	61339	20000,00	3,07
32	29-70	46.681	46.681	Oliva	13314	8000,00	1,66
33	29-71	386.517	370.760	Trigo	25953	20000,00	1,30
TOTAL		4.463.707	2.979.133				

Tabela 11 – Relação benefício-custo por parcela no ano 2006

Número	Cadastro	Área de Recinto (m ²)	Área cultivada (m ²)	Cultivo	Benefício bruto (Euros)	Custo total da produção (Euros)	Relação B/C
1	45-21	62.720	62.720	Trigo	3.617	18650,00	0,19
2	45-20	98.264	77.354	Milho	10.513	8000,00	1,31
3	45-37	23.778	23.778	Oliva	6.782	1100,00	6,17
4	45-36	100.468	100.468	Oliva	34.101	4567,00	7,47
5	45-34	24.053	24.053	Oliva	8.768	20168,00	0,43
6	45-33	93.724	93.724	Oliva	34.165	14230,00	2,40
7	45-159	101.072	101.072	Oliva	38.435	5243,00	7,33
8	45-39	15.045	15.045	Oliva Nova	0	0	0,00
9	45-38	48.846	48.846	Oliva Nova	0	5200,00	0,00
10	45-41	98.300	98.300	Girassol	11.384	9730,00	1,17
11	45-42	142.300	105.564	Girassol	6.129	6000,00	1,02
				Retirada	0	0,00	0,00
				Abobrinha	4000	3800,00	1,05
13	45-44	31.785	27.974	Indefinido	0	0,00	0,00
14	45-40	47.077	47.077	Algodão	3.295	1500,00	2,20
				Oliva	1.996	14230,00	0,14
				Oliva	6.707	5243,00	1,28
15	45-35	303.232	70.550	Girassol	13.649	9800,00	1,39
		77.992	77.992				
16	30-08	112.076	19.846	Trigo	1.139	600,00	1,90
17	28-01	4.968	4.968	Oliva	1.417	600,00	2,36
18	28-02	5.246	5.246	Oliva	1.496	800,00	1,87
19	28-03	129.100	114.089	Algodão	7.986	6000,00	1,33
20	28-140	113.741	18.135	Oliva	7.957	14230,00	0,56
			39.694	Oliva	18.940	5243,00	3,61
			47.353	Oliva	14.289	8000,00	1,79
21	28-04	118.675					
22	29-67	249.660	178.934	Trigo Blando	10.271	9000,00	1,14
23	29-87	52.433	52.433	Feijão	6.263	5000,00	1,25
24	29-124	58.537	58.537	Feijão	0	0,00	0,00
25	29-109	86.104	86.104	Alfafa	16.575	12000,00	1,38
29	29-68	177.100	87.302	Alfafa	16.806	12000,00	1,40
27	29-66	287.950	287.950	Trigo	14.397	7900,00	1,82
28	29-110	67.774	25.543	Trigo	12.772	7600,00	1,68
26	29-125	378.106	56.523	Pimenta-Melão. Sob plástico	33.473	12000,00	2,79
					32.959	14000,00	2,35
				Abobrinha sob. Plástico	39.566	16000,00	2,47
30	29-73	631.836	258.350	Oliva	73.684	20000,00	3,68
31	29-69	257.447	215.068	Oliva	61.339	19000,00	3,23
32	29-70	46.681	46.681	Oliva	13.314	6000,00	2,22
33	29-71	386.517	370.760	Trigo	25.953	15000,00	1,73
TOTAL		4.463.707	2.979.133				

5 CONCLUSÕES

Tendo, como base, os resultados analisados, pode-se concluir que a eficiência do uso da água na área estudada foi alta, mas somente por que se trata de irrigação deficitária, e não porque o irrigante adote uma irrigação tecnicamente correta. Ao contrário, o irrigante dessa área não aceita a recomendação do SAR, embora tenha bastante esclarecimento sobre a importância do uso da água e dos insumos produtivos, além das práticas ambientalmente corretas na agricultura.

Em se tratando de avaliação, conclui-se que somente o uso de ferramentas independentes como o SIG, as entrevistas e o monitoramento da irrigação podem não produzir um impacto positivo na avaliação. Durante esta pesquisa, foram encontradas falhas em todas as metodologias, quando utilizadas em separado, corrigindo-se o erro somente quando utilizadas conjuntamente. Isso remete à conclusão de que, para uma área irrigada ser corretamente avaliada, necessita-se de um monitoramento correto da entrada e da saída de água, de visitas em campo, de entrevistas individuais com os agricultores e da utilização dessas informações para alimentar um sistema de informação geográfica, que deve ter o auxílio de sistemas de cadastros governamentais confiáveis, permitindo a correta confecção de mapas.

Finalizando, a irrigação no sul da Espanha apresenta alguns aspectos qualitativos e quantitativos. Em termos qualitativos, observa-se que o agricultor da região estudada está bem assessorado por suportes como a inserção do setor público no monitoramento da irrigação, na difusão de tecnologia e no desenvolvimento de pesquisas em parceria com o produtor. Em termos quantitativos, observou-se que as áreas irrigadas daquela região possuem quase 100% de ocupação. Isso se deve ao fato também ao incremento da subvenção econômica à produção agrícola na Espanha.

REFERÊNCIAS

AHMADA, M.D.; TURRAL, H.; NAZEER A. Diagnosing irrigation performance and water productivity through satellite remote sensing and secondary data in a large irrigation system of Pakistan **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96 p. 551–564, 2009.

ALI M.H.; TALUKDER, M.S.U. Increasing water productivity in crop production - A synthesis **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95 p. 201–213, 2008.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 297 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

BEEDELL, J.D.C.; REHMAN, T. Explaining farmer conservation behavior: why do farmers behave the way they do? **Journal of Environmental Management**, New York, v. 55, p. 165–176, 1999.

BOS, M.G. Performance indicators for irrigation and drainage. **Irrigation and Drainage Systems**, Dordrecht, v. 11, p. 119–137, 1997.

BOS, M.G.; MURRAY-RUST, D.H.; MERREY, D.J.; JOHNSON, H.G.; SNELLEN, W.B. Methodologies for assessing performance of irrigation and drainage management. . **Irrigation and Drainage Systems**, Dordrecht, v. 7, p. 231–261, 1994.

BRITO, R.A.L.; BOS, M.G. **Irrigation performance assessment in Brazil**. Inception/Implementation: report. Sete Lagoas: EMBRAPA, 1997. 28 p.

BURT, C.M.; CLEMMENS, A.J.; BLIESNER, R.D.; MERRIAM, J.; HARDY, L.A. **Selection of irrigation methods for agriculture**. On-Farm Irrigation Committee. New York: ASCE, Water Resources Division, 1999. 129 p.

BURT, C.M.; CLEMMENS, A.J.; STRELKOFF, T.S.; SOLOMON, K.H.; BLIESNER, R.D.; HARDY, L.A.; HOWELL, T.A.; EISENHAUER, D.E. Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 123, n. 6, p. 423- 442, 1997.

BURTON, M.A.; KIVUMBI, D.; EL-ASKARI, K. Opportunities and constraints to improving irrigation water management: Foci for research. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.40, n.1, p.37-44, 1999.

CLARK, E.; JACOBSON, K.; OLSON, D.C. **Avaliação econômica e financeira de projetos de irrigação**. Brasília: Ministério da Integração Nacional; Secretaria da Irrigação, 1993. 67 p.

DECHMI, F.; PLAYAN, E.; FACI, J.M.; TEJERO, M. Analysis of an irrigation district in northeastern Spain. I. Characterization and water use assessment. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 61, p. 75–92, 2003.

DIÓGENES, F.C.A. **Indicadores de desempenho para o perímetro de brumado na perspectiva de sua autogestão**. 2008. 60 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).

DROOGERS, P.; KITE, G.; MURRAY-RUST, H. Use of simulation models to evaluate irrigation performance including water productivity, risk and system analyses. **Irrigation Science**, Amsterdam, v. 19, p. 139–145, 2000.

DUARTE, A.F.C. **Contaminación difusa originada por la actividad agrícola de riego, a escala de cuenca hidrográfica**. 2006. 219 p. Tesis (Doctoral) - Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes, Universidad de Córdoba, Córdoba, 2006.

ENGLISH, M.J. Deficit irrigation. I. Analytical framework. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 116, n. 3, p. 399-412, 1990.

ENGLISH, M.J.; NUSS, G.S. Designing for deficit irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 108, n. 2, p. 91-106, 1982.

ESPANHA. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Informe del sector frutas y hortalizas: oferta, distribución y demanda. In: _____. **Armonización y homogeneización de fuentes**. Estudio de frutas y hortalizas frescas. Madrid, 2004. p. 18-19.

_____. **Anuario de estadística agroalimentaria 2004**. Madrid, 2005. Disponível em: <http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/Anu_04/indice.asp?parte=0&capitulo=0>. Acesso em: 02 set.2009.

FERERES, E.; SORIANO, M.A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Special issue on 'Integrated approaches to sustain and improve plant production under drought stress' **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 58, p.147–159, 2007.

FERNÁNDEZ, M. S. F.; ASCENSIÓN, M.A.C.; MATEOS, L.; FERERES E. Comportamiento del riego a la escala de una pequeña cuenca In: MATEOS, L. **Metodologías e instrumentos para a planificación y la gestión sostenible en condiciones de escasez de agua**. Córdoba: CSIC, 2007. p. 31-50.

FRIZZONE, J.A. Função de produção. In: FARIA, M.A.; SILVA, E.L.; VILELLA, L.A.A.; SILVA, A.M. (Ed.). **Manejo da irrigação**. Lavras: UFLA; Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p. 86-116.

_____. **Análise de decisão econômica em irrigação**. Piracicaba: ESALQ, 2005. 371 p. (Série Didática, 17).

_____. Planejamento da irrigação com uso de técnicas de otimização. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 1, n. 1, p. 24–49, dez. 2007.

_____. **Desempenho e otimização dos sistemas de irrigação**. Piracicaba: ESALQ, 2008. 26 p.

FRIZZONE, J.A.; DOURADO NETO, D. Avaliação de sistemas de irrigação. In: MIRANDA, J.H. de; PIRES, R.C.M. (Org.). **Irrigação**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. v. 2, p. 573-651.

GARCÍA-VILA M., I.J.; LORITE, M.A.; SORIANO, F.E. Management trends and responses to water scarcity in an irrigation scheme of Southern Spain. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95, p. 458–468, 2008.

HART, W.E.; NORUM, D.I.; PERI, G. Optimal seasonal applications analysis. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v. 106, n. 3, p. 221-235, 1980.

HART, W.E.; PERI, G.; SKOGERBOE, G.V. Irrigation performance: an evaluation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v. 105, n. 3, p. 275-288, 1979.

HEERMANN, D.F.; WALLENDER, W.W.; BOS, M.G. Irrigation efficiency and uniformity. In: HOFFMAN, G.J.; HOWELL, K.H.; SOLOMON, K.H. (Ed.). **Management of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, 1992. p. 125-149.

HELLEGERS, P.J.G.J.; SOPPE, R.; PERRY, C.J.; BASTIAANSEN, W.G.M. Combining remote sensing and economic analysis to support decisions that affect water productivity. **Irrigation Science**, Amsterdam, v. 27, p. 243–251, 2009.

HOGGART, K.; PANIAGUA, A. The restructuring of rural Spain? **Journal of Rural Studies**. Exeter, v. 17, p. 63–80, 2001.

INSTITUTO ANDALUZ DE INVESTIGACIÓN Y FORMACIÓN AGRARIA, PESQUERA, ALIMENTARIA Y DE LA PRODUCCIÓN ECOLÓGICA, **Unidad de apoyo técnico al regadío andaluz**. Córdoba: IFAPA, 2005. 10 p. (IFAPA Boletín Trimestral de Información, 1).

INTERNATIONAL WATER MANAGEMENT INSTITUTE. **Comparative indicators for irrigation system performance**. Sri Lanka: IWMI, 1999. 34 p.

ISRAESEN, O.W. **Irrigation principles and practices**. New York: Wiley, 1950. 471 p.

JENSEN, M.E. Beyond irrigation efficiency. **Irrigation Science**, Amsterdam, v. 25, n. 4, p. 233-245, 2007.

KARATAS, S.B.; AKKUZU, E.; UNAL, H.B.; ASIK, S.; AVCI, M. Using satellite remote sensing to assess irrigation performance in water user associations in the Lower Gediz Basin, Turkey. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96 p. 982–990, 2009.

LIMA, C.A.G.; CURI, W.F.; CURI, R.C. Reativação do perímetro irrigado de Gravatá: uma abordagem otimizante sobre agricultura irrigada e sustentabilidade hídrica, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 157–165, 2008

LORITE, I.J.; MATEOS, L.; FERERES, E. Evaluating irrigation performance in a Mediterranean environment. I. Model and general assessment of an irrigation scheme. **Irrigation Science**, Amsterdam, v. 23, p. 77-84, 2004a.

_____. Evaluating irrigation performance in a Mediterranean environment. II. Variability among crops and farmers. **Irrigation Science**, Amsterdam, v. 23, p. 85-92, 2004b.

_____. Impact of spatial and temporal aggregation of input parameters on the assessment of irrigation scheme performance. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 300, p. 286–299, 2005.

LORITE, I.J.; CARMONA, M.A.G.; MATEOS, L. Sistema de información geográfica de la zona regable genil-cabra, colectividad santaella In: MATEOS, L. **Metodologías e instrumentos para a planificación y la gestión sostenible en condiciones de escasez de agua**. Córdoba: CSIC, 2007. p. 63-68.

LORITE, I.J.; SANTOS, C.; CARMONA, S. Empleo de satélites y modelos de simulación para la programación de riegos em Genil-Cabra. **Agroboletín**. Córdoba, n. 52, p. 3, jul. 2008.

LORITE, I.J.; MATEOS, L.; ORGAZ, F.; FERERES, E. Assessing deficit irrigation strategies at the level of an irrigation district. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 91 p. 51-60, 2007.

MALANO, H.; BURTON, M. **Guidelines for benchmarking performance in the irrigation and drainage sector**. Rome: FAO, International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage, 2001. 50 p.

MARQUES, P.A.A.; MARQUES, T.A.; FRIZZONE, J.A. Viabilidade econômica sob condições de risco para a irrigação da cana-de-açúcar na região de Piracicaba- SP. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 1, p. 55-65, jan./mar. 2006

MARTIN, D.; BROCKLIN, J. VAN.; WILMES, G. Operating rules for deficit irrigation management. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 32, n. 4, p. 1207-1215, 1989.

MATEOS, L. Metodología “mipais” para el riego en condiciones de escasez de agua In: _____. **Metodologías e instrumentos para a planificación y la gestión sostenible en condiciones de escasez de agua**. Córdoba: IAS/CSIC, 2007. cap. 4, p. 25-30.

_____. Identifying a new paradigm for assessing irrigation system performance **Irrigation Science**, Amsterdam, v. 27, p. 25–34, 2008.

MEDEIROS, S.S.; SOARES, A.A.; RAMOS, M.M.; MANTOVANI, E.C.; SOUZA, J.A.A. de. Avaliação do manejo de irrigação no Perímetro Irrigado de Pirapora, MG **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 80-84, 2003

MOLDEN, D.J.; SAKTHIVADIVEL, R.; PERRY, C.J.; FRAITURE, C. **Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems**. Colombo: International Irrigation Management Institute (IIMI), 1998. 26 p. (Research Report, 20).

MOLLE, F.; VENOT, J-P.; HASSAN, Y. Irrigation in the Jordan Valley: are water pricing policies overly optimistic? **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95 p. 427–438, 2008.

PAZ, V.P.S.; FRIZZONE, J.A.; BOTREL, T.A.; FOLEGATTI, M.V. Otimização do uso da água em sistemas de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 404-408, 2002.

PERRY, C.; STEDUTO, P.; ALLEN, R.G.; BURT, C.M. Increasing productivity in irrigated agriculture: Agronomic constraints and hydrological realities. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, p.1517–1524, 2009.

PHENE, C.J. Techniques for computerized irrigation management. **Computer and Eletronics in Agriculture**, New York, v. 3, n. 3, p. 189-208, 1989.

PLAYÁN, E.; MATEOS, L. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 80, p. 100–116, 2006.

SANTOS, C.; LORITE, I.J.; TASUMI, M.; ALLEN, R.G.; FERERES, E. Integrating satellite-based evapotranspiration with simulation models for irrigation management at the scheme level. **Irrigation Science**, Amsterdam, v. 26, p. 277–288, 2008.

SOLOMON, K.H.; BURT, C.M. Irrigation sagacity: a measure of prudent water use. **Irrigation Science**, Amsterdam, v. 18, n. 3, p. 135-140, 1999.

TANAKA, Y.; SATO, Y. Farmers managed irrigation districts in Japan: assessing how fairness may contribute to sustainability. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 77, p. 196–209, 2005.

WRIEDT G.; VAN DER VELDE, M, ALOE, A.; AL BOURAOUI, F. A European irrigation map for spatially distributed agricultural modeling. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, p. 771–789, 2009a.

WRIEDT G.; VAN DER VELDE, M, ALOE, A.; AL BOURAOUI, F. A Estimating irrigation water requirements in Europe. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 337, p. 527–544, 2009b.

ANEXO

FORMULÁRIO DE ENTREVISTA AOS AGRICULTORES

Finca:	Proprietario:		
Año:	Uso de suelo:	Cultivo actual:	Cultivo anterior:
Superficie:			

v OPERACIONES DE LABOREO

<i>Fecha</i>	<i>Equipo</i>	<i>Prof. laboreo (cm)</i>

v SIEMBRA

Fecha:	Densidad de siembra:	Variedad:
---------------	-----------------------------	------------------

♣Equipo usado para sembrar:

v ABONADO

<i>Fecha</i>	<i>Equipo</i>	<i>Abono</i>	<i>Cantidad(Kg/ha)</i>

TRATAMIENTOS CON PESTICIDAS

♣Herbicidas

<i>Fecha</i>	<i>Equipo</i>	<i>Herbicida</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Sustancia activa</i>

♣Fungicidas

<i>Fecha</i>	<i>Equipo</i>	<i>Fungicida</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Sustancia activa</i>

♣Insecticidas

<i>Fecha</i>	<i>Equipo</i>	<i>Insecticida</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Sustancia activa</i>

v RIEGO

♣Riego de pre-siembra: ♦ Si
♦ No

ASPERSION

♣Riego por aspersión: ♦ Si ♦ No

♣ Disposición de los laterales: ♦ 12×12 ♦ 18×18 ♦ Otra

♣ Cuantos aspersores riegan al mismo tiempo:

GOTEJO

♣ Riego por goteo: ♦ Si ♦ No

♣ Distancia entre goteros en los ramales:

♣ Distancia entre ramales:

♣ Sectorización (nº y superficie de cada sector y organización del riego):

♣ Práctica de fertirrigación:

♦ Si (incluir abono en la tabla de abonado con la misma fecha del riego)

♦ No

♣ Riegos efectuados:

Fecha	Tiempo (horas)	Pluviom./Caudal	Nº de aspers./goteros	Dotación media (mm)

♣ Programación del riego: ♦ Propia ♦ SAR

v COSECHA

Fecha:

♣ Equipo usado:

Precio producto:

♣ Producción obtenida (Kg/ha):

v POS-COSECHA

♣ Se ha dejado rastrojo en el terreno: ♦ Si ♦ No