

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**ÍNDICE DE QUALIDADE E CUSTOS EM FUNÇÃO DA  
VARIABILIDADE TEMPORAL DA ÁGUA DE  
IRRIGAÇÃO**

**TESE DE DOUTORADO**

**João Fernando Zamberlan**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2011**

# **ÍNDICE DE QUALIDADE E CUSTOS EM FUNÇÃO DA VARIABILIDADE TEMPORAL DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO**

**João Fernando Zamberlan**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do grau de  
**Doutor em Engenharia Agrícola**

**Orientador: Prof. Adroaldo Dias Robaina**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2011**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Tese de Doutorado

**ÍNDICE DE QUALIDADE E CUSTOS EM FUNÇÃO DA  
VARIABILIDADE TEMPORAL DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO**

elaborada por  
**João Fernando Zamberlan**

como requisito para a obtenção de grau de  
**Doutor em Engenharia Agrícola**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Adroaldo Dias Robaina, Dr. (UFSM)  
(Presidente / Orientador)**

**Paulo Roberto da Costa, Dr., (UFSM)**

**Ana Rita C. Parizi, Dra., (IFF)**

**Ricardo Luiz Schons, Dr., (IFF)**

**Marcelo Calgare, Dr., (EMBRAPA)**

Santa Maria, 15 de março de 2011.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a minha amada família nas pessoas de minha esposa Raquel, meus filhos Arthur e Augusto, meus pais Valdir e Gilda, irmãos Carlos e Cláudia, e a meus sogros Edson e Terezinha que sempre me apoiaram e incentivaram em todos os momentos, pelas lições de vida, exemplo e carinho a mim dispensados. Quero registrar aqui o meu muito obrigado e também minhas sinceras desculpas pelos momentos de ausência, privações e preocupações que os fiz passar.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus que me deu saúde, serenidade, compreensão, perseverança, sabedoria e força para vencer todos os empecilhos e dificuldades ao longo desta jornada.

A minha família pelo sacrifício, amor e apoio.

A sociedade brasileira por garantir o ensino público, gratuito e de qualidade.

Ao Programa de Pós – Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria pela oportunidade.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro imprescindível para conclusão deste trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Adroaldo Dias Robaina, pela confiança, dedicação e ensinamentos a mim transmitidos. Ao apoio e incentivo nos momentos difíceis pelo qual passei, sendo sem sombra de dúvida, o esteio em que me apoiei e o amigo que me sacudiu e incentivou nos momentos certos em que eu necessitava, assim como um pai faz com um filho. Deixo aqui, minha admiração e meu eterno muito obrigado.

A Professora Márcia Xavier Peiter, pelas horas a fio de discussões e orientações que contribuíram decisivamente para a conclusão deste trabalho, mas acima de tudo, pela amizade que se consolidou e confiança a mim dispensada, sendo fundamental no meu crescimento profissional. Agradeço do fundo do coração por tudo.

Ao meu colega e amigo Rafael Camargo Ferraz pela amizade e pelo decisivo auxílio para conclusão deste trabalho.

Ao colega Leandro de Melo Pinto pela ajuda na configuração das imagens e convivência.

Aos meus fiéis amigos Paulo Souza e Henrique Cunha Corrêa que me acompanharam desde o início desta empreitada, pela amizade, companheirismo e auxílio sempre oportunos.

Aos meus colegas do Laboratório de Engenharia de Irrigação, Mário Nunes, Angélica e Gessiana Souza, Natália Schwab, Cibele, Gisele, Maurício, Charles, Danton, Leonita, Rogério, Ricardo, Eduardo, Henrique, Cícero, Marcela, Thaíse pela amizade.

Ao seu Luis Nunes do laboratório de hidráulica da UFSM pela amizade e convívio.

Ao Prof. Dr. Danilo Rheinheimer dos Santos pela oportunidade de realização das análises de água em seu laboratório.

Aos Professores. Dr. Paulo Roberto da Costa e Dra. Liane de Souza Weber pela transmissão de conhecimentos e troca de idéias.

Ao colega e amigo Prof. Dr. David Peres da Rosa pela amizade construída nestes anos de pós-graduação.

Aos secretários do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Estevão Marinho e Luis C. Dutra por toda ajudam e amizade dispensada a mim durante o período do doutorado.

A Ni e a Alzenir pelo carinho, apoio e pelas orações.

A tia Carmem pelas orações e as palavras de incentivo nos momentos em que mais necessitei.

A Rose Santos pela amizade e pela dedicação.

Aos demais Professores e colegas do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola pelos conhecimentos adquiridos.

A todos que de uma maneira ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho.

O meu muito obrigado!

“O sábio envergonha-se de seus defeitos,  
mas não se envergonha de os corrigir”

Confúncio

## RESUMO

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### ÍNDICE DE QUALIDADE E CUSTOS EM FUNÇÃO DA VARIABILIDADE TEMPORAL DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

AUTOR: JOÃO FERNANDO ZAMBERLAN  
ORIENTADOR: ADROALDO DIAS ROBAINA  
Santa Maria, 15 de março de 2011

A água é um recurso fundamental para a vida na terra tendo sido utilizada através dos tempos em múltiplos usos, porém tem ocorrido uma redução em sua disponibilidade, devido ao aumento de seu consumo havendo com isso redução quantitativa, bem como a degradação de seu estado qualitativo. A agricultura como maior usuária do recurso tem sido cobrada e está tendo que se adaptar a utilizar águas qualitativamente inferiores, deixando as de melhor qualidade para o abastecimento urbano. A qualidade da água tem sido desprezada na maioria dos projetos e atividades irrigadas, porém a análise e interpretação dos dados referentes à sua qualidade são de difícil compreensão por parte dos usuários. Outro fator relevante diz respeito a cobrança pelo consumo da água, seu custo de aplicação e de tratamento. Geralmente se faz controle de custos, mas o custo intrínseco da água não é computado. O trabalho teve o objetivo de elaborar uma metodologia a partir da análise econômica para auxílio no processo decisório em agricultura irrigada considerando os custos de tratamento de água com base na qualidade, validando o procedimento metodológico através do diagnóstico qualitativo das águas superficiais de reservatórios com distintos padrões qualitativos. O trabalho foi realizado em dois reservatórios pertencentes ao Campus da Universidade Federal de Santa Maria localizados dentro de uma mesma unidade de mapeamento de solos, Unidade São Pedro e classificado como argissolo vermelho Distrófico típico. As bacias de contribuição dos dois reservatórios possuem tamanho semelhante, porém com diferentes usos. Foram coletadas amostras de água em seis meses do ano de 2010 e realizadas análises a fim de quantificar os parâmetros qualitativos: sódio, cálcio, magnésio, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos totais, ferro total, pH, RAS, condutividade elétrica e dureza total. Com base nestes valores foram calculados os índices de qualidade da água de irrigação com o uso de análise multivariada através do Método dos Componentes Principais e determinados os custos da água e seu tratamento realizando uma análise de tomada decisão através de árvore decisória baseada na relação benefício custo. Concluiu-se que houve variação temporal dos parâmetros qualitativos da água nos diferentes períodos do ano. Devido a esta variabilidade determinaram-se diferentes índices sem perda de informação, portanto gerando uma boa caracterização da água dos reservatórios. A metodologia e a árvore decisória demonstraram com objetividade os custos referentes à água e sua inferência nos custos de produção de diferentes culturas, permitindo que se realizem simulações de diversos cenários. No caso da simulação realizada neste trabalho, o custo total da água não possui relevância quando se compara ao custo de produção, porém identifica-se que o custo total da água representa 9,3% do valor de mercado da saca de arroz comercializado, ou seja, normalmente os custos fornecidos por diversas entidades ocultam o custo da água e este é desembolsado pelo produtor sem seu conhecimento. Esta metodologia permite que os produtores consigam identificar e locar melhor os custos de sua atividade bem como ter facilitada a interpretação dos parâmetros qualitativos das águas de irrigação e tomarem decisões mais acertadas, principalmente em relação ao manejo da irrigação, consequentemente tornando a gestão mais eficiente e melhorando sua rentabilidade.

**Palavras-Chave:** Água superficial. Reservatório. Manejo. Regime lântico

## **ABSTRACT**

Doctoral Thesis  
Postgraduate Program in Agricultural Engineering  
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

### **QUALITY INDEX AND COSTS IN RELATION TO THE TEMPORAL VARIABILITY OF THE IRRIGATION WATER**

**AUTHOR: JOÃO FERNANDO ZAMBERLAN**  
**ADVISOR: ADROALDO DIAS ROBAINA**  
Santa Maria, march 15, 2011

Water is a fundamental resource to life in Earth and has been used in multiple ways though times. However, there has been a decrease in its availability due to the increase in its consumption which implied a quantitative reduction as well as degradation in its qualitative state. Agriculture, as the major user of this resource, has been demanded and forced to adapt to the use of qualitatively inferior waters, leaving better quality waters to urban supply. The quality of water has been disregarded in most projects and irrigation activities, but the analysis and data interpretation related to its quality are hardly comprehended by users. Another relevant factor regards the charging for water consumption, its application and treatment costs. Usually, a cost control is done, but the intrinsic water cost is not computed. This present work has the objective of elaborating a methodology through economic analysis to help in the decisive process in irrigated agriculture, considering the water treatment costs based on quality, validating the methodological procedure though the qualitative diagnosis of superficial and reservoir waters with distinctive qualitative patterns. The work involved two reservoirs which belong to the Federal University of Santa Maria and are located within one soil mapping unity, São Pedro Unity, which is classified as a typical Distrophic RED ARGISOIL. The contribution basins of both reservoirs present similar sizes, but different uses. Water samples were collected during six months in 2010 and analyzed in order to quantify the following qualitative parameters: sodium, calcium, magnesium, suspended solids, total dissolved solids, total iron, pH, RAS, electrical conductivity and total hardness. Based on these values, the irrigation water quality indexes were calculated by using a multivariate analysis through the Major Components Method while the water costs and its treatment were determined by a decision-making analysis through a decision tree based on the relation cost benefit. We conclude that there was temporal variation of the water qualitative parameters in different periods of the year. Due to this variability, different indexes without information loss were determined, generating therefore a good water characterization in the reservoirs. The methodology and the decision tree objectively demonstrate the costs regarding the water and its consequence in the production costs of different cultures, allowing simulation of different scenarios. Considering the simulation in this work, the water total cost was not relevant in comparison to the production cost, but it was identified that the total water cost represents 9.3% of the market value of the commercialized sack, that is, normally the costs provided by several entities hide the water cost which is paid by the producers unawarely. This methodology allows producers to identify and better locate the costs of their activity as well as easily interpret the qualitative parameters of irrigation waters and make more accurate decisions, mainly in relation to the irrigation management, thus, improving effective management and its rentability.

**Keywords:** Superficial water. Reservoir. Management. Lentic regime.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura -2.1 - Tubulações com incrustações de sais.....	39
Figura -2.2 - Padrão de extração de água de uma planta.....	53
Figura 3.1 - Imagem do reservatório V e delimitação de sua bacia de contribuição.....	65
Figura 3.2 - Imagem do reservatório S e delimitação de sua bacia de contribuição.....	66
Figura 3.3 - Momento da coleta de água através de garrafa de Kemmerer.....	69
Figura 3.4 - Caixa térmica e aparelhos utilizados para medidas “in situ”.....	69
Figura 3.5 - Frascos de polietileno para acondicionar das amostras.....	70
Figura3.6 - Estufa, espectrofotômetro de absorção atômica e espectrofotômetro usados na análise laboratorial.....	71
Figura 3.7 - Medida “in situ” da condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais e pH.....	72
Figura 4.1 – Valores de pH para os reservatórios V e S.....	80
Figura 4.2 – Valores de cálcio para os reservatórios V e S.....	81
Figura 4.3 – Níveis de magnésio presentes na água dos reservatórios V e S.....	82
Figura 4.4 – Níveis de ferro total na água dos reservatórios V e S.....	84
Figura 4.5 – Níveis de sódio nos reservatórios V e S nos diferentes períodos.....	85
Figura 4.6 – Valores de Razão de Adsorção de Sódio nos reservatórios V e S.....	86
Figura 4.7 – Valores de dureza total nos reservatórios V e S.....	88
Figura 4.8 – Níveis de condutividade elétrica nos reservatórios V e S.....	89
Figura 4.9 – Valores de sólidos dissolvidos totatis nos reservatórios V e S.....	90
Figura 4.10 – Valores de sólidos suspensos nos reservatórios V e S.....	92
Figura 4.11 Árvore de decisão com case dos custos da água e seus tratamentos.....	110

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Categorias de reservatórios baseado em seu tamanho.....	28
Tabela 2.2 - Classificação de tamanho, profundidade, tempo de retenção em função das finalidades a que se destina o reservatório	28
Tabela 2.3 - Grau de restrição da qualidade da água para uso em irrigação.....	33
Tabela 2.4 - Classificação da água e intervalos do índice de qualidade da água.....	35
Tabela 2.5 - Classificação da água de irrigação quanto ao potencial de salinização.....	39
Tabela 2.6 - Classificação das águas de irrigação em relação ao perigo de sodificação segundo sua RAS.....	42
Tabela 2.7 - Classificação das águas quanto a sua dureza expressa em $\text{CaCO}_3$ .....	45
Tabela 2.8 - Classificação das águas para dureza e risco de obstrução de emissores.....	46
Tabela 2.9 - Classificação dos níveis de ferro total na água relativo à obstrução de tubos e emissores em irrigação.....	48
Tabela 3.1 - Síntese das metodologias empregadas nas análises laboratoriais.....	71
Tabela 3.2 - Valores normais e limites dos parâmetros qualitativos das águas de irrigação.....	73
Tabela 3.3 - Valores dos custos da água de irrigação e sua viabilidade.....	77
Tabela 4.1 - Matriz de correlação dos parâmetros qualitativos da água..	94
Tabela 4.2 - Variância das componentes principais.....	95
Tabela 4.3 - Carga fatorial e comunalidade.....	96
Tabela 4.4 - Valores limites dos parâmetros da água de irrigação (a)...	98
Tabela 4.5 - Valores limites dos parâmetros da água de irrigação (b)...	98
Tabela 4.6 - Valores da qualidade individual dos parâmetros do reservatório V.....	98

Tabela 4.7 - Valores da qualidade individual dos parâmetros do reservatório S.....	99
Tabela 4.8 - Valores de F e A para cálculo dos respectivos pesos para 10 parâmetros.....	101
Tabela 4.9 - Valores de F e A para cálculo dos respectivos pesos para 5 parâmetros.....	102
Tabela 4.10 – Pesos referentes a dez e cinco parâmetros de acordo a ACP.....	103
Tabela 4.11 - Índices de qualidade da água nos diferentes meses para o reservatório V.....	104
Tabela 4.12 - Índices de qualidade da água nos diferentes meses para o reservatório S.....	104
Tabela 4.13 - Classificação da água em função do seu IQAI.....	105

## LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 - Simulação dos custos para o arroz irrigado referente ao reservatório V.....	114
Quadro 4.2 - Simulação dos custos para o arroz irrigado referente ao reservatório S.....	115

## LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A Valores médios dos parâmetros qualitativos da água do reservatório V nos 6 primeiros meses de 2010.....	133
Apêndice B Valores médios dos parâmetros qualitativos da água do reservatório S nos 6 primeiros meses de 2010.....	133
Apêndice C Valores dos parâmetros e profundidade dos reservatórios S e V em janeiro.....	134
Apêndice D Valores dos parâmetros e profundidade dos reservatórios S e V em fevereiro.....	135
Apêndice E Valores dos parâmetros e profundidade dos reservatórios S e V em março.....	136
Apêndice F Valores dos parâmetros e profundidade dos reservatórios S e V em abril.....	137
Apêndice G Valores dos parâmetros e profundidade dos reservatórios S e V em maio.....	138
Apêndice H Valores dos parâmetros e profundidade dos reservatórios S e V em junho.....	139
Apêndice I Matriz original dos dados relativos aos parâmetros qualitativos das águas superficiais dos reservatórios V e S.....	140
Apêndice J Dados padronizados dos parâmetros qualitativos da água.....	141
Apêndice L Teste de Kaiser para verificação da adequabilidade dos dados.....	141
Apêndice M Temperatura, velocidade do vento e precipitação de janeiro/2010.....	142
Apêndice N Temperatura, velocidade do vento e precipitação de fevereiro/2010.....	143
Apêndice O Temperatura, velocidade do vento e precipitação de março/2010.....	144
Apêndice P Temperatura, velocidade do vento e precipitação de abril/2010.....	145

Apêndice Q Temperatura, velocidade do vento e precipitação de maio/2010.....	146
Apêndice R Temperatura, velocidade do vento e precipitação de junho/2010.....	147

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\text{Km}^2$	-	Kilômetros quadrados
$\text{m}^3$		Metro cúbico
dS/m		Decisiemens por metro
$\mu\text{S/cm}$		Microsiemens por centímetro
Ce		Condutividade elétrica
SDT		Sólidos dissolvidos totais
SS		Sólidos suspensos
RAS		Razão de adsorção de sódio
pH		Potencial hidrogênio
$\text{pH}_c$		Potencial hidrogênio corrigido
$\text{CaCO}_3$		Carbonato de cálcio
IQA		Índice de qualidade da água
IQAI		Índice de qualidade da água de irrigação
$\text{IQAI}_{10}$		Índice de qualidade da água de irrigação para dez parâmetros
$\text{IQAI}_5$		Índice de qualidade da água de irrigação para cinco parâmetros
$\text{U\$/mm.ha}$		Dólares por milímetro de lâmina de água aplicada por hectare
$\Sigma$		Somatório
Ca		Cálcio
Mg		Magnésio
Na		Sódio
Fe		Ferro
mg/l		Miligramama por litro
$Q_i$		Qualidade individual do parâmetro
$W_i$		Peso individual do parâmetro
$C_{\text{trat}}$		Custo do tratamento da água
$E_{\text{fe}}$		Valor do parâmetro em excesso, no caso o ferro.
$A_i$		Custo da água de irrigação
$L_i$		Lâmina de irrigação utilizada
B/C		Relação benefício-custo
$\text{PO}_4$		Óxido fosfórico
A		Carga fatorial
F		Auto valor do fator

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>23</b>
1.1.1 Objetivo geral.....	23
1.1.2 Objetivos específicos.....	23
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>24</b>
<b>2.1 A água e sua disponibilidade.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2 Águas superficiais de regime lântico (reservatórios).....</b>	<b>26</b>
<b>2.3 Origem natural e antrópica dos constituintes da água.....</b>	<b>29</b>
<b>2.4 Qualidade da água para irrigação.....</b>	<b>30</b>
<b>2.5 Índice de qualidade da água.....</b>	<b>33</b>
<b>2.6 Parâmetros relevantes em irrigação.....</b>	<b>35</b>
2.6.1 Parâmetros físicos.....	35
2.6.1.1 Sólidos em suspensão.....	36
2.6.2 Parâmetros químicos.....	37
2.6.2.1 Condutividade elétrica.....	37
2.6.2.2 Sódio.....	40
2.6.2.3 Cálcio.....	43
2.6.2.4 Magnésio.....	44
2.6.2.5 Dureza total.....	44
2.6.2.6 Ferro total.....	46
2.6.2.7 Potencial hidrogênio.....	48
2.6.2.8 Sólidos dissolvidos totais.....	49
2.6.3 Parâmetros biológicos.....	50
2.6.3.1 Algas.....	50
2.6.3.2 Coliformes totais e fecais.....	52
<b>2.7 Impacto da qualidade das águas de irrigação na produção das culturas.....</b>	<b>52</b>
<b>2.8 Valor econômico da água.....</b>	<b>57</b>
<b>2.9 Custos em irrigação.....</b>	<b>58</b>
<b>2.10 Tomada de decisão e retorno financeiro em irrigação.....</b>	<b>61</b>
<b>2.11 Análise pelo método dos componentes principais.....</b>	<b>62</b>

<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>64</b>
<b>3.1 Localização e caracterização do ambiente de estudo.....</b>	<b>64</b>
<b>3.2 Reservatórios superficiais.....</b>	<b>65</b>
<b>3.3 Procedimento para coleta de amostras de água.....</b>	<b>67</b>
<b>3.4 Acondicionamento das amostras de água.....</b>	<b>69</b>
<b>3.5 Análises laboratoriais físicas e químicas.....</b>	<b>70</b>
<b>3.6 Cálculo da razão de adsorção de sódio.....</b>	<b>72</b>
<b>3.7 Análise interpretação dos dados referentes à água de irrigação.....</b>	<b>72</b>
<b>3.8 Cálculo do índice de qualidade da água de irrigação.....</b>	<b>74</b>
<b>3.9 Análise de sensibilidade e de risco.....</b>	<b>75</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>78</b>
<b>4.1 Diagnóstico qualitativo das águas superficiais dos reservatórios.....</b>	<b>78</b>
<b>4.2 Determinação dos índices de qualidade da água para os diferentes meses.....</b>	<b>92</b>
4.2.1 Determinação dos componentes principais.....	93
4.2.2 Valores limites e qualidade individual dos parâmetros.....	97
4.2.3 Pesos ( $w_i$ ) dos parâmetros qualitativos das águas.....	100
4.2.4 Valores dos índices de qualidade de água de irrigação para os diferentes períodos.....	104
<b>4.3 Proposta metodológica para tomada de decisão.....</b>	<b>108</b>
4.3.1 Simulação da metodologia proposta.....	111
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>116</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>118</b>
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>119</b>
<b>8. APÊNDICES.....</b>	<b>132</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A água foi e tem sido decisiva no desenvolvimento das diversas civilizações passadas e contemporâneas. Sua existência em quantidade e qualidade é a garantia de vida, porém, seu uso muitas vezes inadequado tem sido fator direto na diminuição de sua disponibilidade.

Segundo Rijsberman (2006), a água é um recurso extremamente complexo, obedecendo a um dinâmico ciclo de chuva, composta entre outros por escoamento superficial, infiltração e evaporação de grande variabilidade espaço-temporal, bem como variabilidade qualitativa que acabam regendo seu valor para as pessoas e ecossistemas. Neste processo, a água passa por diversas fases e interferências, que modificam seu estado quantitativo e qualitativo.

A disponibilidade da água está intimamente ligada aos seus usos múltiplos, que inferem diretamente em seu estado quanti-qualitativo. Sabe-se muito pouco a respeito do estado qualitativo das águas para irrigação, pois o foco sempre foi voltado para a potabilidade. A qualidade da água tem relação com a sua finalidade, ou seja, refere-se àquelas características que influenciam sua adequabilidade para um uso específico (GOMES & PAULETTO, 1999). De acordo com a legislação, a prioridade de uso das águas doces é para o consumo humano, não sendo prioritária sua utilização na produção de alimentos.

A agricultura, na condição de maior consumidor proporcional de água, e o aumento geral na demanda por este recurso, confrontam-se no futuro com a situação de utilizar águas de qualidade inferior, devido principalmente ao decréscimo qualitativo dos recursos hídricos. As águas de melhor qualidade destinar-se-ão para usos mais nobres, como o abastecimento humano. Seguramente a irrigação deverá adaptar-se à utilização de águas residuárias na produção agrícola.

O uso de águas inapropriadas para determinada finalidade, necessita de adequabilidade, portanto demanda tratamento prévio antes de sua utilização. Estes tratamentos, muitas vezes, oneram a atividade e, dependendo do nível de concentração existente dos contaminantes, pode inviabilizar seu uso para a finalidade proposta. Em diversos países como Israel e Sul da Espanha, a utilização de águas de qualidade inferior em sistemas irrigados é uma prática comum, dada a

sua escassez regional. Porém os custos para que as águas adquiram a qualidade desejada pode ser alto, necessitando em alguns casos tratamentos, como o de osmose reversa, que é utilizada em virtude da alta salinidade da água verificada nestas regiões.

O uso de águas qualitativamente inferiores na agricultura irrigada pode e deve tornar-se realidade mesmo no Brasil que detém uma parcela significativa das reservas da água doce mundiais.

A necessidade de produção de alimentos é estratégica para qualquer nação, e muitas delas utilizam-se da irrigação para viabilizar áreas e aumentar a produtividade. A utilização de sistemas de irrigação é uma das alternativas para se minimizarem as flutuações de produção agrícola, reduzindo os riscos advindos das estiagens somados a outros inúmeros benefícios proporcionados pela adoção de sistemas irrigados. Qualquer sistema de irrigação deve estar calcado na viabilidade técnica e econômica do projeto e nos benefícios sociais decorrentes da implantação do sistema (CORTEZ & MAGALHÃES, 1992).

A irrigação é uma técnica bastante onerosa, pois necessita de investimentos muitas vezes de alto custo com uso intensivo de insumos. Por outro lado, permite incrementos nas produtividades e na qualidade do produto final das culturas, inclusive proporcionando melhores preços de mercado. Segundo Silva; Faria & Reis (2003), mesmo o incremento nas produtividades e obtenção de produtos diferenciados, não impedem que a atividade sofra com os riscos financeiros, sendo de extrema relevância para o sucesso do empreendimento, determinar a viabilidade da tecnologia.

Várias são as modalidades de irrigação, cada uma com suas vantagens e desvantagens. Algumas necessitam menor investimento em contrapartida à uma redução proporcional na eficiência de uso da água, devido ao menor aporte tecnológico embarcado. Portanto identificar qual a melhor modalidade a ser utilizada passa impreterivelmente pela análise criteriosa de um conjunto de variáveis envolvendo clima, solo, planta e conjuntura econômica.

A microirrigação é a modalidade que possui a maior eficiência de uso de água, mas por outro lado, é também a mais exigente em qualidade de água. Esta modalidade caracteriza-se por aplicar água a baixas vazões e pressões porém com alta intensidade, utilizando tubulações e emissores de pequeno diâmetro. Portanto,

possui alta suscetibilidade a entupimentos. Desta maneira, a qualidade da água torna-se determinante para o sucesso da técnica.

Embora a susceptibilidade à qualidade da água seja maior na irrigação localizada, é importante destacar que os demais métodos de irrigação pressurizada são também afetados pela qualidade inadequada da água. Exemplo disto é demonstrado na Figura 1.1 onde está ilustrada uma tubulação com incrustações que provocam alteração na vazão e velocidade da água alterando o projeto hidráulico por envelhecimento precoce.

Os problemas advindos da utilização de águas qualitativamente inferiores, podem resultar na inviabilização do sistema, implicando em aumento de custos operacionais, salinização dos solos, lixiviação de elementos nocivos ao ambiente e com isso a contaminação de lençóis freáticos e corpos d'água, podendo prejudicar a própria saúde humana.

A sustentabilidade de uma atividade econômica passa impreterivelmente por gerar lucratividade. Na agricultura irrigada, o conhecimento das reais condições em que se encontram as águas é relevante para o planejamento da atividade bem como para determinar quais são as ações a serem tomadas para que se viabilize a técnica e obtenha-se rentabilidade.

Para isto, é necessária a determinação de índices de qualidade de água para irrigação que relacionam os diferentes custos, a fim de facilitar a gestão e a tomada de decisão do produtor rural irrigante.

Os níveis dos constituintes encontrados nas águas, muitas vezes, para um leigo são de difícil compreensão, pois, torna-se complexo identificar se uma amostra de água é qualitativamente boa ou ruim para a finalidade proposta. Determinar índices de qualidade da água para irrigação e relacioná-los com os custos envolvidos na atividade contribui para a gestão da produção irrigada.

O controle dos custos é fundamental para a lucratividade, e conhecer os custos reais de cada atividade envolvida na produção contribui para o ganho de rentabilidade. Na agricultura são escassas as referências de análise econômica considerando a participação da água como um componente decisivo nos custos, bem como o seu fracionamento. Geralmente, o custo atribuído à água é intrínseco a sua retirada do manancial através do bombeamento, por exemplo, o da própria construção de reservatório ou estruturas hidráulicas envolvidas no processo. A água de acordo a Lei Federal 9.433/97 que trata da gestão dos recursos hídricos, é

dotada de valor econômico, sendo que, paulatinamente a cobrança pelo seu uso vem sendo objeto de discussão pelos comitês das bacias hidrográficas.

A água deve ser encarada como um bem de produção além de recurso natural, como um fertilizante, herbicida ou qualquer outro insumo que permita um incremento na produtividade. Assim, o valor intrínseco a ela determinado pelos Comitês de Bacia, deve ser levado em consideração no levantamento dos custos. Outro fator importante é o de seu estado qualitativo, que, dependendo de vários fatores, possui variação espaço temporal. Se ocorrer variabilidade, o custo e os índices também variam, durante os diferentes períodos do ano, devido ao tratamento que esta necessita para sua adequabilidade.

Estes subsídios devem ser utilizados quando inferido o manejo da irrigação a partir de uma análise econômica e de risco, a fim de garantir a rentabilidade e a sustentabilidade.

Com critérios e metodologias tecnicamente testadas e demonstradas, a gestão torna-se mais precisa e correta, diminuindo as margens de erro quando se necessita avaliar os processos intrínsecos da técnica. Desta forma tem-se facilitado o planejamento estratégico e o processo decisório, podendo-se avaliar com base em dados reais as diversas ações e interferências que se apresentam durante o desenvolvimento da atividade.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivos gerais

Elaborar uma metodologia com base na análise econômica para auxílio no processo decisório em agricultura irrigada considerando os custos de tratamento de água para adequação de sua qualidade;

Validar o procedimento metodológico através do diagnóstico qualitativo das águas superficiais de reservatórios com distintos padrões qualitativos.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Propor um procedimento metodológico de análise de risco que considere custos relacionados à água;
- Validar o procedimento metodológico através da quantificação do estado qualitativo de corpos d'água superficiais, classificando a água através de índices utilizados para irrigação;
- Identificar as conseqüências econômicas do uso de diferentes combinações de custos da água, apresentando os valores mínimos de renda bruta a serem obtidos com cultivos irrigados de forma a viabilizar a atividade.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

Neste capítulo apresenta-se uma revisão sobre os diferentes temas que possuem influência direta neste trabalho e que o fundamentaram, demonstrando a linha que se têm seguido pelos diversos autores da área. Este capítulo visa dar respaldo teórico às análises e resultados realizados.

### **2.1 A água e sua disponibilidade**

Água é um recurso fundamental para sobrevivência de qualquer ser vivo na terra. Civilizações surgiram e desenvolveram-se próximas da água, e esta foi à pujança de muitas, como também determinante fator para a queda de outras. Guerras e batalhas na história tiveram a água como fator de vitória ou derrota a exemplo da Cruzada por volta do ano de 1100 D.C quando os exércitos cruzados perderam Jerusalém para os Muçulmanos. Esta consciência de que a água é vital para nossa sobrevivência é instintiva, segundo Romano Filho et al. (2004).

Apesar da quantidade de água no planeta ser invariavelmente a mesma, através dos tempos, obedecendo a um ciclo hidrológico fechado globalmente, a sua distribuição é irregular: 97% estão nos oceanos, formados por águas salgadas, e somente 3% são de água doce, distribuídas, 2% nas geleiras, portanto prontamente indisponíveis, e menos de 1% nos rios, lagos e lençóis freáticos (ROSA et al, 2000).

Segundo Von Sperling (2006), as estimativas relativas as quantidades de água a nível global possuem algumas discrepâncias causadas por uma involuntária mistura de conceitos relativos a definição de cada compartimento, ou seja, o que de fato é uma água interior, podendo esta ser contabilizada como água subterrânea, ou um lago salino não entrar na conta das reservas de águas salinas e assim por diante.

O Brasil possui aproximadamente 13% das reservas de água doce mundiais, tendo 2/3 das águas concentradas na região amazônica, que possui a menor densidade demográfica do país (SETTI, 2001) e 53% das águas doces do continente

sul-americano (REBOUÇAS, 1999 apud PIZELLA & SOUZA, 2007), cuja distribuição se dá através de três grandes unidades hidrográficas dos Rios Amazonas, São Francisco e Paraná (PIZELLA & SOUZA, 2007).

A irregularidade nas precipitações faz com que algumas regiões tenham bonança, enquanto outras, escassez. Esta diferença traz as regiões onde o recurso é escasso uma necessidade de maiores investimentos e de utilização de tecnologias que tem como objetivo o uso racional e eficiente da água.

Países com grande aporte financeiro como os Estados Unidos, Espanha, Itália, e o Estado de Israel, viabilizam áreas antes áridas em verdadeiros canteiros verdes produtivos, bastando, investimentos e uso de tecnologias adequadas.

Políticas de armazenamento de água nos períodos onde a demanda é menor e a oferta do recurso é maior, balizam principalmente as políticas de irrigação em vários lugares no mundo. O estado do Rio Grande do Sul possui nos meses de verão uma irregularidade acentuada no regime de precipitação, principalmente entre os meses de dezembro a março. Portanto no estado em cada dez anos, em sete tem-se estiagem, o que evidencia a fragilidade hídrica desta região (RIO GRANDE DO SUL, 2007).

A fim de diminuir as perdas e frustrações de safras, elaborou-se um plano estadual de irrigação onde um dos pilares está no aumento da capacidade de armazenamento e captação de água para fins de irrigação, principalmente na construção de reservatórios superficiais (RIO GRANDE DO SUL, 2007).

Segundo a política implantada, os reservatórios superficiais possuem importância estratégica no desenvolvimento da agricultura irrigada, com isso possibilitando um armazenamento de água nos períodos em que se têm maiores índices pluviométricos, para utilização nos períodos de pouca precipitação e maior demanda, que são os meses de verão. Segundo Fragoso Junior et al. (2007), reservatórios são importantes, pois seu foco central é o gerenciamento dos recursos hídricos, visando à garantia dos usos múltiplos.

## 2.2 Águas superficiais de regime lântico (reservatórios)

O regime lântico se caracteriza pela água não estar em movimento ou se movimentar lentamente principalmente pela ação do vento, movimento este, não direcionado. Os reservatórios e lagos possuem geralmente a forma de sua bacia circular, ovóide em forma de taça, tendo ainda alto poder de retenção, estável estratificação térmica, baixa turbidez, composição iônica previsível com pequena entrada de material sedimentar em sua bacia hidráulica.

Assim como os rios e áreas alagadas, os reservatórios de águas superficiais de sistemas lânticos, são ecossistemas complexos que interagem permanentemente com a bacia hidrográfica.

São construídos reservatórios para o lazer, para produção de energia, para aqüicultura, irrigação, para água potável e também para controle de cheias e vazões, enfim, múltiplos usos que trazem para a bacia, impactos nas águas destes reservatórios, impactos estes, quanti-qualitativos e que devem ser geridos de maneira a garantir a sustentabilidade do recurso natural.

Os reservatórios em determinados períodos do ano, podem apresentar estratificações e desestratificações na sua coluna de água associadas à radiação solar e ao vento (SOUZA FILHO et al., 2006). Estas estratificações ocorrem devido ao aquecimento da coluna de água, o que determina uma maior decomposição de material orgânico no fundo do reservatório. Quando ocorre aquecimento, pode-se formar na coluna da água camadas com temperaturas diferentes, devido as diferenças de densidades (MEIRELES et al., 2007).

Esta avaliação é importante em ambientes aquáticos temperados somente sazonalmente, porém em regiões tropicais onde as temperaturas são mais altas, estas variações podem ser observadas diariamente, implicando num maior consumo de oxigênio da água sendo que este pode chegar até nove vezes maiores (SOUZA FILHO et al., 2006). Fato este corroborado por Meireles et al. (2007), em estudo sobre a sazonalidade de parâmetros qualitativos da água de um açude no semiárido cearense.

Apesar de a temperatura ser um importante parâmetro qualitativo da água, o qual determina as diferenças de densidade que estabelecem a estratificação, sua influência é maior nas atividades biológicas e no desenvolvimento destas

comunidades (MARTINS, 2008). Ocorre que, em alguns reservatórios, pela sua baixa profundidade e quando estes sofrem a ação dos ventos, esta estratificação não é observada (PEREIRA et al., 2006).

Os reservatórios assim como os lagos possuem cada um, especificidades e individualidades inerentes a sua origem e morfometria que determinam certos padrões (TUNDISI & TUNDISI, 2008).

Os parâmetros qualitativos das águas de modo geral, respondem as diferenças nas profundidades e dos volumes que se encontram os reservatórios, tendo uma pior qualidade quando estes estão com sua capacidade reduzida, ou seja, pequenas profundidades e volumes. A profundidade é de extrema relevância em relação a sua área superficial e a intensidade dos ventos, pois estes fatores afetam a intensidade de mistura dentro da bacia hidráulica do reservatório (TUNDISI & TUNDISI, 2008).

De acordo com Prado (2004) os impactos como a redução da capacidade de depuração, o aumento da capacidade de retenção de sedimentos e as alterações físicas, químicas e biológicas no sistema podem ocorrer desde a fase de construção do reservatório.

Esteves (1988) apud Lima & Garcia (2008), ressalta que os reservatórios podem sofrer modificações em seu estado qualitativo de forma natural através do escoamento superficial ou artificial resultante do aumento populacional, industrialização, uso de insumos agrícolas e produtos de limpeza domésticos.

Geralmente a parte mais rasa da bacia hidráulica dos reservatórios fica nas cotas que se aproximam do nível da água e a mais profunda junto ao barramento, onde geralmente são instaladas as estruturas hidráulicas para captação e adução destas águas que serão fornecidas a um determinado uso.

Em geral, reservatórios onde a finalidade é a irrigação possuem pequenas dimensões, são rasos e possuem tempo de retenção longo, como mostram as Tabelas 2.1 e 2.2. Devido às características destes reservatórios esperam-se certos comportamentos como uma menor estratificação decorrente de sua menor profundidade e área, como também uma menor produção biológica, turbidez resultando em melhor qualidade de água.

Segundo Tundisi e Tundisi (2008), as condições de mistura vertical e horizontal estão relacionadas com o volume e o tamanho do reservatório e sua limnologia em grande parte é determinada pela morfologia do vale, portanto

reservatórios rasos podem não ser estratificados, ao contrário dos profundos. Reservatórios rasos, por possuírem menor área e profundidade, sofrem mais ativamente a ação eólica, fazendo com que as massas das colunas de água se misturem.

Tabela 2.1 - Categorias de reservatórios baseado em seu tamanho

<b>Categoria</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume(m<sup>3</sup>)</b>
Grande	$10^4 - 10^6$	$10^{10} - 10^{11}$
Médio	$10^2 - 10^4$	$10^8 - 10^{10}$
Pequeno	$1 - 10^2$	$10^6 - 10^8$
Muito pequeno	$< 1$	$< 10^6$

Fonte: adaptado de Straskraba e Tundisi (2000).

Tabela 2.2 - Classificação de tamanho, profundidade, tempo de retenção em função das finalidades a que se destina o reservatório.

<b>Uso primário</b>	<b>Tamanho</b>	<b>Profundidade</b>	<b>Tempo de retenção</b>	<b>Profundidade da saída</b>
Irrigação	Pequeno	Rasa	Longo	Superficial

Fonte: adaptada de Straskraba e Tundisi (2000) apud Tundisi e Tundisi (2008).

Alguns usos contribuem para a degradação qualitativa das águas dos reservatórios quando certos limites ambientais não são respeitados, pela má utilização das tecnologias agrícolas bem como do uso maciço de fertilizantes e revolvimento do solo.

### 2.3 Origem natural e antrópica dos constituintes da água

Os componentes das águas podem ter origens naturais e ou antrópicas, sendo as naturais são aquelas oriundas da intemperização de rochas e solos, precipitação e cobertura vegetal, e as de origem antrópicas ocorrem quando os constituintes são carreados ao reservatório devido à ação humana, por meio da retirada da mata ciliar e da cobertura vegetal da bacia hidrográfica, despejos industriais e domésticos, contaminação por agrotóxicos e fertilizantes agrícolas, erosão e sedimentação, entre outros. As alterações na ocupação e uso dos solos decorrentes das atividades humanas alteram os processos químicos, físicos e biológicos dos recursos naturais (ANDRADE et al., 2007).

Intervenções na vegetação e nas estradas e vias de acesso são consideradas importantes modificadoras dos parâmetros qualitativos das águas (SALATA et al., 1988 apud SILVA et al., 2009).

A erosão hídrica é um dos fatores mais importantes de degradação ambiental, pois os sedimentos oriundos desta acumular-se-ão a jusante, assoreando os recursos hídricos (SILVA et al., 2009). Esta entrada de sedimentos contribui para o aporte de sólidos dissolvidos na água bem como para a diminuição da capacidade de armazenamento de água do reservatório. De acordo com Chaves et al. (2004), a sedimentação originada do deflúvio superficial, por ocasião de enxurradas, ocorre em níveis inaceitáveis em bacias rurais quando os produtores, ao tomarem decisões sobre os usos e manejos de suas terras, desconsideram os impactos que estes processos impõe aos demais usuários.

Segundo Ayers & Westcot (1991), há uma variabilidade muito grande nos parâmetros qualitativos das águas a campo, pois a origem de seus constituintes pode ser natural, resultante da intemperização das rochas e solos, ou antrópica, principalmente nas áreas de entorno da bacia hidrográfica. Os problemas resultantes variam em tipo e intensidade e dependem do solo, clima e do manejo do sistema água-solo-planta, como também das quantidades limites em que o elemento constituinte da água se encontra.

Estudando a bacia do Alto Acaraú, Andrade (2007) identificou que os principais parâmetros indicadores da qualidade da água eram oriundos da solubilização dos sais (natural), nutrientes e transporte de sedimentos (antrópica),

sendo que a poluição difusa originada dos centros urbanos e das atividades agrícolas vem em segundo grau de relevância.

A composição das águas superficiais pode ser alterada por influência da pluviosidade e da taxa de evaporação da região onde se encontra o reservatório (ALBUQUERQUE & DURÃES, 2008). Variações nos volumes dos reservatórios determinam alterações na concentração dos parâmetros das águas, sendo assim, em locais caracterizados por estações chuvosas e secas a variabilidade torna-se bastante pronunciada.

A quantidade e a qualidade da água podem ser alteradas por diversos fatores como declividade, tipo de solo e o uso da terra, fazendo-se necessário o estudo das interações e relações com as ações antrópicas bem como as de origem natural (SILVA et al., 2009). A visão e análise da qualidade das águas deve ser holística, pois a diversidade de origens de seus constituintes forma um grande número de relações.

A água é um ecossistema complexo e segundo Capra (2006), como qualquer outro ecossistema, possui interdependência, estando ligada a uma rede de relações, onde o efeito a um organismo ou componente interfere no outro. Outra similar característica é a flexibilidade, ou seja, uma consequência de seus múltiplos laços ou relações, que tendem a fazer o sistema retornar ao equilíbrio em um determinado tempo.

Desta forma os constituintes da água devem ser encarados, através do ponto de vista holístico e não cartesiano, pois sendo as origens variadas, muitas são as relações intrínsecas a sua composição qualitativa.

## **2.4 Qualidade da água para irrigação**

A disponibilidade de água para os usos múltiplos passa impreterivelmente por seu estado qualitativo, pois muitas vezes posso ter água em quantidade, mas não com a qualidade muitas vezes desejada para um determinado fim. A qualidade da água diz respeito aos seus constituintes físicos, químicos e biológicos que em maior ou menor concentração poderão viabilizar ou inviabilizar seu uso para uma determinada finalidade. Segundo Ayers & Westcot (1991), o conceito de qualidade

da água refere-se às suas características que podem afetar sua adaptabilidade para uso específico. Os constituintes qualitativos das águas possuem variabilidade espaço temporal que são determinantes nos seus usos dependendo das concentrações em que se encontrarem os parâmetros.

No Brasil, foi estabelecida a classificação para as águas doces, salobras e salinas e enquadradas em classes de acordo aos usos preponderantes pela resolução 357/2005 do CONAMA (PADIAL et al., 2009). Segundo Porto (1991) apud Padial et al. (2009), tais padrões são importantes no gerenciamento da qualidade da água, a fim de observar as alterações nos corpos da água com base no monitoramento, com o intuito de preservar e ou melhorar seu estado qualitativo.

A água faz parte dos processos de vida de quaisquer organismos, com a propriedade de ser solvente universal, transportando elementos e substâncias, compostos orgânicos dissolvidos e gases que são essenciais para a vida das plantas e animais (TUNDISI & TUNDISI, 2008).

Na constituição das águas, existem determinados componentes que são habitualmente encontrados, dependendo de fatores naturais e ou antrópicos. O que restringe muitas vezes seu uso é justamente a extrapolação dos níveis destes constituintes, que resultam em restrição a determinados usos.

Certos usos possuem determinadas necessidades, peculiaridades e características em que determinados constituintes da água dependendo dos níveis em que forem encontrados, podem inferir de forma nociva ou benéfica junto a uma determinada finalidade.

Segundo Cauduro & Dorfman (1986), existem numerosos exemplos no mundo onde ricas regiões agrícolas transformaram solos produtivos em improdutivos devido ao uso de águas de má qualidade e manejo inadequado da irrigação. A qualidade da água tem sido negligenciada na maioria dos projetos de irrigação o que produz efeitos indesejáveis na condução de uma cultura comercial (MANTOVANI et al., 2006).

As mudanças das práticas utilizadas pela agricultura juntamente com a intensiva mecanização e as políticas governamentais são as principais forças motrizes para a degradação do solo e dos recursos hídricos (ZALIDIS et al., 2002).

A análise da qualidade da água, segundo Scaloppi & Brito (1986), é baseada na determinação da quantidade, dimensão e natureza do material sólido e na identificação e concentração do material solubilizado. Peixoto (2008) afirma que

quando se analisa a qualidade de um corpo d'água, deve-se ter presente as características qualitativas desta água que podem apresentar alterações ocasionais ou periódicas, refletindo a ação de agentes internos e ou externos.

A compreensão da relação causa e efeito entre um componente da água e o problema resultante, permite avaliar sua qualidade e determinar seu grau de aceitabilidade (AYERS & WESTCOT, 1991). Determinados usos a que as águas se destinam, necessitam de certo grau de qualidade, alguns usos são mais exigentes no que tange a qualidade da água.

No caso da irrigação, onde se tem diversas modalidades como inundação, aspersão, microirrigação e sub-irrigação, todas tem a água como principal insumo, porém com diferentes exigências qualitativas, conforme as características intrínsecas de cada método.

Nakayama & Bucks (1986), corroboram afirmando que um dos principais problemas de qualidade de água para a irrigação, é a obstrução física dos emissores e tubulações, sobretudo em sistemas de microirrigação, onde os orifícios de passagem são de pequenos diâmetros.

Ainda segundo os autores, afirmam que os parâmetros físicos, químicos e biológicos de qualidade de água que direta ou indiretamente estão relacionados com a obstrução física dos sistemas de irrigação são: os sólidos suspensos e dissolvidos, pH, ferro total, manganês, sulfato de hidrogênio e população bacteriana.

Os problemas relacionados à qualidade da água em irrigação são bastante variados, podem interferir na planta, no solo, no equipamento como também na esfera econômica. Portanto a análise é complexa e dinâmica, pois se deve dar um enfoque holístico em sua interpretação, pois seus constituintes podem possuir efeitos múltiplos.

Dependendo da concentração e da tolerância de determinadas espécies, alguns íons podem ter efeito tóxico mesmo em baixas concentrações, causando crescimento vegetativo excessivo, atrasos na maturação e como consequência decréscimos na produtividade (SCALOPPI & BRITO, 1986).

Águas com pH muito baixos e ou ricas em Ferro também são corrosivas principalmente em componentes metálicos.

A pesquisa determinou intervalos de valores classificando as águas de irrigação quanto ao grau de restrição e estão apresentadas na Tabela 2.3. Estes valores são comumente utilizados para realização de diagnósticos das águas.

Tabela 2.3 - Grau de restrição da qualidade da água para uso em irrigação.

Problema potencial	Unidades	Grau de Restrição para Uso		
		Nenhuma	Moderada	Severa
<b>Salinidade</b>				
$Ce_a^2$	dS/m	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
SDT	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
<b>Infiltração (RAS)<sup>3</sup></b>				
RAS = 0-3 e $Ce =$		> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
RAS = 3-6 e $Ce =$		> 1,2	1,20 - 0,3	< 0,3
RAS = 6-12 e $Ce =$		> 1,9	1,9 – 0,5	< 0,5
RAS = 12-20 e $Ce =$		> 2,9	2,9 – 1,3	< 1,3
RAS = 20-40 e $Ce =$		> 5,0	5,0 – 2,9	< 2,9
<b>Toxicidade de Íons</b>				
Sódio (Na) <sup>4</sup>				
Irrigação por Superfície	RAS	< 3,0	3,0 – 9,0	> 9,0
Irrigação por Aspersão	meq/l	< 3,0	> 3,0	-
Boro (B)	mg/l	< 0,7	0,7- 3,0	> 3,0
<b>Outros</b>				
Nitrogênio	mg/l	< 5,0	5,0 – 30,0	> 30,0
Bicarbonato	meq/l	< 1,5	1,5 – 8,5	> 8,5
pH	-	Faixa normal: 6,5 – 8,4		

1Fonte : University of Califórnia Committee of Consultants, 1974. Adaptado pelo autor.

2CEa significa Condutividade Elétrica da água; medida da salinidade, expressa em deciSiemens por metro (dS/m) a 25°C ou em milimhos/cm (mmhos/cm). Ambas as medidas são equivalentes. SDT significa total de sais em solução, expressa em miligrama por litro (mg/l).

3RAS significa Relação de Adsorção de Sódio algumas vezes representada como RNa. Para procedimento de cálculo da RAS ver Figura 1. Para determinado valor da RAS, a velocidade de infiltração aumenta à medida em que aumenta a salinidade. Avalia-se o problema potencial de infiltração através da RAS e da CEa Fonte: Rhoades (1977) e Oster & Schroer (1979).

4A maioria das culturas arbóreas e plantas lenhosas são sensíveis ao sódio e ao cloreto; no caso de irrigação por superfície, usam-se os valores indicados. Para a maioria das culturas anuais que não são sensíveis, usam-se tabelas de tolerância das culturas à salinidade

## 2.5 Índice de qualidade da água

Índices de qualidade de água constituem meios para relatar informações coletadas de um corpo hídrico, por meio de um número, cor, classe ou mesmo uma descrição verbal (SOUZA & LIBÂNIO, 2009).

Quando da caracterização de uma água destinada a um fim, usamos alguns parâmetros químicos, físicos e biológicos, que para aquela finalidade tenha

relevância, servindo de indicadores de seu estado qualitativo. Um índice serve para que mesmo os leigos possam compreender e identificar que estado qualitativo possui uma determinada água, ou seja, torna inteligível ao público um conjunto de parâmetros ou dados (SOUZA & LIBÂNIO, 2009).

A vantagem do índice reside no fato de representar uma média de diversas variáveis em um único número com uma mesma unidade, ao passo que se perde informação das variáveis e de suas interações, sendo esta a principal desvantagem, pois um índice jamais substituirá uma avaliação detalhada da qualidade da água (CETESB, 2008), sendo ele uma ferramenta para comunicação.

Para determinação de um índice, agrupam-se determinados parâmetros que para aquela finalidade são importantes, traçam-se curvas médias da variação da qualidade da água em função da sua concentração e atribui-se pesos a cada um deles de acordo a sua relevância (CETESB, 2008), embora para Souza e Libânio (2009), é difícil estabelecer hierarquias absolutas dos parâmetros da água. De posse destas informações calcula-se o índice através da seguinte equação:

$$IQA = \sum_{i=1}^n q_i w_i \quad (2.1)$$

Em que: IQAI é o índice de qualidade da água, um número adimensional entre 0 a 100;  $q_i$  a qualidade da  $i$ -ésima variável, um número entre 0 e 100 e  $w_i$  o peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1

Com os valores do IQA calculados se realiza a classificação dos índices conforme descrito na Tabela 2.4 abaixo.

Tabela 2.4 - Classificação da água e intervalos do índice de qualidade da água.

Nível de qualidade	Intervalo - IQA
Excelente	90 a 100
Bom	70 a 90
Médio	50 a 70
Ruim	25 a 50
Muito ruim	0 a 25

Fonte: CETESB, 2008.

## 2.6 Parâmetros relevantes em irrigação

Muitos são os parâmetros relevantes para irrigação, porém temos aqueles em que o seu grau de importância é maior, ou pelo efeito que causa, ou pelo grau de complexidade ou pela sua simples e efetiva presença na água e que se torna necessária sua retirada através de tratamentos.

### 2.6.1 Parâmetros físicos

Dos parâmetros físicos o mais comum em águas superficiais são os sólidos em suspensão, que podem causar diversos problemas aos sistemas de irrigação como desgaste de bombas e tubulações bem como obstrução de emissores principalmente em irrigação localizada. Este parâmetro tem sua ocorrência nos corpos hídricos, em geral atribuído ao escoamento superficial, onde são carregadas grandes quantidades de partículas de solo e material orgânico.

### 2.6.1.1 Sólidos em suspensão

Os sólidos em suspensão são talvez um dos constituintes mais comuns existentes nas águas superficiais, mas também os mais facilmente removidos. Filtros instalados anteriormente a entrada do sistema de microirrigação, bastam para que a água tenha um tratamento de qualidade em se tratando de sólidos suspensos. Este parâmetro qualitativo das águas é constituído de areias, siltes, e algumas partículas de argilas com diâmetros de 10 micrômetros e superiores a esse valor (VANZELA, 2004).

Os sólidos suspensos, em altas concentrações constituem-se em um dos principais problemas de qualidade de água para irrigação, pois podem ocasionar problemas de obstrução física de emissores na microirrigação, devido aos pequenos diâmetros de seus componentes. Esse problema ainda pode ser agravado pela presença de bactérias do gênero *Pseudomonas sp.* e *Enterobacter sp.*, que, combinadas com partículas em suspensão, podem ocasionar um tipo de entupimento de difícil controle pelos sistemas de filtragem (NAKAYAMA & BUCKS, 1986).

Os sólidos são oriundos principalmente do deflúvio superficial, que acabam carreando partículas de solo para o interior da bacia hidráulica dos corpos hídricos superficiais. O fluxo de material para o interior dos reservatórios pode ser acelerado pela ação antrópica, principalmente em áreas agrícolas e com solo desnudo. Este carregamento de sólidos pode causar a sedimentação no fundo do reservatório, diminuindo sua capacidade de armazenamento de água, bem como parte deste material, que for mais leve como às argilas, podem vir a ficar suspenso na água, vindo a comprometer seu estado qualitativo.

A natureza e a quantidade de material sólido em suspensão podem tornar-se do ponto de vista do manejo e dos custos, um fator desfavorável ao sistema de microirrigação devido à necessidade constante de manutenção e limpeza do sistema de filtragem (SCALOPPI & BRITO, 1986).

Segundo Scaloppi & Brito (1986), os sólidos suspensos podem vir a comprometer o sistema de tubulação e de bombeamento, pois acelera o processo de desgaste do material que os constituem principalmente das partes móveis da bomba e das paredes dos tubos.

De acordo com Nakayama & Bucks (1986), valores de 50 mg/l de sólidos suspensos na água de irrigação possuem potencial moderado de obstrução dos emissores utilizados na irrigação localizada.

Os sólidos suspensos mesmo sendo um dos parâmetros mais comuns em águas superficiais, são em geral facilmente controlados pelo sistema de filtragem, equipamento este indispensável na microirrigação sendo contabilizado por mais simples que seja no custo de implantação do sistema.

## 2.6.2 Parâmetros químicos

Os parâmetros químicos da água, de certa forma, são os que possuem maior dificuldade de controle e de extração, sendo o processo de tratamento bastante oneroso. Portanto o conhecimento dos níveis existentes nas águas superficiais torna-se extremamente relevante principalmente em se tratando de sistemas microirrigados. As variações espaço-temporais destes parâmetros determinam à viabilidade de utilização de modalidades irrigadas.

### 2.6.2.1 Condutividade elétrica da água

A concentração total de sais na água de irrigação normalmente é expressa em relação a sua condutividade elétrica. É uma propriedade iônica que indica a capacidade de condução de corrente elétrica na água, dada sua proporcionalidade direta com a concentração de sais dissolvidos, crescendo com a temperatura (SANTOS, 2000 apud COSTA et al., 2005). Em razão da rapidez e da facilidade de determinação, a condutividade elétrica tornou-se o procedimento padrão, a fim de expressar a concentração de sais para a classificação e diagnose das águas destinadas a irrigação (BERNARDO, 2006). Os sais contidos nas águas encontram-se em quantidades muito pequenas, mas significativas, tendo sua origem na dissolução ou intemperização de rochas e solos, incluindo a dissolução do calcário e de outros minerais (AYERS & WESTCOT, 1991). A adequação da água de irrigação

não depende unicamente do teor total, mas também do tipo de sais, e, à medida que o seu conteúdo aumenta, os problemas da cultura e do solo agravam-se (AYERS & WESTCOT, 1991).

A principal conseqüência do aumento da concentração total de sais solúveis de um solo é a redução do seu potencial osmótico, o que acarreta prejuízos às culturas em razão do decréscimo de disponibilidade de água naquele solo (BERNARDO, 2006).

Almeida e Gisbert (2006), estudando a variação da qualidade da água utilizada na irrigação de um cultivo de cítricos, afirmam que em períodos com altas taxas de evapotranspiração, a concentração salina sofre um aumento em seus níveis.

Altos valores de condutividade elétrica podem causar prejuízos significativos às culturas menos tolerantes como observado por Katerji et al. (2004), estudando duas variedades de *Triticum durum*, uma tolerante e outra sensível à salinidade. No referido trabalho, foi administrada irrigação com diferentes concentrações de águas salinas onde se constatou queda substancial no rendimento de grãos à medida que a concentração de sais se elevava. Segundo o referido autor, mesmo a cultivar tolerante teve seu rendimento reduzido devido à administração de águas salinas, e a cultivar sensível obteve uma produtividade bastante inferior em relação à cultivar tolerante (KATERJI et al., 2004). Experimentos realizados por Malsh et al. (2005) e Handy et al. (2005), fazendo-se misturas de águas salinas e doces aliadas ao manejo da irrigação pode tornar o uso de águas salinas viáveis.

Conforme Bernardo (2006), a classificação da água de irrigação quanto ao seu grau de salinidade está baseada em sua condutividade elétrica como mostra a Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Classificação da água de irrigação quanto ao potencial de salinização.

Denominação	Classificação	Valores de CE em dS/m a 25°C	Utilização
C1	Salinidade baixa	0 – 0,25	Pode ser usada na irrigação da maioria das culturas.
C2	Salinidade média	0,25 – 0,75	Pode ser usada com grau moderado de lixiviação e em culturas tolerantes.
C3	Salinidade alta	0,75 – 2,75	Não pode ser empregada em solos com deficiência em drenagem e usadas técnicas especiais para controle da salinização e usar culturas tolerantes.
C4	Salinidade muito alta	2,75 – 5,00	Não é apropriada para irrigação em condições normais, usar culturas tolerantes e em solos permeáveis com boa drenagem.

Fonte: Bernardo, 2006.



Figura 2.1-Tubulações com incrustações de sais. Fonte: Peiter (2010).

Valores de condutividade elétrica superiores a 1,1 dS/m começam a causar problemas na cultura de cítricos (MAAS, 1990 apud ALMEIDA, 2005 citado por ZAMBERLAN, 2007). Com o aumento da concentração de minerais nas células

vegetais ocorre um aumento na pressão osmótica no interior da planta, que ocasiona um maior gasto energético, tendo a planta um menor desenvolvimento traduzindo-se em queda na produtividade e menor crescimento vegetativo.

#### 2.6.2.2 Sódio

O sódio pode causar toxicidade em culturas arbóreas e ornamentais por serem mais sensíveis, mesmo em baixas concentrações (SCALOPPI & BRITO, 1986), sendo que as culturas anuais possuem uma maior tolerância à presença de sódio na água de irrigação (BERNARDO, 2006). Os principais sintomas de toxicidade por sódio são necroses ao longo da borda das folhas, espalhando-se progressivamente para a área internervural até o centro, aparecendo primeiramente nas folhas mais velhas (AYERS & WESTCOT, 1991).

A dispersão dos solos e a destruição de sua estrutura ocorrem unicamente quando o teor de sódio supera o do cálcio numa proporção acima de 3:1 (AYERS & WESTCOT, 1991), afetando, dessa forma, a infiltração no solo e a disponibilidade deste recurso às plantas. A aplicação de água pode alterar as relações entre os diversos íons do solo em função de sua constituição química (McBRIDE, 1994 apud ALMEIDA NETO et al., 2009).

A percentagem de sódio pode ser calculada através da equação abaixo descrita.

$$\%S\acute{o}dio = \frac{Na}{Ca + Mg + Na} 100 \quad (2.2)$$

Em que: Na é a concentração de sódio, Ca a de cálcio e Mg a concentração de magnésio.

A razão de adsorção de sódio (RAS) é um cálculo matemático que indica o potencial de uma água em causar problemas de infiltração no solo, fazendo uma relação entre os níveis de sódio, cálcio e magnésio. A sodicidade, determinada pela

RAS da água de irrigação, se refere ao efeito do sódio contido na água, que tende a elevar a percentagem de sódio trocável no solo, afetando assim sua capacidade de infiltração (PIZARRO, 1985 apud COSTA, 2005).

O cálculo da razão de adsorção de sódio assume papel preponderante, posto que a combinação condutividade elétrica (CE) e razão de adsorção de sódio (RAS) servem para avaliar os perigos que a água oferece com respeito à indução de salinidade e aumento nos teores de sódio na solução de solo (OLIVEIRA, 1998). A determinação deste parâmetro é importante, pois a elevada proporção de sódio em relação aos cátions cálcio e magnésio acarretam em problemas de estruturação do solo, dificultando o processo de infiltração, devido à obstrução e mesmo extinção dos poros (MANTOVANI et al., 2006).

Aumentos nos valores da RAS reduziram drasticamente as taxas de infiltrações pela dispersão das partículas do solo observado por Murtaza et al. (2006), estudando a administração de águas sódico-salinas na produção de trigo e algodão.

A capacidade de infiltração de um solo cresce com o aumento de sua salinidade e decresce com o aumento da razão de adsorção de sódio, sendo assim os dois parâmetros devem ser analisados conjuntamente para obter uma correta avaliação do efeito da água de irrigação na capacidade de infiltração de um solo (BERNARDO, 2006). Segundo Ayers & Westcot (1991), há a necessidade de se recuperar os solos afetados por problemas de infiltração quando a velocidade com que a água atravessa a superfície do solo é reduzida, não permitindo o adequado suprimento hídrico as culturas ou mesmo a lixiviação dos sais da zona radicular.

A Tabela 2.6 mostra a classificação das águas em relação ao potencial de sodificação de acordo aos valores da RAS.

Tabela 2.6 - Classificação das águas de irrigação em relação ao perigo de sodificação segundo RAS.

Classe	Concentração de Na	Valor	Uso
S1	Baixa	$RAS \leq 32,19-4,44 \log CE$	Irrigação pouco perigo de sodificação.
S2	Média	$32,19-4,44 \log CE < RAS \leq 51,29-6,66 \log CE$	Somente em solos de textura grossa permeável e perigo de sodificação em solos de textura fina.
S3	Alta	$51,29-6,66 \log CE < r\ddot{a}s \leq 70,36-8,87 \log CE$	Produz doses malélicas de sódio trocável em solos e requer praticas especiais de manejo como a lixiviação e drenagem.
S4	Muito alta	$RAS > 70,36-8,87 \log CE$	Imprópria para irrigação quando a salinidade for baixa.

Fonte: Bernardo, 2006.

Limites como estes apresentados na Tabela 2.6, possibilitam fazer uma avaliação dos eventuais perigos de sodificação de um solo, quando utilizamos águas com elevados teores de sódio, podendo com isso inviabilizar o sistema de irrigação ou mesmo causar danos ao sistema solo-planta.

Segundo Ayers & Westcot (1991), a utilização de águas com baixa salinidade (abaixo de 0,2 dS/m), ou seja águas corrosivas com baixos valores de pH, tendem a lixiviar os sais e minerais solúveis.

Dessa maneira, as partículas dispersadas obstruem os espaços porosos do solo, principalmente os de textura mais fina, causando uma queda na taxa de infiltração, pela formação de crostas superficiais (AYERS & WESTCOT, 1991). Tais crostas superficiais trazem problemas de germinação e emergência de plântulas (AYERS & WESTCOT, 1991; ALMEIDA NETO et al., 2009). Este problema tem como consequência prejuízos no estande final de plantas causando perdas em produtividade e aumento os custos de produção das culturas.

Os problemas de infiltração podem ser solucionados através de tratamentos químicos ou físicos como: aplicação de corretivos como o gesso, mistura de águas (químico) e práticas culturais e manejo da irrigação (físico) (AYERS & WESTCOT, 1991) e como consequência há um aumento nos custos operacionais.

### 2.6.2.3 Cálcio

O cálcio é um importante elemento constituinte da água que pode, por vezes, causar efeitos antagônicos, dependendo da concentração em que se encontra na água de irrigação.

De maneira geral, após o nitrogênio e o potássio, o cálcio é o nutriente mais exigido pelas plantas (SANTANA, et al., 2004).

A infiltração de água no solo, segundo Ayers e Westcot (1991), aumenta quando se tem altas concentrações de cálcio na água de irrigação, contribuindo para amenizar o efeito dispersante do sódio. Segundo Almeida Neto et al. (2009), este efeito também é dependente da mineralogia dos solos.

Águas com baixos valores de pH tendem a lixiviar sais, incluindo os de cálcio, reduzindo sua influência sobre a estabilidade dos agregados e estrutura do solo (AYERS & WESTCOT, 1991).

Por outro lado, águas que contêm altas concentrações de bicarbonatos e sulfatos de cálcio ocasionam problemas de incrustações, ocorrendo precipitados de  $\text{CaCO}_3$  e obstruções em tubulações e emissores (AYERS & WESTCOT, 1991).

Essas obstruções, segundo os referidos autores, são extremamente difíceis de serem localizadas pelo fato de que sua formação é gradual e condições de altas temperaturas e altos valores de pH da água favorecem as precipitações químicas de cálcio, bem como de outros elementos.

A precipitação de cálcio na água pode ser antecipada mediante o índice de Langelier, segundo o qual o carbonato de cálcio precipita-se quando alcança seu limite de saturação, definindo-se pela diferença entre o pH da água (laboratório) e o pH teórico que a água alcançaria em equilíbrio com o  $\text{CaCO}_3$ .

Valores do índice positivos indicam uma tendência do  $\text{CaCO}_3$  precipitar, enquanto valores negativos são indicadores de que o carbonato de Ca se mantém em solução (AYERS & WESTCOT, 1991).

#### 2.6.2.4 Magnésio

O magnésio é um macro elemento essencial para os vegetais, tendo uma relação estreita com o cálcio, sendo absorvido pelas plantas por fluxo de massa e difusão, quando se encontrar na solução do solo (REICHARDT & TIMM, 2004).

A produtividade das culturas, nos casos em que se têm altos teores de magnésio na água de irrigação parece ser reduzida, provavelmente por deficiência de cálcio induzida pelo excesso de magnésio trocável (AYERS & WESCOT, 1991).

Segundo os autores, quando a relação Ca/Mg é menor que uma unidade, a extração de cálcio e sua translocação é menor pelo efeito dos altos teores de magnésio, com isso pode-se inferir que águas de irrigação ricas em Mg podem produzir sintomas de deficiência nutricional nas plantas.

Outro problema relacionado à presença de magnésio nas águas de irrigação está vinculado a altas concentrações de sais, pois promovem a precipitação de carbonatos de magnésio e cálcio causadores de incrustações em tubulações e emissores em sistemas microirrigados (MANTOVANI et al., 2006). Um outro fator importante em relação ao magnésio, é a sua utilização juntamente com o cálcio no cálculo da RAS, na medida em que relaciona esses dois elementos ao excesso de sódio podendo gerar problemas na taxa de infiltração de água no solo.

#### 2.6.2.5 Dureza Total

A dureza da água de irrigação é uma característica que está relacionada principalmente com a presença dos cátions cálcio e magnésio, bem como de outros cátions metálicos em solução (COSTA et al, 2005). A origem natural desses

elementos vem da dissolução de minerais, solos e rochas (PORTO, 1991 apud VANZELA, 2004).

Os cátions de cálcio e magnésio reagem com ânions presentes formando precipitados e sua presença está relacionada com incrustações em tubulações e emissores, reduzindo a uniformidade de aplicação da água.

Segundo Nakayama & Bucks (1986), as precipitações de carbonatos de cálcio e magnésio são causados quando as águas de irrigação possuem altos valores de dureza e de pH. A maneira de se evitar tal problema é através da adição de ácidos à água para diminuir os níveis de precipitação do  $\text{CaCO}_3$  (AYERS & WESTCOT, 1991). Esta adição de ácidos para se corrigir a dureza da água pode tornar inviável economicamente a irrigação, principalmente nos períodos em que o estado qualitativo das águas estiverem piores.

Os níveis normais de cálcio e magnésio na água de irrigação são de 400 mg/l e 60 mg/l respectivamente (AYERS & WESTCOT, 1991).

Existe uma classificação das águas quanto a sua dureza, e está baseada nos níveis de  $\text{CaCO}_3$  presentes, indicando-nos se uma referida água poderá apresentar problemas relacionados à presença desses cátions. As Tabelas 2.7 e 2.8 mostram a classificação das águas baseadas na concentração de  $\text{CaCO}_3$ .

Tabela 2.7 - Classificação das águas de irrigação quanto a sua dureza expressa em  $\text{CaCO}_3$ .

Níveis de $\text{CaCO}_3$ (mg/l)	Classificação
< 50	Mole
Entre 50 - 150	Moderada
Entre 150-300	Dura
> 300	Muito dura

Fonte: Costa, 2005.

Tabela 2.8 – Classificação da águas de irrigação quanto a dureza e risco de obstrução de emissores.

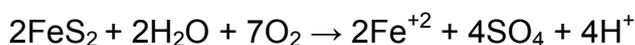
Níveis de CaCO <sub>3</sub>	Classificação
<150 mg/l	Baixo
Entre 150 e 300 mg/l	Moderado
>300 mg/l	Alto

Fonte: Pitts (1990 apud RIBEIRO, 2005).

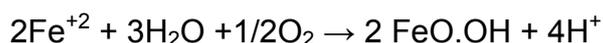
#### 2.6.2.6 Ferro total

O ferro na água é proveniente da intemperização dos materiais de origem do reservatório, como solos e rochas, bem como do carreamento de materiais sólidos do entorno da bacia, proveniente das ações antrópicas. Segundo Vanzela (2004), o processo de erosão dos solos formados a base de sesquióxidos de ferro faz com que haja um aumento da concentração de ferro tanto solúvel quanto em suspensão nas águas.

O ferro encontra-se na água de irrigação em sua forma, reduzida (Fe<sup>+2</sup>), solúvel, que ao passar pelo sistema de filtragem oxida-se, precipitando e adquirindo a forma de Fe<sup>+3</sup> (MANTOVANI, 2006). O Ferro na sua forma bivalente, solúvel, não é estável e ao entrar em contato com o oxigênio sofre uma reação de oxidação e transforma-se em Fe<sup>+3</sup> insolúvel, reação descrita por Porto (2003) apud Vanzela (2004):



Na presença de oxigênio ocorre a oxidação:



O ferro trivalente proveniente da reação com o oxigênio é estável e segundo Alves (2008), no estado de oxidação III o ferro possui baixa solubilidade do hidróxido podendo facilmente formar precipitados de hidróxido férrico quando o pH estiver próximo da neutralidade.

Conforme Adad (1971) apud Alves (2008), o ferro da água pode vir a se complexar com a matéria orgânica, isto vem a dificultar sua retirada da água de irrigação por meio físico sendo somente possível através de tratamento químico, tornando mais oneroso o processo.

O processo de oxidação do ferro contido na água, principalmente em sistemas microirrigados, são causadores de entupimentos dos emissores e tubulações.

Segundo Nakayama & Bucks (1986), valores de ferro total acima de 0,2 mg/l na água de irrigação são de risco potencial a sua precipitação e valores até 0,5 mg/l, segundo Ayers e Westcot (1991), seriam o máximo permissível. Quando se levam em consideração os custos dos filtros e operacionais, o valor prático é de 2,0 mg/l (AYERS & WESTCOT, 1991), pois deste modo a atividade tornar-se-ia inviável.

Vieira et al. (2004), estudando a recuperação de gotejadores obstruídos por incrustações de ferro, em uma análise preliminar da água, encontraram teores de ferro total igual a 0,7 mg/l, estando na classe de moderado risco de entupimento. Já Souza et al. (2005), estudando o efeito do tratamento de emissores por hipoclorito de sódio encontrou valor de 1,7 mg/l de ferro na água de irrigação, estando esta classificada como de severo risco de obstrução segundo classificação proposta por Ayers e Westcot (1991). Sendo assim, a obstrução dos emissores é o maior problema no sistema de irrigação localizada, reduzindo ou aumentando a vazão com a conseqüente diminuição na uniformidade de distribuição de água (SOUZA et al., 2005).

O ferro também pode favorecer a formação de mucilagens produzidas por ferrobactérias causando obstruções, transformando o ferro solúvel em insolúvel na forma de hidróxido de ferro (AYERS & WESTCOT, 1991; ALVES, 2008).

Em estudo realizado por Fernandez & Petinari (1998) apud Alves (2008), tubos de PVC de 50 mm de diâmetro após 25 meses sofreram obstrução na ordem de 58,4%, mesmo utilizando filtro de disco de 150 mesh.

A Tabela 2.9 traz a classificação das águas de irrigação segundo a concentração de ferro presente na água e o seu grau de restrição.

Tabela 2.9 – Classificação dos níveis de ferro total na água relativo à obstrução de tubos e emissores em irrigação.

Parâmetro	Unidade	Grau de restrição		
		Nenhuma	Moderada	Severa
Ferro	mg/l	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5

Fonte: Lamm et al., 2007

No caso de ter que controlar os níveis de ferro na água, é recomendável na seleção do processo de remoção ter conhecimento sobre a forma como este elemento se apresenta na água, se dissolvido ou complexado a matéria orgânica (AZEVEDO NETO, 1966 apud ALVES 2008). No caso para se obter maior segurança deve-se utilizar de tratamento químico, porém é mais oneroso vindo a encarecer o processo e dependendo das condições até mesmo inviabilizar a atividade da irrigação.

Para se ter um controle, e evitar a precipitação do ferro nas tubulações e emissores do sistema de microirrigação, utiliza-se tratar a água quimicamente através da cloração ou mecanicamente pela oxigenação da água antes do sistema de filtragem (AYERS & WESTCOT, 1991). Com a oxigenação da água de irrigação em um tanque anterior aos filtros, o ferro presente na forma reduzida solúvel se oxida e passa à forma insolúvel, precipitando, e sendo facilmente separado pelo sistema de filtros após certo tempo para decantação.

Vieira et al. (2004), concluíram em seu experimento comparando diversos tipos de tratamentos em gotejadores obstruídos, que a dose de 25 mg/l de hipoclorito de sódio tem o melhor custo benefício e o segundo maior desempenho quanto à uniformidade.

#### 2.6.2.7 Potencial hidrogênio

O potencial hidrogênio é um índice que caracteriza o grau de acidez ou alcalinidade de um ambiente, sendo que para as águas de irrigação o pH normal fica entre 6,5 e 8,4; caso esta água possua um pH anormal poderá criar desequilíbrios nutricionais ou conter íons tóxicos (AYERS & WESCOT, 1991).

Águas com valores de pH acima de 7,0 podem favorecer a precipitação de carbonatos de cálcio e magnésio em águas com alta dureza (NAKAYAMA & BUCKS, 1986). Segundo Mariani (2006), os valores de pH diminuem com a profundidade indicando uma possível redução na salinidade da água da superfície para o fundo do reservatório.

Com altos valores de pH, segundo Harendia (1999) apud Almeida & Gisbert (2005), pode haver uma destruição das raízes e redução na assimilação de fósforo, ferro, zinco, cobre e magnésio.

O maior perigo das águas com valores anormais de pH está na deterioração do equipamento de irrigação, o qual deve ser cuidadosamente selecionado para utilizar águas com essas características (AYERS & WESTCOT, 1991).

O principal responsável pela acidez das águas de irrigação, são as algas provavelmente devido ao consumo de gás carbônico, quando da realização de seu processo fotossintético (RIBEIRO et al., 2004). Uma alternativa para o controle do pH da água armazenada seria fazer um controle da vazão e da profundidade do reservatório, fazendo-se variar a taxa, em diferentes épocas do ano, aumentando-a sempre que as condições de luminosidade e temperatura favoreçam a realização da fotossíntese (RIBEIRO et al., 2004).

Segundo Nakayama & Bucks (1986), valores de pH menores que 7,0, são de baixo risco, entre 7,0 e 8,0, de moderado e acima de 8,0, de severo risco, podendo vir a resultar em problemas no sistema de irrigação.

A necessidade de controle do pH da água de irrigação pode onerar a técnica ao passo que para isto deve-se utilizar de reagentes químicos que no mercado são de alto custo de aquisição.

#### 2.6.2.8 Sólidos dissolvidos totais

Os sólidos dissolvidos compreendem os sais e outros materiais de diâmetro inferior a  $10^{-3}$  micrômetros que se encontram solubilizados na água (VANZELA, 2004).

Os sólidos dissolvidos totais nos dão idéia da taxa de desgaste das rochas por intemperismo das áreas com altos índices pluviométricos, das características

litológicas e da salinidade, através dos íons contidos na água do reservatório (LIMA & GARCIA, 2008).

A quantificação dos sólidos dissolvidos presentes na água pode nos indicar problemas advindos da salinização causada por diversos tipos de sais, necessitando-se identificar que sais estão presentes na água e em que quantidades, para poder-se avaliar com precisão seus reflexos no sistema de irrigação, no solo ou na planta. O agravamento do problema relacionado à salinidade ocorre quando se observa uma maior entrada do que saída, conseqüentemente causando um incremento na concentração salina na área considerada (BIGGAR et al., 1984 apud SCALOPPI & BRITO, 1986).

### 2.6.3 Parâmetros biológicos

Os parâmetros biológicos possuem uma importância em irrigação principalmente quando o sistema utilizado molha a parte aérea de culturas que são consumidas cruas devido a contaminação. Outro fator é que em estando associados a determinados elementos químicos estes podem causar obstrução de emissores e conseqüentemente desuniformidade de aplicação da água.

#### 2.6.3.1 Algas

As algas são organismos uni e ou multicelulares, autotróficos e capazes de realizar fotossíntese. As algas são indicadoras da qualidade da água, principalmente no caso do abastecimento humano, sendo monitoradas constantemente principalmente por empresas de saneamento no mundo (CAVALCANTI et al., 1999).

As algas surgem nos reservatórios quando suas águas sofrem o processo denominado eutrofização, que é o enriquecimento das águas com nutrientes oriundos provavelmente de áreas agrícolas ou efluentes urbanos através do deflúvio superficial. Tais organismos ocorrem na água quando esta possui especialmente nutrientes, como fósforo e nitrogênio (NAKAYAMA & BUCKS, 2007). Gardi (2000)

corroborar afirmando que os efeitos do aumento de nutrientes nas águas causam o fenômeno de eutrofização proporcionando alta proliferação de algas no ambiente aquático sendo originado pelas atividades agropecuárias.

Segundo Nakayama e Bucks (2007), quando as condições do meio forem adequadas, as algas proliferam rapidamente cobrindo a superfície da água em grandes colônias denominadas florações.

Nutrientes como o fósforo e nitrogênio, fluxo de radiação solar necessária para fotossíntese e para o aquecimento da coluna de água, são fatores indutores do desenvolvimento destes organismos. Segundo Ribeiro et al. (2005<sub>a</sub>), aumentando-se a profundidade, interfere-se nas condições de luminosidade e temperatura, controlando o desenvolvimento das algas.

Alta frequência de temperaturas na faixa ótima de 26 a 28° C e longos períodos com luminosidade favorecem o desenvolvimento de microorganismos e algas (RIBEIRO et al., 2005<sub>a</sub> ; RESENDE et al., 2000), sendo estas condições encontradas mais facilmente a partir da região sudeste.

O controle das algas em águas utilizadas em irrigação localizada passa por duas etapas: a primeira é a remoção através da filtragem e a segunda é a utilização de produtos químicos como o cloro para fazer uma desinfecção da tubulação e dos emissores (PATERNIANI & SCATOLINI, 2001). Uma cloração em base contínua, a uma taxa de 1 a 2 mg L<sup>-1</sup> ou 20 a 30 mg L<sup>-1</sup> por semana por um tempo de 30 a 60 minutos respectivamente, inibe o risco de obstrução por algas do sistema (RIBEIRO et al., 2005<sub>b</sub>). Segundo o referido autor em seu trabalho sobre o desempenho de filtros, observou avaliando a qualidade da água, que somente apresentaram médio e alto risco a obstrução de gotejadores parâmetros químicos, como o ferro e o pH.

As algas podem em sistemas de microirrigação aumentar a perda de carga nos sistemas como os estudados por Ribeiro et al. (2005<sub>a</sub>), ou mesmo aumentando a desuniformidade de aplicação de água ou ainda estar associada ao ferro criando uma mucilagem causadora de obstrução nos emissores.

Para irrigação as algas possuem uma importância secundária, pois sua presença está relacionada à presença de outros constituintes como o ferro, o nitrogênio e o fósforo, quando estes se encontram em uma determinada concentração na água.

### 2.6.3.2 Coliformes totais e fecais

São bactérias aeróbicas facultativas que envolvem uma gama de organismos de origem intestinal que por ventura podem estar presentes nas águas de irrigação, através da lixiviação de fezes de animais ou de efluentes urbanos. São bactérias caracterizadas como bacilos Gram-negativos não esporulados (VASCONCELOS et al., 2009).

O aumento nos níveis de coliformes na água está relacionado ao nível em que se encontram os corpos hídricos, pois quanto menor o volume, maior a concentração do organismo (LIMA & GARCIA, 2008).

De acordo com Fravet & Cruz (2007) apud Vasconcelos et al. (2009), os coliformes são oriundos de fezes animais e quando encontrados na água indicam que esta recebeu carga de esgoto ou de outra carga orgânica de outra fonte que tornam esta água imprópria para uso doméstico ou irrigação por aspersão, pois podem transmitir doenças.

Possui importância na irrigação quando esta se dá em culturas que se consomem cruas e que a água entra em contato com a parte aérea das plantas, no caso da microirrigação, este problema passa a ser secundário e corroborado pela afirmação acima citada.

## 2.7 Impacto da qualidade das águas de irrigação na produção das culturas

De todos os recursos que a planta necessita para o seu desenvolvimento, a água é o fator mais importante e, ao mesmo tempo, o mais limitante para a produtividade agrícola (TAIZ & ZEIGER, 2004).

O objetivo da irrigação é suprir a necessidade hídrica das plantas para que estas expressem seu máximo potencial produtivo. A irrigação é extremamente importante na viabilização de novas áreas agrícolas e decisiva na verticalização produtiva do agronegócio. Porém, a utilização da técnica da irrigação sem estar calcada em bases técnicas e racionais, leva a problemas ambientais e também ao efeito antagônico, a redução na produtividade das culturas.

Esta redução na produtividade pode ocorrer quando não se tem água na quantidade necessária ou aplicam-se lâminas inferiores às requeridas ou quando a sua qualidade interfere no desenvolvimento normal das plantas, resultando na queda da produção.

Segundo Ayers & Westcot (1991), a qualidade da água pode variar significativamente segundo o tipo e quantidade de sais nela solubilizados. Estes sais quando da aplicação da água pela irrigação, acabam se acumulando no solo quando esta evapora ou absorvido pelas plantas. Quando estes sais acumulam-se no solo, o potencial osmótico se eleva, e devido a grande afinidade sal/água, as forças de retenção exercida pelos sais do solo são maiores que as de extração exercida pelas raízes das plantas. Este fator causa na planta um déficit hídrico, e estas não tendo supridas suas necessidades, acabam por não expressarem seu máximo potencial produtivo acarretando em prejuízos e inviabilizando a atividade irrigada.

A Figura 2.1 mostra o padrão de extração de água de uma planta nas diferentes porções do sistema radicular. Indicando que quarenta por cento da água é absorvida no primeiro quarto da profundidade do sistema radicular, e 70% até 2/4, sendo esta informação relevante para o manejo da irrigação.

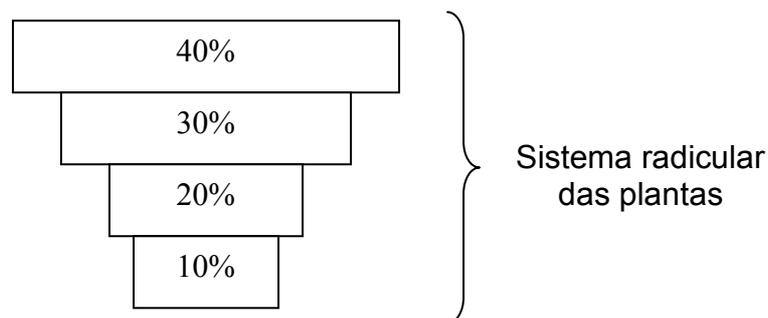


Figura 2.2- Padrão de extração de água de uma planta. Fonte: Ayers & Westcot, 1991.

Muitos são os problemas que podem ser originados do uso de águas de qualidade inferior, como os relatados por Ayers & Westcot (1991): problemas de salinidade, infiltração, excesso de nutrientes, depreciação de equipamentos e toxicidade as culturas. Estes problemas causam um aumento nos custos e prejuízos

à atividade agrícola, muitas vezes inviabilizando-a. Segundo os referidos autores, estes problemas variam com o tipo e intensidade dos parâmetros.

A maior demanda por água tem condicionado a irrigação a utilizar de águas de pior qualidade e em grande parte, águas com altos teores de salinidade (PORTO FILHO et al., 2006). Em áreas áridas, onde a irrigação é fundamental para produção agrícola devido à baixa precipitação anual e alta demanda atmosférica, a salinidade é um problema bastante comum.

Geralmente a salinidade do solo, seja ela causada por irrigação com água salina ou pela combinação de fatores água, solo e manejo, podem vir a reduzir a produtividade das culturas (TESTER & DAVENPORT, 2003 apud SOARES, et al., 2005). Além da redução na produtividade, a salinidade pode causar alteração da cor, aparência e composição do produto com conseqüente perda de valor de mercado (SALES JÚNIOR et al., 2006).

A salinidade é um problema que atinge diversas espécies de vegetais de importância econômica e social. Desde o cultivo de grãos, passando pelos hortifrutigranjeiros até a produção de flores e plantas ornamentais.

O sódio pode causar toxicidade em culturas arbóreas e ornamentais por serem mais sensíveis, mesmo em baixas concentrações (SCALOPPI & BRITO, 1986). O excesso de sódio pode ser tóxico a causar amarelecimento das bordas e ápice das folhas com conseqüente senescência e queda, diminuindo a taxa fotossintética, resultando em menor produção e dando um aspecto feio a planta.

No caso da produção de crisântemos, Mota et al., (2007) estudando os efeitos da condutividade elétrica no desenvolvimento das plantas, observou redução na área foliar nos 21 dias após a emergência, porém nos estádios seguintes não houve diferenças estatísticas significativas nos parâmetros de crescimento avaliados, sendo este fenômeno atribuído ao tratamento realizado nas plantas com hormônios de crescimento.

Segundo Cerqueira et al., (2008), avaliando o impacto do uso de águas residuárias na irrigação de gladiolos (*Gladiolus hortulanus*) e helicônias (*Heliconia psittacorum*), no período de 180 dias não observou diferenças significativas no desenvolvimento das plantas, mas ocorreu aumento na concentração de sais principalmente na superfície do solo após 12 meses, o que indica que posteriormente a este período os cuidados com a produção devem ser maiores.

Os efeitos da salinidade da água de irrigação possuem diferentes níveis, pois, existe uma grande variabilidade relacionada à resposta das plantas a concentração salina, entre espécies e genótipos de mesma espécie (UYEDA et al., 2005).

A produção de grãos também é afetada pela salinidade das águas de irrigação. Altos valores de condutividade elétrica podem causar prejuízos significativos às culturas menos tolerantes como observado por Katerji et al. (2004), estudando duas variedades de *Triticum durum*. No referido trabalho, foi administrada irrigação com diferentes concentrações de águas salinas onde se constatou queda substancial no rendimento de grãos à medida que a concentração de sais se elevava (KATERJI et al., 2004). Royo & Abió (2003), corroboram com esta afirmação quando observaram que a salinidade afetou negativamente o rendimento de grãos de trigo duro (*Triticum Turgidum L. var. durum*), de várias cultivares reduzindo os níveis de praticamente todos os componentes de determinação da produtividade.

No caso da produção de café, Figueiredo, Faria e Silva (2006) observaram que a salinidade da água de irrigação representada pela condutividade elétrica, fez com que em níveis de alta salinidade houvesse redução na produção com altos níveis de salinidade. O mesmo foi observado por Santana et al., (2003) estudando o efeito de águas salinas em irrigação de feijão. Esta redução se deve ao fato de que quando se utiliza águas salinas na irrigação, o aumento da salinização do solo ocorre na mesma proporção, sendo assim, tem-se aumentado o potencial osmótico do solo e as forças de retenção da água. Com isso a planta entra em déficit hídrico reduzindo sua parte aérea, traduzida no número e tamanho de folhas, diminui-se a evapotranspiração, com isso reduz a taxa fotossintética e a produção de fotoassimilados, resultando em uma menor produtividade (SANTANA et al., 2003).

As plantas diminuem o consumo de água com níveis crescentes de salinidade do solo e água, pois quanto maior o aporte de água salina a área de cultivo, maior a quantidade de sais adicionados ao solo (FIGUEIREDO, FARIA & SILVA, 2006; SANTANA et al., 2003).

O arroz é um cereal considerado tolerante a salinidade, sendo esta tolerância variável entre cultivares e estádios fenológicos (MARCOLIN et al., 2005). Estudos de Marcolin & Macedo (2001), utilizando as cultivares IRGA 417, IRGA 419 e El Passo 144 observaram que 65% das espiguetas ficaram estéreis quando se utilizou águas salinas na irrigação. Perdas de 25% na produtividade podem ocorrer quando a

condutividade elétrica da água de irrigação for de 3,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 50% quando esta chegar a níveis de 5,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

No caso da produção de hortifrutigranjeiros, onde a irrigação é utilizada mais intensamente o efeito dos problemas relacionados à água de irrigação são mais sentidos. A produção de alho possui variabilidade de resposta em relação à salinidade, variando entre cultivares e estádios fenológicos. Amorim et al., (2002), observou reduções na fitomassa da parte aérea da ordem de 19,7% e na fitomassa dos bulbos de 12,8%. Nos últimos 30 dias do ciclo acentuou-se a redução nos índices, indicando que esta fase para o alho é a mais sensível.

Fato semelhante ocorreu com a produção de banana no trabalho conduzido por Soares et al. (2005), onde observou que entre os 255 e 300 dias após o transplante, ou seja, final do ciclo, ocorreu diminuição do fluxo de assimilados para formação do cacho em plantas irrigadas com água salina, sendo observado o inverso em plantas irrigadas com águas de boa qualidade. Houve redução de biomassa do cacho na ordem de 28,57 e 40,31% para as cultivares avaliadas. Devido à alteração na razão de área foliar, tem-se reduzido o processo fotossintético, causando um desbalanço na distribuição dos assimilados (SOARES et al., 2005).

Porto Filho et al (2006), estudando a produção de melão, concluiu que o índice de área foliar, a fitomassa, a área foliar específica e a razão de área foliar da parte aérea são afetados negativamente pela qualidade da água, quando esta possui altos níveis de sais. Ou seja, as taxas de crescimento dos vegetais sofrem redução quando se utiliza águas salinas e conseqüentemente há redução na produtividade e produção final das culturas.

Como alternativas para solucionar os problemas advindos da salinidade destacam-se segundo Ayers e Westcot (1991) as seguintes técnicas: lixiviar os sais para zonas abaixo do sistema radicular das plantas, drenagem do nível freático e a utilização de culturas tolerantes a salinidade.

Experimentos realizados por Malsh et al. (2005); Handy et al. (2005), onde realizaram mistura de águas salinas com águas não salinas e aliadas ao manejo da lâmina de irrigação promoveram a viabilização do uso deste tipo de águas, com resultados satisfatórios.

Alternativa, porém, mais onerosa, é o tratamento da água antes de sua entrada na área cultivada, através da redução de seu pH, fazendo com que os sais precipitem e posteriormente serem retirados no momento filtragem.

Estes problemas reduzem a produtividade e a qualidade dos produtos agrícolas, com isso afetam diretamente a receita do produtor rural e inferem diretamente na relação entre o benefício e o custo ao passo que tendo-se menos produto e vendo-se a um preço inferior no mercado, há uma redução no benefício e aumento no custo de produção.

Este cenário faz com que a qualidade da água ganhe relevância no momento da tomada de decisão na produção agrícola irrigada.

## **2.8 Valor econômico da água**

Segundo a Lei 9433 de 1997 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, dota a água de valor econômico e prevê como um dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos, a cobrança pelo seu uso, o que ainda não está sendo cobrado, pois os valores a serem pagos serão definidos pelos comitês de bacia, formados pelos usuários da água.

Em tese todos os recursos financeiros advindos desta cobrança serão usados na própria bacia de origem, a fim de recuperar o passivo ambiental e as áreas degradadas, desta forma auxiliando na melhoria da qualidade das águas. Segundo Pearce e Turner (1990) apud Forgiarini et al. (2008), a aplicação do instrumento de cobrança na política de gerenciamento dos recursos hídricos tem por princípio, principalmente, servir de incentivo financeiro para a mudança dos padrões de consumo dos usuários.

Precificar um recurso natural quando seu valor não está no mercado é difícil e complexo. Segundo Carramaschi (2000), a água possui valor econômico, pois seu uso altera o nível de produção e consumo. De acordo com o autor, a valoração de ativos ambientais em muitos países já exerce importância fundamental nos projetos e políticas.

Na definição do preço do m<sup>3</sup> da água, deve-se procurar o limite máximo a ser cobrado, levando em conta a capacidade do produtor rural irrigante tem para pagar.

São utilizados dois métodos para definir o preço da água, o primeiro chamado Método de Valoração Contingente (MVC), considera a água como um bem de consumo buscando no usuário sua disposição em pagar pelo seu uso através de um questionário fazendo a simulação de um mercado. Já o segundo método denominado Método Dose-Resposta (MDR), onde a água é um fator de produção onde relaciona doses de água com as variações obtidas na produção (CARAMASCHI, 2000).

O método de simulação foi utilizado por Forgiarini et al. (2008), realizando uma modelagem de cobrança na bacia do Rio Santa Maria-RS, onde partindo de um processo de negociação social dentro do comitê de bacia, determinou valores para o m<sup>3</sup> de água bruta para diversos usos na respectiva bacia. No caso da agricultura foi estabelecido na simulação que o valor do m<sup>3</sup> seria 1% do valor do custo de produção, no caso do arroz irrigado e da mesma forma foi realizada para cada setor independentemente, sendo que os valores variaram de R\$ 0,007757/m<sup>3</sup> a R\$ 0,012088/m<sup>3</sup> (FORGIARINI et al., 2008).

O valor da água possui um maior impacto segundo Forgiarini et al. (2008) no setor agrícola, onde a irrigação é a técnica diretamente atingida, sendo assim dependendo da cultura, tornar-se inviável, pela diminuição da rentabilidade.

## **2.9 Custos em irrigação**

Segundo Crepaldi (2006), o custo é qualquer gasto relativo à bem ou serviço utilizado na produção e são somente intrínsecos a atividade de produção.

A contabilidade de custos teve origem da necessidade de seus usuários no período do mercantilismo, tendo como objetivo fornecer material informacional de custos para o controle das atividades de produção (ZAMBERLAN et al., 2005).

Existe ainda a visão errônea de que a adoção de critérios sistemáticos de custos ou mesmo o controle dos custos operacionais são prerrogativas de grandes empresas industriais, sendo muito comum esta displicência em empresas rurais (CREPALDI, 2006).

O sistema de custos proporciona ao administrador dados operacionais, como unidades produzidas, horas trabalhadas, requisições de materiais que quando

combinados com dados monetários resultam em indicadores gerenciais (LEONE 2000).

Todo o processo de custeio é dependente do sistema de custos, basicamente de fontes de informação física e operacional, contábil e financeira que combinadas e compiladas demonstram o custo do objeto analisado (BERNARDI, 2004).

A determinação precisa dos custos envolvidos na produção agrícola é de extrema relevância para a sustentabilidade do empreendimento e esta determinação é realizada por um levantamento detalhado dos custos de cada atividade operacionalizada dentro do processo produtivo. Com o aumento da competitividade e da menor intervenção governamental no setor agrícola, os sistemas de custeio adquiriram uma alta relevância e fundamental no processo decisório (MARTIN et al., 1994).

Geralmente e quando são empregados os sistemas de custeio tradicionais estes se baseiam na metodologia de custo geral, onde as despesas indiretas são rateadas nas demais atividades, desta maneira mascarando os reais custos da atividade econômica impossibilitando o gestor na tomada de decisão (KAPLAN & COOPER, 1980).

A irrigação é uma tecnologia que requer representativos investimentos e se utiliza de uso intensivo de insumos, sendo extremamente importante à análise econômica do sistema, sendo que a adoção desta tecnologia deve ser criteriosamente analisada, objetivando sempre que os incrementos nos rendimentos sejam sempre maiores que os custos (da SILVA, et al., 2003).

Quando da implementação de sistemas microirrigados, este possui determinadas características intrínsecas, sendo a qualidade da água, fator fundamental para viabilização do sistema, podendo dependendo de seu estado qualitativo, necessitar determinados tratamentos que venham a onerar a atividade.

Como em qualquer outra atividade econômica a irrigação possui uma variabilidade muito grande dos custos entre as diferentes modalidades (SOUZA. 2004).

A estimativa do custo total na agricultura irrigada em cada i-ésimo ano, resulta do somatório dos componentes dos custos fixos e variáveis (SOUZA E FRIZZONE, 2003). E tal é determinada através da seguinte equação:

$$CT = CV + CF \quad (2.3)$$

Em que CT são os custos totais, CF os custos fixos e CV os custos variáveis.

Os custos fixos levam em conta a depreciação, a terra, o equipamento, as benfeitorias e impostos. Já os fatores integrantes dos custos variáveis são: a mão de obra, insumos, água e energia elétrica.

Segundo Souza (2001) o valor da água pode ser determinado pela seguinte expressão:

$$Da_i = (V_{Ba_i} Ta_i + A_c T_f) \cdot (1 + ICMS) \quad (2.4)$$

Em que:  $Da_i$  significa a despesa do  $i$ -ésimo ano com água para irrigação (U\$);  $V_{Ba_i}$  o volume bruto de água gasto no  $i$ -ésimo ano ( $m^3$ );  $Ta_i$  é a tarifa cobrada pelo consumo de água para irrigação (U\$/ $m^3$ );  $A_c$  é a área cultivada e irrigada (ha);  $T_f$  a tarifa fiscal pela demanda (U\$) e ICMS significa imposto sobre circulação de mercadorias e serviços.

A energia elétrica é talvez ao principal item do custo variável na atividade irrigada (SOUZA & FRIZZONE, 2003<sub>a</sub>).

A determinação do valor da energia elétrica é determinada pela expressão relatada por Mendonça (2001) apud Souza (2004).

$$CE = V_{kw/h} T \frac{736 P_{ot}}{1000 \eta} \quad (2.5)$$

Em que: o CE é o custo energia elétrica (U\$);  $V_{kw/h}$  o valor do Kilowatt/hora (U\$); T é o tempo de funcionamento (h);  $P_{ot}$  é a potência (cv); e  $\eta$  significa o rendimento do conjunto motobomba (decimal).

A compreensão da relação de causa e efeito entre um componente da água e o problema resultante permite avaliar sua qualidade e determinar seu grau de

aceitabilidade (AYERS & WESTCOT, 1985), portanto o efeito dessa qualidade dentro do processo produtivo avaliando sua variação espaço-temporal aliando aspectos técnicos e econômicos, permite ao produtor gestor uma tomada de decisão mais acertada.

## **2.10 Tomada de decisão e retorno financeiro em irrigação**

Os sistemas irrigados possuem grande variabilidade de projetos devido às inúmeras variáveis que interferem na sua execução e implementação. Os manejos de irrigação são baseados quase que exclusivamente em fatores hidráulicos e agrônômicos a fim de decidir quando e quanto irrigar, sendo que na maioria das vezes o fator econômico não é levado em consideração. Este fato é corroborado por de Andrade, Souza & Silva (2002), que observaram que em projetos de irrigação os fatores que possuem maior ênfase são os hidráulicos.

A irrigação é uma tecnologia que proporciona redução ou mesmo eliminação das perdas nas produtividades das culturas, mas, no entanto os riscos financeiros como a variação dos preços de mercado e outras perdas eventuais continuam existindo (SOUZA & FRIZZONE, 2003<sub>b</sub>).

A tomada de decisão na gestão das empresas de agricultura irrigada deve observar fatores que otimizem o retorno financeiro e o uso da água de irrigação podendo ser analisados através da análise de risco (BORGES JÚNIOR et al., 2008).

O retorno financeiro é fator preponderante na sustentabilidade de qualquer atividade econômica e na agricultura irrigada não seria diferente. Segundo Ashfaq, Jabeen & Baigi (2005), os meios de produção possuem três componentes, os custos fixos, custos variáveis e custos totais. Sendo que o somatório dos custos fixos e variáveis tem como resultante os custos totais. O retorno financeiro é função da produtividade por área cultivada, ou seja, a quantidade de produto por hectare, multiplicado pelo valor de mercado do referido produto e subtraindo-se deste valor os custos totais têm-se a renda líquida.

Para que a irrigação seja viável é necessário que os benefícios econômicos líquidos gerados sejam positivos e superiores aos provenientes da produção de não irrigada (ARÊDES, et al., 2009).

Somente haverá viabilidade da atividade econômica irrigada quando a relação benefício custo for maior do que uma unidade, pois esta representa o retorno do investimento por unidade monetária investida descontada o valor do capital no tempo (ARÊDES et al., 2009).

O importante ao planejar um sistema de irrigação, são os estudos preliminares constando dados sobre clima, solo, topografia, disponibilidade hídrica, característica hidro-físico-químicas e aspectos sócio-econômicos que venham a fornecer subsídios informacionais a respeito da viabilidade técnica e econômica a fim de maximizar o benefício da atividade (CARVALHO et al., 2005).

A análise econômica e técnica são importantes e fundamentais na tomada de decisão, devendo para tanto serem avaliadas conjuntamente. Na implantação de projetos de irrigação a impossibilidade de prever condições econômicas e locais acaba por gerar determinado grau de incerteza e risco (ARÊDES et al., 2009).

O risco é algo inerente à própria vida do projeto sendo impossível eliminá-lo das ações, devido à impossibilidade de se coletar todas as informações intrínsecas ao projeto (WOILER E MATHIAS, 1996 apud ARÊDES et al., 2009). Segundo Arêdes et al., (2009), considera-se a existência de risco quando são conhecidos os possíveis estados futuros das principais variáveis que afetam a atividade e suas respectivas probabilidades de ocorrência.

## **2.11 Análise pelo método dos componentes principais**

São utilizados vários métodos estatísticos para determinação e interpretação dos níveis de qualidade ambiental de um recurso, como a Análise Não Paramétrica, Matriz de Correlação, Análise Fatorial, e Método dos Componentes Principais. O número de variáveis envolvidas na análise ambiental de um corpo hídrico em função do uso atribuído a ele, é bastante grande, portanto, a redução do número de variáveis sem perda do subsídio informacional que estas fornecem, é altamente relevante no que tange a simplificação da interpretação da variação dos níveis dos parâmetros qualitativos que se encontram na água.

A avaliação da qualidade da água de diferentes corpos hídricos pode ser realizada através de técnicas de análise multivariada principalmente na

determinação de índices que vem a facilitar a identificação de parâmetros que mais caracterizam e influem na dinâmica dos corpos hídricos (TOLEDO & NICOLELLA, 2002).

A ACP pode ser definida como uma combinação linear de todas as variáveis originais, onde nestas combinações, cada variável terá um peso diferente.

O objetivo desta análise é encontrar uma transformação mais representativa, porém menor dos dados observados, ou seja, esta técnica faz com que a maior parte das informações a cerca da variabilidade contidas no conjunto de dados originais esteja contemplado em um número restrito de dados, que são as componentes principais. Portanto, elas representam de maneira clara a variância dos parâmetros. Segundo Hair et al. (1998) a função da ACP consiste em um meio de condensar a informação contida em um número de variáveis originais em um conjunto menor de variáveis estatísticas (fatores) com a mínima perda de informação.

Esta técnica estatística foi utilizada por Meireles et al. 2010 onde estudou a qualidade da água superficial da Bacia do Acaraú desenvolvendo um índice de qualidade da água usada na irrigação que refletisse os riscos de salinidade, toxicidade as plantas e sodicidade do solo. Nesta análise foram determinados os níveis de treze parâmetros da água que ao aplicar-se a análise pelo Método dos Componentes Principais reduziu-se para três fatores e somente 5 parâmetros qualitativos da água, onde somente o primeiro fator explicou mais de 48% da variância dos parâmetros. Segundo Meireles (2007), as componentes mostram efeitos sazonais e meteorológicos sobre a composição química das águas.

Toledo & Nicolella (2002) utilizaram a análise multivariada para determinar índices de qualidade de água em uma microbacia sob uso agrícola e urbano, onde a análise se reduziu a três fatores, ou componentes principais, sendo que o terceiro fator explica 71,33% da variância dos dados.

Berzas et al. (2000) em seu trabalho através do uso da ACP constatou que apenas dois fatores explicavam a maior parte das variações hidroquímicas nas águas em um Parque Nacional Espanhol. No estudo realizado por Haase & Possoli (1993), concluíram que a utilização da análise fatorial permitiu a observação e interpretação das variações dos parâmetros dos corpos hídricos com dois regimes hidrológicos distintos, onde a gama de dados traduziu-se a dois componentes ou fatores.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo estão descritas as metodologias utilizadas para realização do trabalho, desde a forma de coleta das amostras de água, das análises, e as equações e metodologias utilizadas a partir dos dados obtidos, para a determinação dos índices de qualidade da água de irrigação e análise da relação benefício custo.

#### 3.1 Localização e caracterização geral do local

O presente trabalho foi conduzido no campus da Universidade Federal de Santa Maria – RS, latitude de 29°42'24" Sul, longitude de 53°48'42" Oeste e altitude de 95m pertencente ao bairro de Camobi, distante 12 km do centro do município. O clima da região segundo a classificação de Köppen é o Cfa subtropical úmido sem estação seca definida (MORENO, 1961). Conforme Heldwein; Buriol & Streck (2009), a temperatura média do mes mais quente é de 24,7°C e a do mes mais frio é 13,8 °C, enquanto a média das temperaturas máximas aumenta de 19,4 para 30,7 °C de julho para janeiro e, nesse mesmo periodo a média das temperaturas mínimas aumenta de 9,8 para 19,7 °C. A precipitação normal anual é de 1769 mm, geralmente bem distribuída nas quatro estações do ano (BURIOL et al., 2006).

Em Santa Maria, nos meses de dezembro e janeiro, a radiação solar global diária é de 20,1 e 19,3 MJ/m<sup>2</sup>, respectivamente (SOUZA FILHO, 2003).

A unidade de mapeamento dos solos é pertencente à Unidade São Pedro, classificada no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico (PVd) (STRECK et al., 2002).

### 3.2 Reservatórios Superficiais

Foram estudados dois reservatórios superficiais pertencentes à Universidade Federal de Santa Maria-RS situados em diferentes locais dentro do campus e que possuem volumes de água potenciais para uso em irrigação.

A denominação dos reservatórios ficou assim estabelecida:

- Açude V: barragem responsável pela irrigação da cultura de arroz na área de várzea da Universidade. O reservatório possui coordenada geográfica: longitude oeste  $53^{\circ} 42' 30,97''$  e latitude sul  $29^{\circ} 43' 31,95''$ .
- Açude S: açude da área do Dep. de Solos da UFSM de coordenada geográfica longitude oeste  $53^{\circ} 42' 14,23''$  e latitude sul  $29^{\circ} 43' 54,01''$ .

Nas Figuras 3.1 e 3.2, estão apresentados os açudes V e S com as delimitações de suas bacias de contribuição realizadas através do método de curvas de nível a partir de imagem SRTM utilizando o programa Arcgis 9.3.

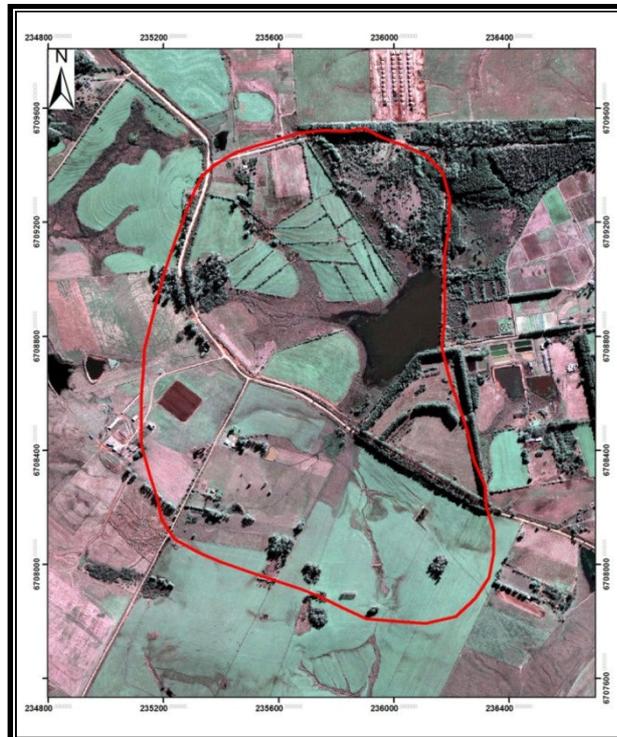


Figura 3.1 – Imagem do reservatório V e delimitação de sua bacia de contribuição. Fonte Google Earth, 2010.

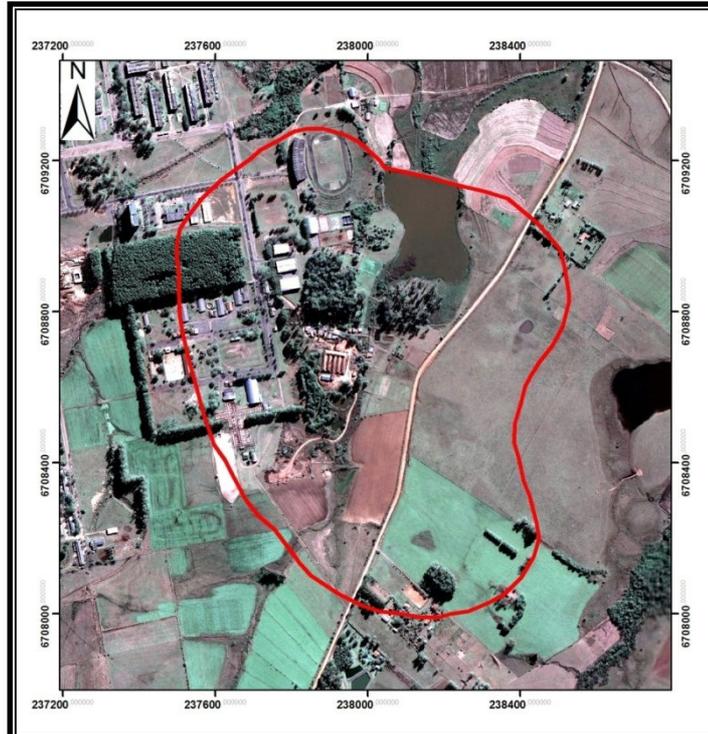


Figura 3.2 - Imagem do reservatório S e delimitação de sua bacia de contribuição. Fonte: Google Earth, 2010.

O açude V possui em seu entorno principalmente campo nativo, lavouras anuais e matas de eucalipto e pinus, sendo áreas com razoável cobertura vegetal em sua bacia de entorno.

Os usos da bacia de entorno do açude S, são principalmente de áreas de lavouras, onde são cultivados soja e milho em semeadura direta e por vezes cultivo convencional, como também áreas urbanizadas, onde inclusive tem-se uma olaria, que utiliza área próxima para a retirada de matéria prima para a fabricação de tijolos.

Com relação à medida de área dos açudes, esta foi realizada pelo Núcleo de Desenvolvimento de Informações e Geotecnologias (NDIGe) da UFSM, através do programa computacional Spring 4.3.2. O açude S possui uma área de 50797,7m<sup>2</sup> e o açude V 44164,64 m<sup>2</sup>. Esta medida está relacionada ao nível de água que possuíam os açudes no momento em que foi feita a imagem, estando vinculada à utilização da água para fins de irrigação, como é o caso do reservatório V. O referido reservatório é intensamente utilizado para irrigação por inundação do arroz e por aspersão convencional em uma área de horticultura à sua jusante.

Segundo informação pessoal de Dalmolin (2006), os solos de entorno do reservatório V são derivados de siltitos de formação Santa Maria membro Alemoa e o reservatório S originado a partir de arenito de formação Santa Maria, membro Passo das Tropas, porém pertencentes à mesma unidade de mapeamento.

### **3.3 Procedimento para coleta das amostras de água**

As coletas de amostras da água nos reservatórios foram realizadas no mês de janeiro de 2007, em duas oportunidades. Selecionou-se este período por tratar-se do mês onde ocorrem as maiores reduções do nível de água destes reservatórios pela alta demanda evapotranspiratórias dos cultivos irrigados que fazem uso destas barragens aliada a ocorrência de altas temperaturas e níveis de radiação solar. Importante destacar também que observou-se precipitações de menores volumes devido ao fenômeno La Niña. As demais coletas foram realizadas em janeiro, fevereiro, março, abril, maio e junho de 2010, período este sob ação do fenômeno El Niño.

Estes períodos foram escolhidos pelo fato de que no período de verão, as precipitações são mais concentradas e irregulares, sendo que os volumes acumulados são menores, portanto os reservatórios sofrem geralmente uma redução de seu volume de água armazenado, justamente nos meses de maior necessidade de utilização da irrigação.

No período do inverno ou quando sob ação de fenômenos meteorológicos como o El Niño, as precipitações são mais freqüentes e de maior volume. Nestes períodos, tem-se uma menor demanda evaporativa da atmosfera e dos próprios cultivos agrícolas, ocorrendo desta forma, uma redução na utilização dos reservatórios. Portanto, tem seu volume elevado, com isso, espera-se que o poder de diluição também seja maior, resultando em uma melhor qualidade de água.

As coletas foram realizadas no período da manhã entre as 9 horas e 30 minutos e 11 horas e 30 minutos sob condições de tempo com céu claro e ou nublado, mas com ausência de precipitação.

As coletas das amostras foram realizadas no sentido vertical da superfície para o fundo do reservatório desta forma abrangendo toda a coluna de água, no

ponto de captação, com duas repetições, utilizando-se uma garrafa de Kemmerer da Alfakit capacidade de 2,0l em PVC para coleta vertical e auxílio de um barco inflável. Imediatamente esse volume foi acondicionado em recipientes de polietileno esterilizados com capacidade de 1,0l, devidamente etiquetados, identificando o reservatório, número do ponto, data de coleta e responsável.

No momento da coleta foram efetuadas medidas “in situ” da condutividade elétrica por meio de um condutímetro marca Minipa modelo MCD – 2000, dos sólidos dissolvidos totais por meio de um TDS marca Minipa modelo MTDS – 3000 e pH através de um peagâmetro Minipa modelo MpH – 1000. Para as coletas e análises, foram utilizadas luvas de látex a fim de evitar contaminação das amostras sendo, as determinações, realizadas no próprio frasco destinado ao laboratório.

A seguir enunciam-se os principais procedimentos observados no momento da coleta segundo CETESB (1977). e Hérlon & Paulino (2001):

Os equipamentos utilizados para as determinações “in situ” foram devidamente calibrados antes de cada determinação com solução padrão, nenhuma das amostras conteve partículas grandes como folhas e outros materiais estranhos. As determinações “in situ” foram realizadas em frasco de polietileno no momento da coleta, sendo que após cada medida, os sensores de cada aparelho foram lavados com água destilada e secos com auxílio de papel toalha para determinação subsequente No momento das medidas foram utilizadas luvas cirúrgicas a fim de evitar tocar na parte interna dos frascos e do equipamento de coleta.

Para acondicionamento das amostras utilizou-se frascos de polietileno esterilizados com capacidade de 1000ml fornecidos pelo laboratório; identificados por meio de etiqueta, indicando o nº do ponto de coleta, reservatório, nome do responsável e data.

Posteriormente, todas as amostras foram colocadas em uma caixa térmica com gelo para conservação, até a chegada ao laboratório; dentro do prazo de 24 horas.

Uma planilha de campo foi utilizada para fazer os registros dos resultados obtidos das medidas “in situ” com a identificação da amostra e do manancial, data, hora, condições climáticas, aparência da água e responsáveis pela coleta.

Os detalhes da coleta no interior do reservatório estão demonstrados na Figura 3.3.



Figura 3.3- Momento da coleta de água através de garrafa de Kemmerer.

### 3.4 Acondicionamento das amostras de água

Os frascos de polietileno, foram acondicionados em caixa térmica, marca Rubermaid, com capacidade de 28 litros. As amostras foram refrigeradas com gelo mantendo uma temperatura interna de 4°C a fim de manter inalteradas suas características qualitativas originais até a chegada ao laboratório e posterior análise. A posteriori as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Águas Rurais da UFSM em prazo médio de duas horas após cada coleta. As Figuras 3.4 e 3.5 mostram os equipamentos e frascos utilizados para as medidas “in situ”, e acondicionamento das amostras de água.



Figura 3.4 – Caixa térmica e aparelhos utilizados para medidas “in situ”.



Figura 3.5 – Frascos de polietileno para acondicionar as amostras.

### 3.5 Análises laboratoriais físicas e químicas

Os parâmetros alvo do trabalho foram: sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, pH, condutividade elétrica, ferro total, cálcio, magnésio, sódio e dureza total.

No momento da coleta foram efetuadas medidas in situ da condutividade elétrica por meio de um condutímetro marca Minipa modelo MCD – 2000, sólidos dissolvidos totais por meio de um TDS marca Minipa modelo MTDS – 3000, pH através de um peagômetro Minipa modelo MpH – 1000.

A Tabela 3.1 e a Figura 3.6 mostram os parâmetros analisados com os respectivos métodos e os aparelhos laboratoriais utilizados para análise.

Tabela 3.1 - Síntese das metodologias empregadas nas análises laboratoriais.

Parâmetro	Unidade	Metodologia
Sólidos suspensos	mg/l	Gravimetria
Cálcio	mg/l	Espectrofotometria de absorção atômica
Magnésio	mg/l	Espectrofotometria de absorção atômica
Dureza total	mg/l	Titulometria
Sódio	mg/l	Espectrofotometria
Ferro total	mg/l	Titulometria

Fonte: Laboratório de análise de águas rurais da UFSM. (LAAR).



Figura 3.6 – Estufa, espectrofotômetro de absorção atômica e espectrofotômetro usados na análise laboratorial.

A Figura 3.7 mostra o momento da medida “in situ” efetuada dos parâmetros qualitativos da água de irrigação como pH, condutividade elétrica e sólidos dissolvidos totais.



Figura 3.7 – Medida “in situ” da condutividade elétrica, pH e sólidos dissolvidos totais.

### 3.6 Cálculo da razão de adsorção de sódio

O cálculo da razão de adsorção de sódio tem a função de mensurar o risco de salinização de um solo e foi calculado pela seguinte expressão matemática citada por Ayers & Westcot (1991):

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}} \quad (3.1)$$

Em que: RAS é a razão de adsorção de sódio, Na é o teor de sódio na água de irrigação em mg/l; Ca o teor de cálcio na água de irrigação em mg/l e Mg é o teor de magnésio na água de irrigação em mg/l.

### 3.7 Análise e interpretação dos dados referentes à água de irrigação

Os dados obtidos, tanto de laboratório quanto os medidos “in situ” foram analisados baseados nos valores limites para cada parâmetro específico da

qualidade da água citados por Ayers e Westcot (1991), Nakayama e Bucks (1986) e Lamm et al (2007) para a finalidade da irrigação, apresentados na Tabela 3.2.

Os dados obtidos da caracterização qualitativa de cada manancial estudado foram classificados baseados em padrões qualitativos estabelecidos por Ayers e Westcot (1991), Nakayama e Bucks (1986) e Lamm et al. (2007), para águas de irrigação.

Foram calculados os valores da razão de adsorção de sódio para cada ponto de coleta dos açudes através da equação 3.1 acima citada, e interpretada com auxílio da Tabela 3.2.

Tabela 3.2 -Valores normais e limites dos parâmetros qualitativos das águas de irrigação.

Parâmetro	Unidade	Grau de restrição		
		nenhuma	moderada	alta
Condutividade elétrica	dS/m	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
Sólidos dissolvidos	mg/l	< 450	450 - 2000	>2000
RAS 0-3	Ce	>0,7	0,7-0,2	<0,2
RAS 3-6	Ce	>1,2	1,2-0,3	<0,3
RAS 6-12	Ce	>1,9	1,9-0,5	<0,5
RAS 12-20	Ce	>2,9	2,9-1,3	<1,3
RAS 20-40	Ce	>5,0	5,0-2,9	<2,9
Cálcio	meq/l	0 – 20 (valores normais)		
Magnésio	meq/l	0 – 5 (valores normais)		
Sódio	meq/l	< 3,0	3,0 – 9,0	> 9,0
Ferro	mg/l	< 0,1	0,1 - 1,5	> 1,5
Fósforo	mg/l	0 – 2 (valores normais)		
Potássio	mg/l	0 – 2 (valores normais)		
Nitrogênio	mg/l	< 5,0	5,0 – 30,0	> 30,0
Boro	mg/l	< 1,0	1,0 – 3,0	> 3,0
Potencial hidrogênio		< 7,0	7,0 – 8,0	> 8,0
Sólidos suspensos	mg/l	< 50,0	50 - 100	> 100

Adaptado de: Ayers e Westcot (1991), Nakayama e Bucks (1986), Lamm et al. (2007).

### 3.8 – Cálculo do índice de qualidade da água para irrigação

Para cada mês avaliado, foram calculados os índices de qualidade da água para microirrigação com o uso da equação 3.2 abaixo descrita.

$$IQA = \sum_{i=1}^n q_i w_i \quad (3.2)$$

Em que: IQAI é o índice de qualidade da água, um número adimensional entre 0 a 100;  $q_i$  a qualidade da  $i$ -ésima variável, um número entre 0 e 100 e  $w_i$  o peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, dado em função da sua importância.

Os pesos relativos a cada um dos parâmetros estudados foram atribuídos mediante análise multivariada utilizando o método dos componentes principais. Foi utilizado o programa computacional SPSS 19 para o procedimento. Esta análise aplicada aos dados permite avaliar a associação entre as variáveis evidenciando a participação individual de cada componente das águas (ANDRADE et al., 2007<sub>b</sub>).

Com base nos dados originais antes se realizaram os testes de Bartlett e KMO afim de medir a presença de correlações entre as variáveis e adequação dos dados para aplicação do método, respectivamente.

A partir de uma matriz original, os valores de  $Q_i$  e  $W_i$  foram calculados através das seguintes equações abaixo descritas.

$$Q_i = Q_{i\text{máx}} - \frac{(x_i - x_{i\text{inf}}) \cdot q_{i\text{amp}}}{A_{i\text{amp}}} \quad (3.3)$$

Em que:  $Q_i$  é a qualidade individual do parâmetro, um número adimensional entre 0 e 100,  $Q_{i\text{máx}}$  é o valor máximo pra a classe,  $x_i$  é o valor do parâmetro,  $x_{i\text{inf}}$  o limite

inferior da classe  $q_{iamp}$  amplitude da qualidade individual qualidade e  $A_{iamp}$  corresponde a amplitude da classe.

$$w_i = \frac{\sum F_j A_{ij}}{\sum \sum F_j A_{pi}} \quad (3.4)$$

Em que  $W_i$  é o peso atribuído a cada parâmetro da água,  $F_j$  auto valor do fator  $j$ ,  $A_{ij}$  carga fatorial do parâmetro  $i$  e  $A_{pi}$  carga fatorial dos parâmetros  $p$ .

### 3.9 Análise de sensibilidade e de risco

Dentro de um processo decisório, as conseqüências econômicas e técnicas do uso da água para irrigação foram avaliadas através da exploração por árvore decisória utilizando variação dos custos em função do estado qualitativo das águas, considerando os diferentes tratamentos necessários às mesmas nos meses do ano estudados (janeiro, fevereiro, março, abril, maio e junho). Considera-se que existe risco, quando os possíveis estados futuros das variáveis que afetam a atividade são conhecidos (ARÊDES et al., 2009).

Foi realizada a análise de sensibilidade com auxílio do programa computacional denominado TableCurve 2D<sup>®</sup>, considerando-se valores discretizados de custos da água ao longo de intervalos definidos pelos valores de máximos e mínimos referendados na literatura ou calculados. Poder-se-á identificar qual a rentabilidade que o produtor deverá trabalhar criando subsídio informacional para a tomada de decisão. Esta análise foi realizada baseada no aspecto de quanto infere na variável dependente (custos) uma variação na variável independente (qualidade da água). Foram montados vetores considerando-se as possibilidades discretizadas de custo de irrigação, custo relacionado à valoração da água, custo relacionado aos diferentes tratamentos decorrentes da qualidade identificada.

Foram determinados os custos referentes à água aplicada na irrigação, determinando-se custos máximo e mínimo, sendo estes uma água de pior qualidade

e que necessita de tratamentos e outra de ótima qualidade respectivamente. Desta forma cria-se um intervalo entre o custo máximo e custo mínimo associado à qualidade da água.

Os valores de custo da água foram determinados com base no trabalho de Delgado et al. (2010), de Andrade Júnior et al. (2001) – US\$ 0,2748/ha.mm, US\$ 0,1546/ha.mm, US\$ 0,1448/ha.mm, Talpaz & Mjelde (1998) - US\$ 0,26/ha.mm, Leme (1991) - US\$ 1,00/ha.mm, Peiter (1998), utilizou um intervalo de US\$ 0,20/ha.mm US\$ 1,00 /ha.mm. Utilizou-se um intervalo de custos de US\$ 0,10/ha.mm até US\$ 1,20/ha.mm estando somados a estes os custos do tratamento das águas, admitindo-se os máximos valores para águas de qualidade inferior que necessitam de tratamento e os mínimos valores, as águas de melhor qualidade e que dispensam tratamento.

Para o custo da água foram levados em conta os custos do tratamento, do m<sup>3</sup> praticado na bacia hidrográfica em questão e custo da lâmina de água aplicada na irrigação.

$$C_{ta} = C_{ai} + C_{trat} + C_m^3_a \quad (3.5)$$

Em que:  $C_{ta}$  é o custo total da água,  $C_{ai}$  o custo da água de irrigação;  $C_{trat}$  o custo do tratamento desta água; e  $C_m^3_a$  o custo do m<sup>3</sup> de água praticado na bacia hidrográfica em questão.

Desta forma tem-se um custo da água em U\$/ha.mm de água aplicado, partindo do princípio que o fator água possui decisiva influência no sucesso da atividade irrigada.

Portanto, para uma determinada qualidade de água ter-se-á um determinado custo e este deverá ser rentável ao produtor, satisfazendo a seguinte condição.

$$RL = P_c \cdot P_m - C_p - C_{si} - C_{ta} \quad (3.6)$$

Em que: RL é a receita líquida;  $P_c$  a produtividade da cultura em Kg.ha<sup>-1</sup>;  $P_m$  o preço de mercado da cultura praticado em U\$.Kg<sup>-1</sup>;  $C_p$  significa o custo de produção da

cultura;  $C_{si}$  o custo do sistema de irrigação e  $C_{at}$  o custo total da água de irrigação em U\$.  $ha^{-1}$ .

De acordo com o resultado obtido, a tomada de decisão baseia-se em:

$$\left\{ \begin{array}{l} RL = 0 \text{ não há lucro nem prejuízo;} \\ RL > 0 \text{ lucro, compensa o cultivo;} \\ RL < 0 \text{ prejuízo, não compensa o cultivo.} \end{array} \right.$$

Baseado nestes dados tem-se capacidade de se analisar a relação benefício custo de utilização das águas para irrigação nos diferentes períodos do ano, permitindo decidir quando e o quanto irrigar baseado nos custos da água naquele determinado período em função de seu estado qualitativo, independentemente da cultura a ser cultivada. Esta relação pode ser dada pela expressão:

$$B/C = \sum_{T=0}^n \frac{B_t}{C_t(1+r)^t} \quad (3.7)$$

Em que: B são os benefícios, C os custos e investimentos, t período de tempo, n tempo limite e r a taxa de desconto adotada.

Com base nos resultados determinados tomar-se-á a decisão de irrigar uma determinada cultura através da modalidade de irrigação que tiver relação  $B/C > 1$ , sendo assim viável a atividade, com base na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Valores dos custos da água de irrigação e sua viabilidade.

Benefício/Custo	Viabilidade
Maior que 1	Viável
Igual a 1	Pouco viável
Menor que 1	Inviável

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

O conhecimento da qualidade da água na atividade irrigada, atualmente, tornou-se fator decisivo na viabilização da irrigação. Os parâmetros qualitativos variaram temporal e espacialmente, devido a vários fatores que serão discutidos neste capítulo.

A determinação dos índices de qualidade da água traduziu-se em uma linguagem simples o universo de dados e unidades relativas ao estado qualitativo dos mananciais hídricos utilizados para irrigação, a fim de facilitar a interpretação por parte de quem a utiliza. Com o auxílio destes índices, avaliou-se a qualidade da água determinando que tratamentos sejam necessários para sua adaptabilidade, como forma de metodologia na tomada de decisão, levando-se em conta aspectos econômicos intrínsecos à atividade.

### **4.1 Diagnóstico qualitativo das águas superficiais dos reservatórios**

Nos períodos de janeiro, fevereiro, março, abril, maio e junho de 2010 observaram-se variações nos níveis dos parâmetros qualitativos das águas superficiais de ambos os reservatórios estudados, cujas concentrações encontram-se nos Apêndices C, D, E, F, G e H. Com base nas condições meteorológicas, usos e cobertura vegetal, tipo de solo predominante, topografia da bacia de entorno e medidas hidrológicas (profundidade) dos reservatórios fez-se a interpretação da variação dos níveis em que se encontravam os parâmetros da água e seu enquadramento com vistas à irrigação.

No reservatório V o menor valor do pH medido ocorreu no mês de março com 6,30 aproximadamente e teve seu maior valor no mês de abril com valor igual a 7,31. Esta diferença se deu, pois em março ocorreu menor precipitação com total acumulado de 25,1 mm e no mês de abril 116,8 mm, segundo a estação meteorológica da UFSM pertencente ao 8º Distrito de meteorologia. Esta maior precipitação pode ter contribuído para o carreamento de material para o interior do reservatório associado ao nível mais baixo que se encontrava o mesmo devido à

retirada da água para irrigação do arroz a sua jusante. Fato não corroborado por Vanzela (2004) que observou uma tendência de aumento no pH nos períodos em que os volumes dos corpos hídricos estavam mais baixos. O acúmulo de matéria orgânica e o processo de oxidação da mesma, pelos microorganismos aeróbicos fazem com que ocorra a liberação de gás carbônico na água o que reduz os valores de pH (VON SPERLING, 1996).

No caso do reservatório S, o maior valor de pH 7,2 foi observado no mês de janeiro quando o reservatório encontrava-se com seu maior volume (3,10m), sendo que a precipitação acumulada no mês foi de 405,9 mm. Em um só dia ocorreu uma precipitação de 85 mm (dia 17) e em outro de 79,6 mm (dia 19), o que pode ter acarretado em um maior escoamento superficial com a conseqüente deposição de sedimentos no interior do reservatório, devido a enxurrada.

Os valores de pH no reservatório S foram maiores do que no V, devido às características e usos da bacia de contribuição do reservatório, fato este corroborado por Zamberlan (2007) onde na oportunidade realizou diagnóstico qualitativo das águas destes mesmos reservatórios. Mesmo assim os valores de pH para irrigação nos dois reservatórios encontram-se dentro dos limites para irrigação variando na faixa entre 6 e 7. Pela classificação segundo Ayers & Westcot (1991) e Nakayama & Bucks (1986) o reservatório V foi classificado como moderadamente restritivo no mês de abril e sem restrição nos demais. O reservatório S foi classificado como de moderada restrição em janeiro e sem restrição nos meses subseqüentes.

Porém segundo Libânio (2005) valores muito baixos de pH, valores inferiores a 5, podem acarretar em corrosão dos equipamentos de irrigação, assim como valores muito altos, acima de 8, podem ocasionar precipitação de cálcio, magnésio e carbonatos (NAKAYAMA & BUCKS, 1986) em tubulações e emissores contribuindo para desuniformidade de aplicação, vindo a onerar a atividade. A Figura 4.1 mostra os valores de pH medidos em ambos reservatórios.

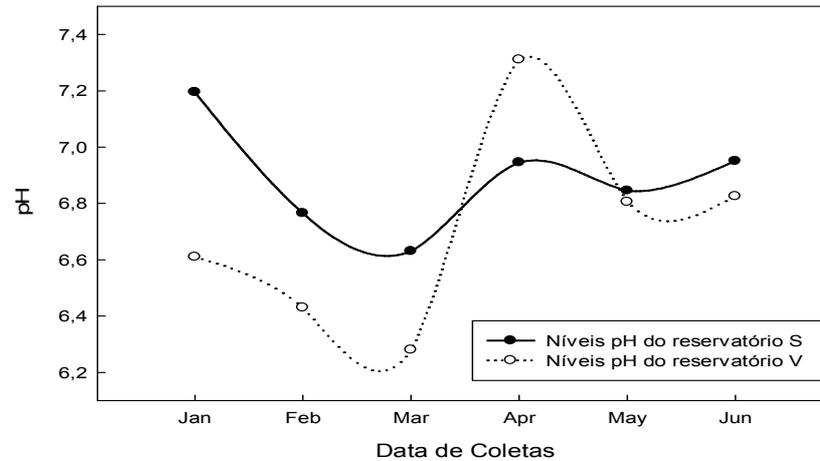


Figura 4.1 Valores de pH para os reservatórios V e S

Os teores de cálcio nos dois reservatórios tiveram seus maiores níveis no mês de janeiro e fevereiro variando entre 2,5 e 2,6 mg/l para o reservatório V e entre 3,4 e 3,8 mg/l para o reservatório S. Os menores valores foram observados nos meses de março e abril variando entre 0,8 a 1,0 mg/l para o reservatório V e 1,1 a 1,4 mg/l para o S. Estes valores não são classificados como altos segundo Ayers & Westcot (1991) estando dentro dos parâmetros normais para águas de irrigação. Porém houve diferenças nos níveis encontrados entre os reservatórios, tendo o reservatório S valores um pouco superiores aos observados no reservatório V. Estas diferenças podem ser explicadas pelo tratamento dado a bacia de entorno, onde Franco (2008) observou pouca variação nos níveis de cálcio e magnésio nas águas em diferentes épocas, o que pode corroborar para que a tese de que o uso do solo da bacia é determinante para a variação nos níveis de destes parâmetros.

Zamberlan (2007) constatou influência decisiva dos manejos dados a bacia de contribuição na variabilidade das concentrações de cálcio e magnésio. O cálcio é extremamente importante devido a sua estreita ligação com cátions como o potássio, magnésio e sódio (CHAVERRIA et al., 2001). Os valores de cálcio para os reservatórios V e S estão demonstrados na Figura 4.2.

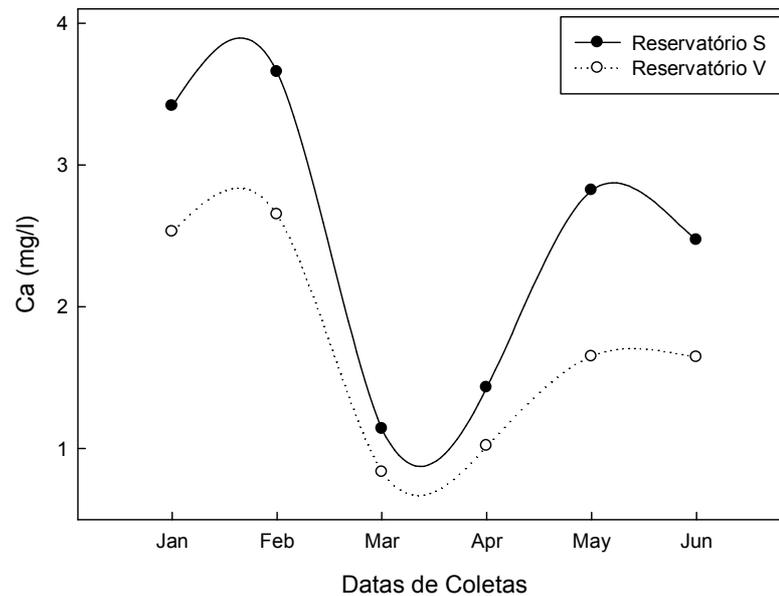


Figura 4.2 – Valores de cálcio para os reservatórios V e S.

Os valores de magnésio nos dois reservatórios tiveram seus picos de concentração em meses diferentes, porém seus níveis estiveram dentro da normalidade para as águas de irrigação segundo Ayers & Westcot (1991), durante todos os meses. Novamente o reservatório S obteve maiores concentrações do nutriente em suas águas quando comparado ao V. O reservatório V no mês de fevereiro obteve uma concentração de magnésio em suas águas da ordem de 1,6 mg/l e o reservatório S 1,9 mg/l no mês de maio. Os menores valores ficaram compreendidos entre 1,0 e 1,5 mg/l para os reservatórios V e S respectivamente.

Segundo Vanzela (2004) a variação do magnésio não é totalmente definida, pois em diferentes pontos do córrego obtiveram-se diferentes resultados, o que impossibilitou de se desenhar um perfil para a variação deste parâmetro.

Esta afirmação vem a reforçar a hipótese de que a presença em maior ou menor grau do parâmetro estivesse intimamente associada aos usos da bacia de contribuição. Visto que a bacia do reservatório S possui uma urbanização e áreas de cultivo maiores que a bacia do reservatório V, que em sua área total possui maior cobertura vegetal e menor urbanização, o que reduziu o efeito antrópico na qualidade de suas águas, que foram integradoras dos usos a sua montante. A

Figura 4.3 mostra os níveis de magnésio em ambos os reservatórios nos diferentes meses em que foram coletadas as amostras de água.

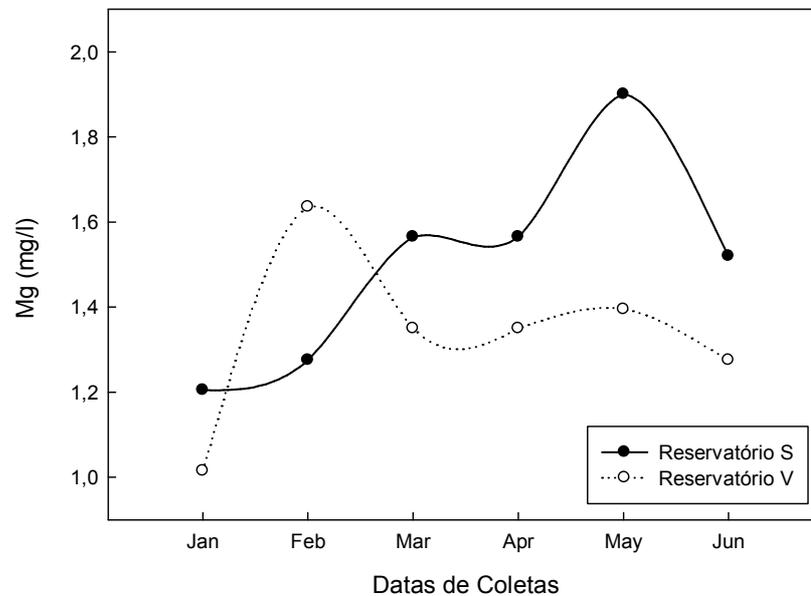


Figura 4.3 – Níveis de magnésio presentes na água dos reservatórios V e S.

O nível de ferro total medido nas águas dos reservatórios em questão teve um comportamento muito semelhante na dinâmica de sua concentração. Ocorreu variabilidade entre os diferentes meses e entre os reservatórios, onde no reservatório S foi observado nos meses de fevereiro, março e abril valores inferiores aos observados no reservatório V. Este fenômeno pode ser atribuído a redução no volume do reservatório a partir do mês de janeiro, devido a utilização de suas águas na irrigação do arroz e hortigranjeiros, o que veio a comprometer o poder de diluição do reservatório aliado as altas precipitações ocorrentes no período. Vanzela (2004) e Zamberlan (2007) observaram um aumento nas concentrações de ferro total na água em períodos chuvosos, porém em determinadas situações e principalmente em locais com Argissolos vermelhos, fenômeno inverso pode ser observado (VANZELA, 2004). Segundo Prado (1995), solos ricos em óxidos de ferro como é o caso dos Argissolos em momentos de enxurrada podem contribuir para o aumento deste elemento nas águas dos mananciais.

Os valores de ferro total nas águas do reservatório V foi de 0,15mg/l em janeiro, 1,6 mg/l em fevereiro, 0,4 mg/l em março e abril, 1,1 mg/l em maio e 1,5mg/l em junho. Os valores absolutos encontrados nos meses estavam conforme a classificação proposta por Nakayama & Bucks (1986), classificados como de risco moderado a irrigação, e em se tratando de irrigação localizada, necessitando de tratamento para sua adequação. O mesmo comportamento se observou no reservatório S onde as medidas dos níveis de ferro foram de 0,15 mg/l em janeiro, 0,3 mg/l em fevereiro, 0,08 mg/l em março e abril, média de 1,7 mg/l em maio e 2,4 mg/l em junho. Os meses de janeiro, março e abril tiveram os menores índices, ficando as águas de janeiro classificadas como de risco moderado e as de março e abril como de baixo risco segundo Nakayama & Bucks (1986).

Nos meses de maio e junho os valores de ferro total na água sofreram um acréscimo com valores acima de 1,5 mg/l chegando a 2,4 mg/l no reservatório S no mês de junho. Este aumento pode ser atribuído às chuvas do período e por uma particularidade do reservatório S, a existência de uma olaria na área de captação do reservatório, que expõe o horizonte Bt quando da retirada de material destinado ao fabrico de tijolos, bem como ao incremento dos volumes dos reservatórios o que demonstra entrada de água e sedimentos. Estas águas neste período do ano conforme a classificação de Nakayama & Bucks foram classificadas como de alto risco para utilização em sistemas irrigados e estão demonstradas na Figura 4.4.

Zamberlan (2007) encontrou no reservatório S valor de 2,34 mg/l de ferro total solubilizados na água. Franco (2008), estudando a microbacia do Córrego do Coqueiro encontrou diversos níveis de ferro na água 0,2, 0,4, 0,9, 1,1 até 5,0 mg/l. Variação semelhante foi encontrada por Lima et al. (2007) estudando a qualidade da água do Córrego do Boi – Aparecida d'Oeste, SP, evidenciando a alta variabilidade da concentração deste elemento nas águas e sua interação com a bacia de contribuição.

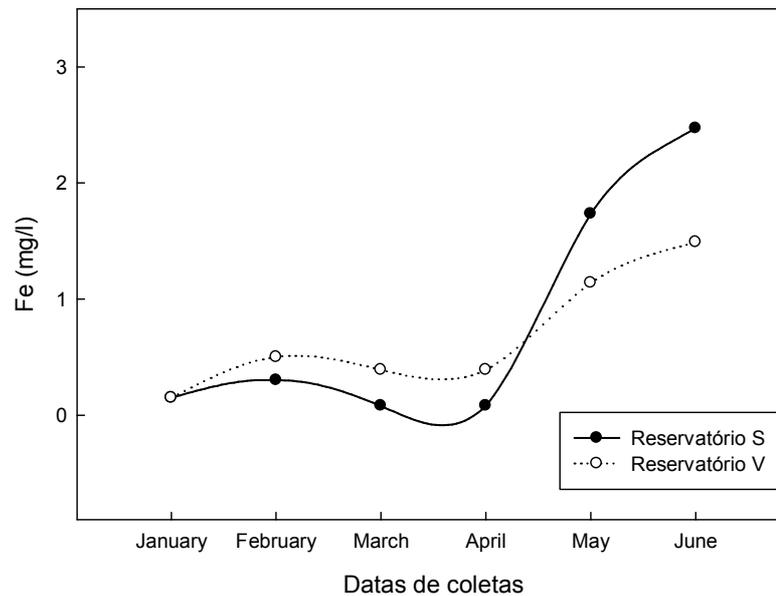


Figura 4.4 – Níveis de ferro total na água dos reservatórios V e S.

O sódio teve comportamento semelhante ao da RAS em todos os dois reservatórios e nos diferentes períodos do ano. O sódio possui importância na irrigação pelo fato de que pode causar dispersão e destruição da estrutura do solo quando seu teor encontrar-se em uma proporção superior a 3:1 (AYERS & WESTCOT, 1991).

Observou-se que o reservatório S teve as maiores concentrações médias de sódio nos meses de janeiro, março, abril, maio, e junho tendo 1,8 mg/l, 2,8 mg/l, 2,5 mg/l, 3,5mg/l e 2,47 mg/l respectivamente e o reservatório V no mês de fevereiro com nível médio de 1,9 mg/l de sódio.

A variação entre os períodos não foi muito proeminente e esta pode ser atribuída a constituição e ao tratamento dado a bacia de entorno do reservatório, sendo que o reservatório S possui em sua bacia de contribuição interferência de áreas urbanizadas com efluentes e áreas de cultivo próximas onde está inserida sua bacia hidráulica.

As águas em relação à concentração de sódio no geral foram classificadas como de baixo risco de utilização na irrigação, com exceção do mês de maio no reservatório S que se encontra classificada como de risco moderado segundo Ayers & Westcot (1991) e encontram-se na Figura 4.5.

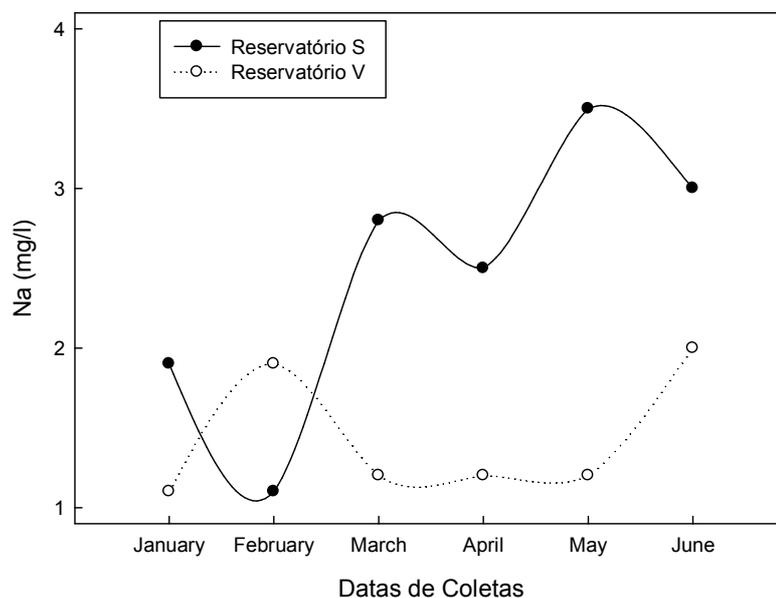


Figura 4.5 – Níveis de sódio nos reservatórios V e S nos diferentes períodos.

Os valores observados da RAS seguiram o comportamento do sódio evidenciado pelo formato das curvas e dos níveis calculados. No reservatório V o menor valor calculado foi de 0,8 em janeiro e o maior de 1,6 em junho. No período de janeiro os níveis de Ca e Mg encontravam-se mais altos do que no mês de junho, pois nos meses de janeiro e fevereiro, a precipitação foi maior causando um maior escoamento superficial, consequentemente vindo a carrear uma maior quantidade de material para o interior do reservatório.

Com relação ao reservatório S, os maiores valores foram observados nos meses de fevereiro e principalmente junho e com o menor valor ocorrendo no mês de janeiro, justamente onde os valores da Ca e Mg foram menores por serem inversamente proporcionais. As diferenças observadas podem estar ligadas ao fato dos distintos manejos e ocupações do solo dado a cada uma das bacias. Silva et al. (2009), analisando a variação espaço temporal de parâmetros qualitativos da água no Alto São Francisco e sua relação com as ações antrópicas, verificou que tanto a quantidade quanto a qualidade da água pode ser alterada por fatores como declividade, tipo de solo e uso da terra. Salata et al. (1988) e Tucci (2004) afirmam que atividades relacionadas ao desmatamento, uso e manejo do solo e modificações na paisagem e superfície do solo causam modificação nos parâmetros qualitativos.

Fato este corroborado por Schumacher & Hoppe (1998), que observaram que em áreas com menor cobertura vegetal, ocorria um aumento do escoamento superficial e menor infiltração de água no solo, contribuindo desta maneira para o carreamento de nutrientes como Ca, Mg, Na, N, P, K e outros provenientes de áreas agrícolas e ou urbanas.

Sendo os valores de Ca, Mg e Na, bastante dinâmicos e dependentes do tratamento dado a bacia, não foi possível definir um padrão segundo Vanzela (2004), e sendo a RAS calculada em função destes, a sua variação consequentemente segue o mesmo comportamento.

Com base nos limites o valor da RAS está dentro dos padrão estabelecido pela pesquisa, estando com valores menores do que 3,0 segundo Ayers & Westcot (1991). Valores de  $RAS_{aj}$  de até 14,9, como os verificados por Macedo & Menino (1998) são potencialmente perigosos pois podem causar problemas de permeabilidade nos solos, porém os mesmos autores encontraram em alguns anos valores de 2,97 e 5,79 que possuem pouca ou nenhuma restrição ao uso em sistemas irrigados. Na Figura 4.6 encontram-se os valores da RAS calculadas.

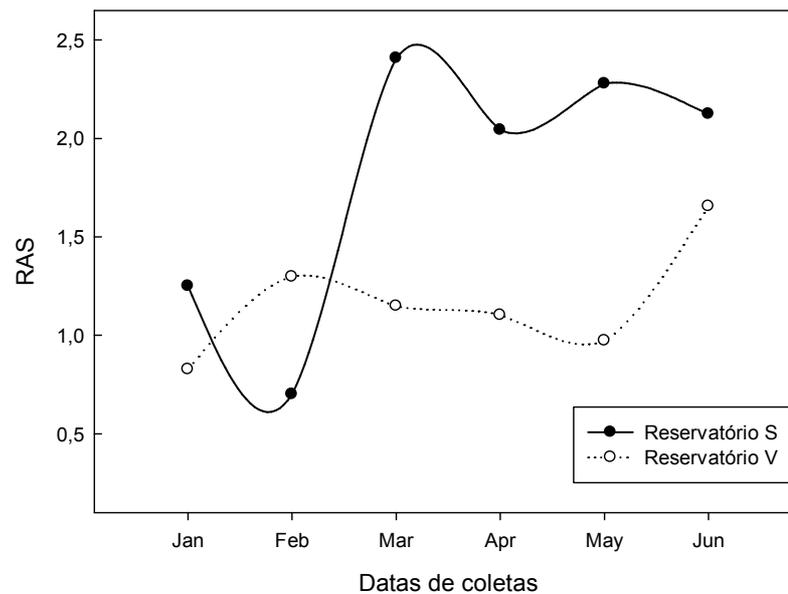


Figura 4.6 – Valores da Razão de Adsorção de Sódio nos reservatórios V e S.

No caso da dureza total este parâmetro possui estreita relação com Ca e Mg. Portanto seu comportamento foi semelhante, quando o nível de um sobe o do outro tende a se elevar também. Segundo Nakayama & Bucks (1986), as precipitações de cálcio e magnésio estão ligados a água que possuem valores altos de dureza total e de pH.

Os níveis de dureza total medidos nos dois reservatórios tiveram o mesmo comportamento. Os valores mais altos foram observados no mês de fevereiro com média de 13 mg de  $\text{CaCO}_3/\text{l}$  para o reservatório V e média de 16 mg de  $\text{CaCO}_3/\text{l}$  para o reservatório S. Os menores valores médios foram verificados no mês de março com 7 mg de  $\text{CaCO}_3/\text{l}$  e 8 mg de  $\text{CaCO}_3/\text{l}$  respectivamente. Houve uma pequena variação entre os reservatórios, porém seguindo a tendência dos demais valores observados durante os diferentes meses. Estas variações assim como as observadas com Ca e Mg, foram atribuídas aos usos de cada bacia de contribuição, onde a bacia referente ao reservatório dos solos possuiu uma maior quantidade de áreas agrícolas que se utilizaram de fertilizantes mais próximas de suas águas e de áreas urbanizadas.

Zamberlan (2007), encontrou níveis de dureza da água para o reservatório V no mês de janeiro de 15,22 mg de  $\text{CaCO}_3/\text{l}$  e de 20,99 mg de  $\text{CaCO}_3/\text{l}$  no reservatório S, o que corrobora com os dados encontrados e com as variações, ressaltando que as condições meteorológicas eram diferentes, porém denota uma tendência de manutenção de comportamento temporal dos reservatórios. Segundo Pitts (1990 apud RIBEIRO et al, 2005) estas águas estão classificadas como de baixo risco para irrigação.

Os níveis de dureza total em mg/l de  $\text{CaCO}_3$  nos seis meses do ano onde se deram as coletas de água estão demonstrados na Figura 4.7 descrita abaixo.

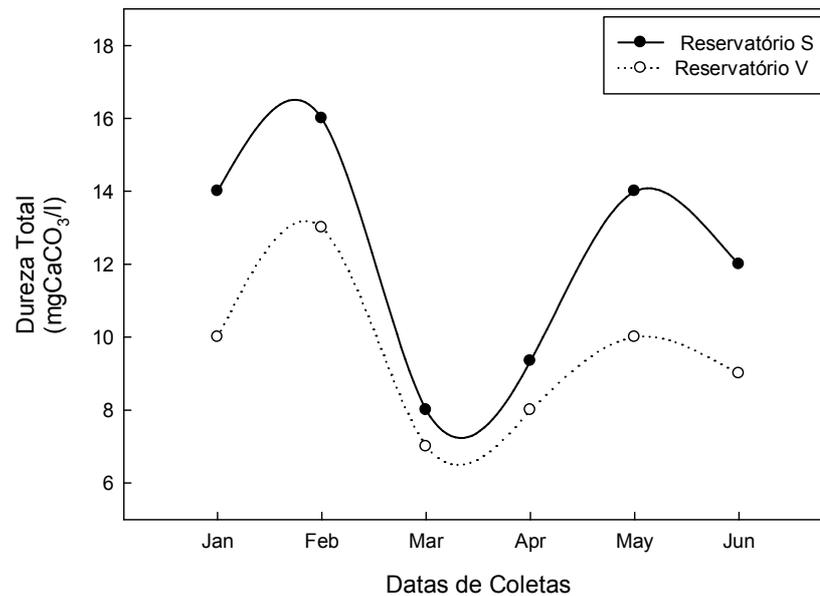


Figura 4.7 – Valores de dureza total nos reservatórios V e S.

A variação nos valores de condutividade elétrica entre os reservatórios deve-se basicamente ao uso do solo da bacia de entorno, acompanhando-se os valores de Ca, Mg, Na, dureza, SDT e pH observados. A Ce representa a quantidade de sais existentes na água pela relação que estes têm com a capacidade de conduzir eletricidade. Os valores medidos foram mais elevados no reservatório S quando comparado ao V, porém os valores tenderam a aumentar conforme houvesse redução na profundidade consequentemente no volume do reservatório, o que pode causar aumento na concentração de sais na água. Este fenômeno foi melhor observado no reservatório V, devido a constante retirada de água para irrigação das culturas.

Os menores valores medidos ocorreram no mês de janeiro, tanto no reservatório V ( $0,26 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) quanto no S ( $0,33 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) e os maiores no mês de fevereiro e março no reservatório V com  $0,42 \mu\text{S}/\text{cm}$  e nos meses de fevereiro e abril no reservatório S com  $0,58$  e  $0,59 \mu\text{S}/\text{cm}$  respectivamente. Os valores menores estavam ligados ao maior volume dos reservatórios e precipitação no mês de janeiro. Nos meses de fevereiro, março e abril principalmente no reservatório V onde a redução no volume foi mais proeminente, portanto as variações na Ce medida também foram maiores, o que não ficou tão evidente no reservatório S onde os

valores tiveram pequenas variações ficando na maioria dos meses com níveis em torno de  $0,5 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

Este comportamento veio ao encontro dos trabalhos de Vanzela (2004) que estudando a qualidade da água de uma microbacia observou um aumento da  $C_e$  quando os volumes do corpo hídrico eram menores. Merten e Minella (2002) explicaram que a variação nos níveis da variável medida pode ser atribuída as condições do entorno de cada reservatório ou corpo hídrico. O comportamento dos reservatórios foi semelhante aos observados por Zamberlan (2007) estudando os níveis dos parâmetros qualitativos de águas superficiais.

Com relação a classificação das águas dos reservatórios segundo Ayers & Westcot (1991), estas são de baixo risco para uso em irrigação. Segundo Mantovani et al. (2006) estas águas foram classificadas na classe S1 quanto ao perigo de salinização, ou seja, não são potencialmente causadoras de salinização dos solos.

Na Figura 4.8 estão demonstrados os níveis de condutividade elétrica nos diferentes reservatórios e períodos do ano.

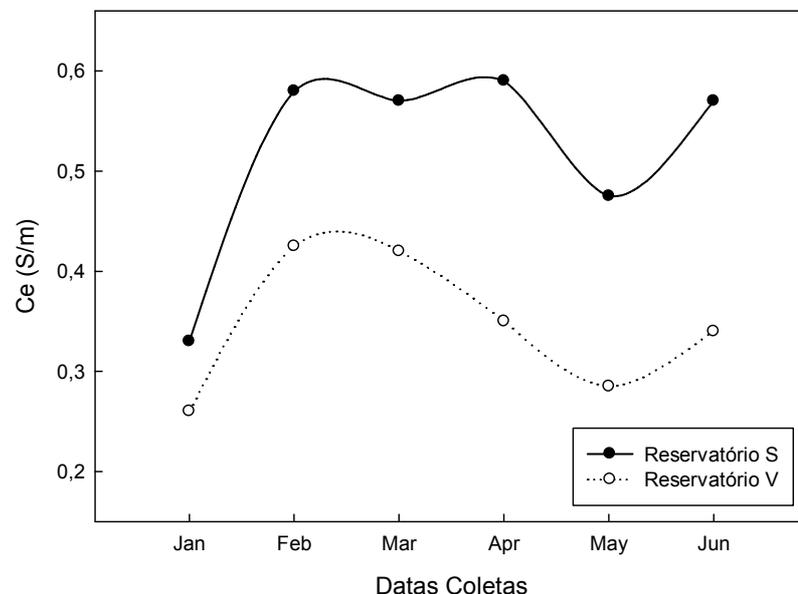


Figura 4.8 – Níveis de condutividade elétrica nos reservatórios V e S.

Com relação aos sólidos dissolvidos totais (SDT) estes quando em excesso podem provocar salinização do solo reduzindo à disponibilidade de água as plantas pelo aumento do potencial osmótico (AYERS & WESTCOT, 1991)

Os maiores valores foram observados no reservatório S, conseqüentemente por este parâmetro estar relacionado com a quantidade de sais e nutrientes dissolvidos na água e por estes valores serem maiores no referido reservatório. Os maiores valores de SDT medidos ocorreram no mês de março onde para o reservatório V foi de 0,27 mg/l e no S de 0,40 mg/l. Os menores valores foram observados no mês de janeiro com 0,16 mg/l e 0,21 mg/l respectivamente e estão demonstrados na Figura 4.9.

Estas diferenças são atribuídas ao maior volume do reservatório no mês de janeiro e menor no mês de março, valores estes que foram ao encontro dos resultados encontrados por Vanzela (2004) que afirmou serem maiores os valores de SDT quando os volumes estão reduzidos devido ao aumento da concentração.

Estas águas, relativo ao risco de causar obstrução nos equipamentos de irrigação estão classificadas como sendo de baixo risco (NAKAYAMA & BUCKS, 1986).

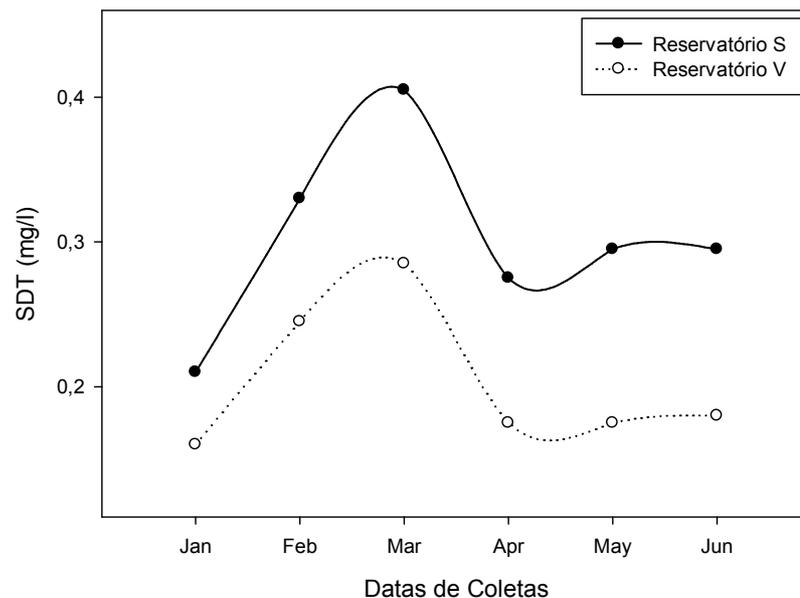


Figura 4.9 – Valores de sólidos dissolvidos totais nos reservatórios V e S.

Os sólidos suspensos constituem-se em um dos principais problemas de qualidade da água para irrigação, podendo causar problemas de obstrução física de emissores e outros componentes, podendo comprometer a qualidade e eficiência da irrigação (NAKAYAMA & BUCKS, 1986; SCALOPPI & BRITO, 1986).

Os valores de sólidos suspensos variaram entre os reservatórios e entre as épocas principalmente devido aos fenômenos meteorológicos ocorridos nos meses e dos usos do solo da bacia de contribuição de cada reservatório. Os maiores valores foram observados no mês de janeiro, período este onde se observou os maiores volumes de precipitação tendo contribuído para o acréscimo de sólidos nos reservatórios provenientes provavelmente do escoamento superficial.

No reservatório V os valores foram de 460 mg/l de SS e no S de 300 mg/l, valores bastante acima dos limites estabelecidos pela pesquisa. Valores menores foram observados no mês de fevereiro onde se observou concentrações de 20 mg/l nos dois reservatórios. Estes níveis mais baixos observados podem ser atribuídos a diminuição dos volumes de chuvas ocorridas no mês.

Os altos valores verificados no mês de janeiro se deveram principalmente as enxurradas que castigaram o período somado a vários dias com ventos moderados, que causaram agitação nas águas e possivelmente movimentos dos sedimentos oriundos do fundo do reservatório, vindo a se misturar a água.

Esta afirmação é corroborada com o estudo de Ribeiro et al. (2005<sub>a</sub>), que verificou elevação nos níveis de sólidos suspensos no interior do reservatório, oriundos da contribuição da água das enxurradas ocorridas no período de verão.

Vanzela (2004), observou que em períodos chuvosos ocorria um aumento das concentrações de sólidos suspensos nas águas do Córrego Três Barras em Marinópolis –SP.

Quanto à classificação das águas em relação aos níveis de sólidos suspensos, estas no mês de janeiro nos dois reservatórios estão classificadas como de alto risco para utilização em irrigação, segundo Nakayama & Bucks (1986).

Os sólidos suspensos ao longo do período tiveram no geral uma razoável variação sendo que nos meses de março, abril, maio e junho as águas dos reservatórios são classificadas como de risco moderado segundo Nakayama & Bucks (1986). Estes níveis variaram de 40 até 100 mg/l de média nos dois reservatórios, com valores maiores observados no reservatório S. Os valores de sólidos suspensos encontram-se na Figura 4.10.

A presença de vento observado quase que todos os dias nos diferentes meses, podem ter contribuído para que os sedimentos do fundo do reservatório se agitem e conseqüentemente misturem-se nas águas dos corpos hídricos, elevando-se desta forma a concentração do parâmetro.

Tundisi & Tundisi (2008) reforçam esta hipótese afirmando que cada reservatório possui características intrínsecas e inerentes a sua origem e morfometria que vem a determinar certos padrões. Os referidos autores ainda observam que reservatórios rasos sofrem mais intensamente a ação eólica afetando a intensidade de mistura vertical dentro dos corpos d'água.

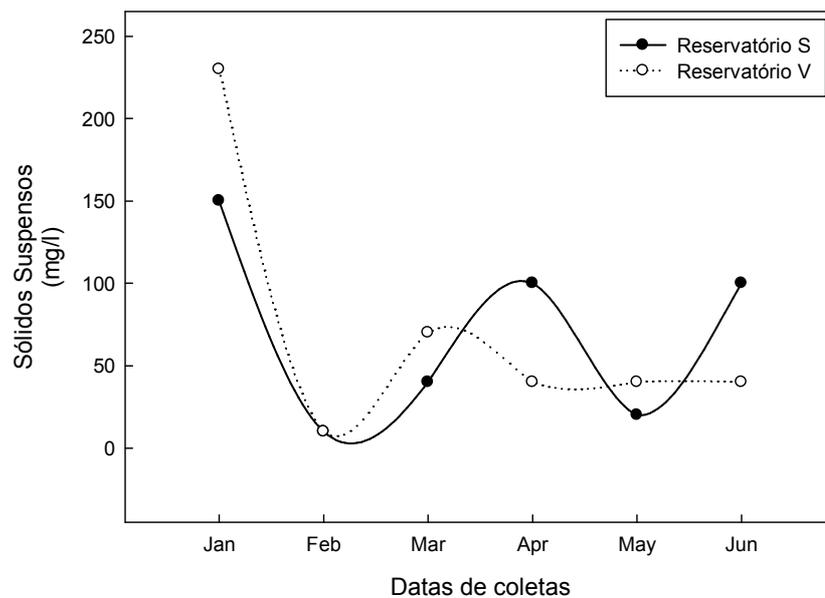


Figura 4.10 – Valores de sólidos suspensos nos reservatórios V e S.

#### 4.2 Determinação dos Índices de Qualidade da Água para os diferentes meses

Com base nas análises dos parâmetros químicos e físicos da água dos reservatórios nos diferentes meses do ano, foram determinados os índices de qualidade da água para irrigação. De acordo com a literatura foram selecionados dez parâmetros de alta relevância e que abrangessem a maior parte dos métodos de

irrigação existentes para fazer parte integrante do cálculo dos índices de qualidade da água.

Para se efetuar o cálculo do índice, utilizou-se a equação abaixo descrita:

$$IQA = \sum_{i=1}^n q_i w_i \quad (4.1)$$

Em que: IQAI é o índice de qualidade da água, um número adimensional entre 0 a 100;  $q_i$  a qualidade da  $i$ -ésima variável, um número entre 0 e 100 e  $w_i$  o peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, dado em função da sua importância.

Porém, a determinação do  $q_i$  e dos respectivos pesos de cada parâmetro foi realizada através de análise multivariada pelo método dos componentes principais. Os dados utilizados para determinar a metodologia e calcular os pesos foram os obtidos por Zamberlan (2007), devido a maior variação ocorrida neste período em comparação com os dados de 2010, cuja variação não foi significativa.

#### 4.2.1 Determinação dos componentes principais

Primeiramente se montou uma matriz de dados com os diferentes níveis de concentração dos dez parâmetros de qualidade da água. Posteriormente, estes dados foram padronizados a fim de uniformizar as unidades onde, a partir desta foi construída uma matriz de correlação que permite analisar a associação entre variáveis. Na Tabela 4.1, apresenta-se a matriz de correlação dos parâmetros qualitativos da água.

Tabela 4.1 – Matriz de correlação dos parâmetros qualitativos da água.

	pH	Ca	Mg	Dureza	Fe	Na	SS	SDT	Ce	RAS
pH	1,00	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ca	0,61	1,00	---	---	---	---	---	---	---	---
Mg	0,62	0,90	1,00	---	---	---	---	---	---	---
Dureza	0,63	0,96	0,98	1,00	---	---	---	---	---	---
Fe	0,80	0,78	0,87	0,85	1,00	---	---	---	---	---
Na	0,55	0,85	0,94	0,93	0,80	1,00	---	---	---	---
SS	0,03	0,49	0,34	0,41	0,03	0,51	1,00	---	---	---
SDT	0,62	0,91	0,94	0,95	0,80	0,96	0,56	1,00	---	---
Ce	0,31	0,76	0,75	0,77	0,46	0,84	0,82	0,90	1,00	---
RAS	0,56	0,84	0,93	0,92	0,80	1,00	0,52	0,96	0,84	1,00

Conforme a matriz de correlação, os parâmetros que maior interrelação foram os sólidos dissolvidos totais, com correlações acima de 0,9 com cálcio, magnésio, sódio, dureza total, condutividade elétrica e acima de 0,8 com o ferro total. Tendo o ferro total a mais baixa correlação com os parâmetros pH e sólidos suspensos com valor de 0,03.

Para os cálculos foram utilizados os dados do ano de janeiro de 2007 publicados por Zamberlan (2007) estudando estes mesmos reservatórios e não os dados coletados em 2010, devido à inexpressividade da variação dos valores absolutos de determinados parâmetros como o pH, onde não houve significância quando da aplicação do teste de adequacidade de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO). Pois no caso do potencial hidrogênio (pH), para se elevar o valor em uma unidade, esta variação deve ser multiplicada por dez. Este teste segundo Meireles (2007), é aplicado para comparar a magnitude dos dados, tendo como limitação do modelo valor inferior a 0,5. Quando foi se efetuar o teste nos dados de 2010, o valor foi de 0,32. Aplicando-se o teste KMO para análise dos fatores nos dados de Zamberlan (2007), obteve-se o valor de 0,57, mostrou-se adequado para o estudo em questão.

Os valores dos parâmetros qualitativos da água referentes a janeiro de 2007 tiveram uma variação maior, o período de coleta da água foi em um momento onde os reservatórios estavam com menor volume de água.

Estando dentro da adequacidade, a próxima etapa foi aplicação do Método dos Componentes Principais, a fim de reduzir o número de dados sem prejuízo da informação relativa aos níveis dos parâmetros qualitativos da água. Obtiveram-se

dois fatores principais que explicam 92,14% das variações dos dados originais de um total de dez fatores baseados nas variâncias calculadas.

Destes dois fatores adotou-se como critério selecionar os que possuíam valores acima de 0,85, portanto, foram utilizados valores pertencentes aos dois fatores, pH, ferro, magnésio e ferro total do primeiro fator que explicam 55,49% da variância e sólidos suspensos e condutividade elétrica do segundo fator que explicam 36,54%, pois estes possuíam valores superiores ao critério estabelecido. O estudo foi realizado utilizando-se cinco e dez parâmetros, para posteriormente analisar as diferenças na interpretação dos dados e na qualidade informacional dos índices de qualidade da água de irrigação calculados.

As variâncias das componentes estão descritas abaixo na Tabela 4.2 e a carga fatorial e comunalidade calculadas encontram-se na Tabela 4.3

Tabela 4.2 – Variância das componentes principais.

Componentes	Variâncias Iniciais	Variâncias Iniciais	
		Variância(%)	Acumulada (%)
1	5,55	55,49	55,49
2	3,66	36,64	92,14
3	0,41	4,06	96,20
4	0,22	2,21	98,41
5	0,08	0,81	99,23
6	0,06	0,57	99,80
7	0,02	0,17	99,97
8	0,00	0,03	100,00
9	0,00	0,00	100,00
10	0,00	0,00	100,00

Tabela 4.3 – Carga fatorial e comunalidade.

	Carga Fatorial		Comunalidade
	F1	F2	
pH	<b>0,86</b>	(0,06)	0,74
Ca	0,76	0,55	0,88
Mg	<b>0,86</b>	0,46	0,95
Dureza Total	0,84	0,51	0,96
Fe	<b>0,98</b>	0,09	0,96
Na	0,75	0,61	0,94
SS	(0,06)	<b>0,95</b>	0,91
SDT	0,75	0,64	0,98
Ce	0,40	<b>0,90</b>	0,96
RAS	0,75	0,62	0,94

Os valores da comunalidade encontrados e descritos na Tabela 4.3 foram na maioria acima de 0,9 indicando que os dois fatores explicam mais de 90% de sua variância, excetuando-se a variável pH com 0,74 e Ca com 0,88 que explicam 74% e 88% respectivamente. O pH teve menor valor talvez atribuído a que sua variação é exponencial e a do cálcio por ser de fato um parâmetro que possui dependência grande do manejo da bacia de entorno e das próprias características geológicas da bacia hidráulica do reservatório variando de valores entre 2,4 a 3,9 mg/l. Apesar destes valores, terem sido menores que os demais, eram valores bastante significativos que demonstram que os dois fatores, de fato explicaram uma grande parcela da variância dos parâmetros no período sem perda de informação.

De acordo as análises químicas e físicas as variações nos parâmetros qualitativos da água dos reservatórios possuíram forte influência da bacia de contribuição, promovendo aporte de material e sedimentos que solubilizaram elementos como o ferro, cálcio, sódio e outros contribuindo na variabilidade das concentrações. O aumento e diminuição da profundidade do reservatório interferiu diretamente no seu volume, estando associado ao poder de diluição destes elementos, hora aumentando a concentração, hora diminuindo, sendo o comportamento de cada parâmetro bastante dinâmico.

#### 4.2.2 Valores limites e qualidade individual dos parâmetros

Para o cálculo do índice de qualidade da água de irrigação foram determinados os limites dos valores baseados na literatura, distribuindo-os e enquadrando-os dentro de um intervalo adimensional onde atribui-se valores entre 0 e 100. Estes limites foram definidos com base nos padrões qualitativos para as águas de irrigação estabelecido por Ayers e Westcot (1991), Nakayama e Bucks (1986) e Lamm et al. (2007). Para tanto os referidos autores dividiram em três classes as águas de irrigação e, portanto, manteve-se o número de classes conforme sua qualidade e restrição a utilização em irrigação.

De acordo a classificação estabelecida pelos referidos autores, os valores limites dos parâmetros foram distribuídos em três níveis, da melhor qualidade para a pior, onde no intervalo compreendido entre 0 e 35 é classificado como de restrição ao uso da água em irrigação ou seja uma água de baixa qualidade, de 35 a 70 restrição moderada uma água de média qualidade e de 70 a 100 a água não possui restrição sendo de boa qualidade. Esta divisão em classes também foi utilizada por Lopes et al., (2007), onde dividiu a água em cinco classes, porém este utilizou-se além de valores limites para irrigação proposto por Ayers e Westcot (1991), usou-se também valores limites estabelecidos para consumo humano. Meireles et al., (2010) onde propôs uma nova classificação para a água de irrigação, criou quatro classes para a água. A divisão em três classes deveu-se única e exclusivamente a que os valores dos parâmetros fossem determinados até agora respeitando este número de classes e a inexistência de valores limites determinados pela pesquisa para nossas condições de clima, solo, geologia, topografia e uso da terra.

No caso de águas estarem dentro dos intervalos restritivos, estas para serem utilizadas deverão ser submetidas a um processo de tratamento a fim de se adequarem ao propósito. Os valores limites de cada parâmetro encontram-se descritos nas Tabelas 4.4 e 4.5.

Tabela 4.4 – Valores limites dos parâmetros da água de irrigação (a)

CLASSE	CE	RAS	Na	Mg	Ca
70 - 100	< 700	2 < RAS < 4	< 3,0	0 < Mg < 3	0 < Ca < 10
35 - 70	700 < CE < 3000	4 < RAS < 12	3 < Na < 9	03 < Mg < 5	10 < Ca < 20
0 - 35	Ce > 3000	RAS < 2 ou RAS > 12	> 9	Mg > 5	Ca > 20

\*Ce em  $\mu\text{S/cm}$ , RAS e Ph são adimensionais e o restante é expresso em mg/l.

Tabela 4.5 – Valores limites dos parâmetros da água de irrigação (b)

CLASSE	Ph	Dureza	Fe	SDT	SS
70 - 100	< 7	< 150	< 0,1	< 450	< 50
35 - 70	7 < Ph < 8	150 < Dur < 300	0,1 < Fe < 1,5	450 < SDT < 2000	50 < SS < 100
0 - 35	> 8	> 300	> 1,5	> 2000	> 100

\*Ce em  $\mu\text{S/cm}$ , RAS e Ph são adimensionais e o restante é expresso em mg/l.

Os valores da qualidade individual dos parâmetros qualitativos da água ( $Q_i$ ) foram calculados através da equação abaixo, utilizando os valores limites contidos nas Tabelas 4.4 e 4.5, e os resultados demonstrados nas Tabelas 4.6 e 4.7 respectivamente.

$$Q_i = Q_{i\text{máx}} - \frac{(X_i - X_{i\text{inf}}) \cdot Q_{i\text{amp}}}{A_i} \quad (4.2)$$

Tabela 4.6 – Valores da qualidade individual dos parâmetros do reservatório V.

Paramêtros	Ce	RAS	Na	Mg	Ca	Ph	Dureza	Fe	SDT	SS	
$Q_i$	Jan/10	88,86	20,55	89,00	89,85	92,41	71,67	98,00	68,75	99,99	72,40
	Fev/10	81,79	12,29	99,17	98,64	99,60	72,44	97,40	60,00	99,98	88,00
	Mar/10	82,00	14,91	99,48	98,87	99,87	73,04	98,60	62,75	99,98	56,00
	Abr/10	85,00	15,72	99,48	98,87	99,85	59,15	98,40	62,75	99,99	77,00
	Mai/10	87,79	17,97	99,48	98,84	99,75	70,84	98,00	44,00	99,99	77,00
	Jun/10	85,43	6,038	99,13	98,94	99,75	70,75	98,20	35,25	99,99	77,00

Tabela 4.7 – Valores da qualidade individual dos parâmetros do reservatório S.

Paramêtros	Ce	RAS	Na	Mg	Ca	Ph	Dureza	Fe	SDT	SS	
Q <sub>i</sub>	Jan/10	85,86	13,13	99,17	99,00	99,49	63,18	97,20	68,75	99,99	82,00
	Fev/10	75,14	22,73	99,52	98,94	99,45	71,01	96,80	71,75	99,98	88,00
	Mar/10	75,57	93,88	98,78	98,70	99,83	71,59	98,40	76,00	99,97	49,00
	Abr/10	74,71	99,36	98,91	98,70	99,78	70,24	98,13	76,00	99,98	35,00
	Mai/10	79,64	95,83	98,48	98,42	99,58	70,66	97,20	18,55	99,98	76,00
	Jun/10	75,57	98,14	98,7	98,73	99,63	70,21	97,60	12,37	99,98	35,00

Observou-se que as notas calculadas para o reservatório V foram próximas de 100, em sua maioria variando entre 70 e 99 demonstrando que os valores dos parâmetros encontram-se dentro dos limites aceitáveis para irrigação. Ocorreu variação principalmente com relação a RAS nos meses de janeiro e fevereiro e ao ferro em maio e junho. Os valores baixos do Q<sub>i</sub> indicaram que nestes meses os níveis destes parâmetros estavam acima do aceitável para irrigação. No caso da RAS pode ter havido um aporte de sódio oriundo de material carreado devido à alta precipitação e ventos ocorridos nestes meses bem como dos usos da bacia de contribuição. O aumento nos níveis de ferro total gerando uma qualidade individual inferior (44,00 e 35,25) pode ser atribuído ao mesmo motivo, tendo a precipitação destes meses se aproximado da média. Estes fatos foram corroborados pelos estudos da qualidade da água realizados por Vanzela (2004) e Zamberlan (2007).

Com relação ao reservatório S a qualidade individual dos parâmetros seguiu um comportamento parecido com o reservatório V, porém nos meses de maio e junho a qualidade individual do ferro total foi bastante reduzida em relação ao outro reservatório (18,55 e 12,37), sendo estes menores valores atribuídos a uma particularidade da bacia de contribuição do reservatório S, que foi a presença de uma olaria (Figura 3.2) a montante, onde se localiza uma área de retirada de argila do horizonte Bt, rico em óxido de ferro e que pode ter contribuído de forma significativa com o aporte deste elemento nas suas águas.

O parâmetro sólido suspenso (SS) obteve valor 35,00 nos meses de abril e junho evidenciando que houvesse entrada de material sólido no interior do corpo hídrico devido à precipitação. Estando o ano de 2010 sob efeito do fenômeno El Niño que se caracteriza por precipitações acima dos níveis normais no Sul do Brasil.

Este fenômeno certamente influenciou a dinâmica dos constituintes da água dos reservatórios.

#### 4.2.3 Pesos ( $w_i$ ) dos parâmetros qualitativos da água

Os pesos dos parâmetros referiu-se justamente a quanto realmente um determinado parâmetro tem inferência nas variações ocorrentes no aspecto qualitativo da água. O valor somado de todos os pesos ( $w_i$ ) deve ser igual a uma unidade. Primeiramente ponderou-se o peso para os dez parâmetros estudados e posteriormente para os cinco que mais explicaram a variância, pH, Mg e Fe total do Fator 1 e SS juntamente com a Ce referente ao Fator 2, para que posteriormente estes valores fossem utilizados no cálculo do índice de qualidade da água de irrigação para dez e cinco parâmetros respectivamente.

Utilizando a equação abaixo se calculou os pesos para cada parâmetro qualitativo da água.

$$w_i = \frac{\sum F_j A_{ij}}{\sum \sum F_j A_{pi}} \quad (4.3)$$

Em que  $W_i$  é o peso atribuído a cada parâmetro da água,  $F_j$  auto valor da fator  $j$ ,  $A_{ij}$  carga fatorial do parâmetro  $i$  e  $A_{pi}$  carga fatorial dos parâmetros  $p$ .

Os valores de  $F$  e  $A$  para dez e cinco parâmetros qualitativos da água dos reservatórios estão descritos nas Tabelas 4.8 e 4.9.

Tabela 4.8 -Valores de F e A para cálculo dos respectivos pesos para 10 parâmetros.

Parâmetros	A <sub>ij</sub>	F <sub>j</sub>
Ph	0,86	5,5
Ca	0,76	5,5
Mg	0,86	5,5
Dureza	0,84	5,5
Fe	0,98	5,5
Na	0,75	5,5
SDT	0,75	5,5
RAS	0,75	5,5
Ce	0,90	3,6
SS	0,95	3,6
$\sum A_{ij}=A_{pi}$	8,35	

Os pesos calculados para dez fatores foram demonstrados a seguir:

$$w_{pH} = \frac{0,86.5,5}{5,5.8,35} = \frac{4,73}{45,923} = 0,1029 \cong 0,10$$

$$w_{Mg} = w_{pH} = 0,10$$

$$w_{Ca} = \frac{0,76.5,5}{5,5.8,35} = \frac{4,18}{45,923} = 0,09102 \cong 0,09$$

$$w_{Dur} = \frac{0,84.5,5}{5,5.8,35} = 0,1006 \cong 0,10$$

$$w_{Fe} = \frac{0,98.5,5}{5,5.8,35} = 0,1174 \cong 0,12$$

$$w_{Na} = \frac{0,75.5,5}{5,5.8,35} = 0,089 \cong 0,09$$

$$w_{Na} = w_{SDT} = w_{RAS} = 0,09$$

$$w_{Ce} = \frac{0,9.3,6}{3,6.8,35} = \frac{3,294}{30,561} = 0,1078 \cong 0,11$$

$$w_{SS} = \frac{0,95.3,6}{3,6.8,35} = 0,1138 \cong 0,11$$

Tabela 4.9 -Valores de F e A para cálculo dos respectivos pesos para 5 parâmetros.

Parâmetros	A <sub>ij</sub>	F <sub>j</sub>
Ph	0,86	5,5
Mg	0,86	5,5
Fe	0,98	5,5
Ce	0,90	3,6
SS	0,95	3,6
$\sum A_{ij}=A_{pi}$	4,55	

Os pesos calculados para cinco fatores foram demonstrados a seguir:

$$w_{pH} = \frac{0,86.5,5}{5,5.4,55} = 0,189 \cong 0,19$$

$$w_{Mg} = w_{pH} = 0,189 \cong 0,19$$

$$w_{Fe} = \frac{0,98.5,5}{25,03} = 0,215 \cong 0,21$$

$$w_{Ce} = \frac{0,9.3,6}{3,6.4,55} = 0,198 \cong 0,20$$

$$w_{SS} = \frac{0,95.3,6}{3,6.4,55} = 0,209 \cong 0,21$$

Os respectivos pesos para dez e cinco parâmetros respectivamente ficaram assim estabelecidos de acordo a Tabela 4.10.

Tabela 4.10 - Pesos referentes a dez e cinco parâmetros de acordo a ACP.

Parâmetros	$W_{i10}$	$W_{i5}$
Ph	0,10	0,19
Mg	0,10	0,19
Fe	0,12	0,21
Ce	0,11	0,20
SS	0,11	0,21
Ca	0,09	-
Dureza	0,10	-
SDT	0,09	-
RAS	0,09	-
Na	0,09	-
$\Sigma$	1,0	1,0

Quando do cálculo dos pesos levando-se em consideração dez parâmetros, os valores variaram pouco, tendo o ferro total (Fe) o maior peso entre os parâmetros e sódio (Na), sólidos dissolvidos totais (SDT) e razão de adsorção de sódio (RAS) o menor peso. No caso dos pesos ponderados para cinco parâmetros o valor mais alto foi obtido pelo ferro total (Fe) que evidenciou a relevância deste parâmetro para águas superficiais na irrigação corroborando com a determinação para dez parâmetros, onde o ferro igualmente obteve o maior peso.

O parâmetro sólido suspenso teve o mesmo valor de peso que o ferro, quando da análise com cinco parâmetros, sendo que sua presença em águas superficiais é muito comum e devido ao fato de que devido aos maiores volumes de chuva principalmente em janeiro, ocorreu um grande aporte deste parâmetro nas águas. Portanto por estar geralmente presente este se tornou relevante para a finalidade da irrigação.

Analisando os pesos, observou-se que os mesmos ficam bem distribuídos quando temos um número maior de parâmetros, o que pode causar diferenças no momento de classificar as águas e mesmo de interpretar seus níveis e avaliar os

riscos. Em relação a sua variação, nos dois casos eles pouco variam, sendo as diferenças entre um e outras pouco pronunciadas.

#### 4.2.4 Valores dos índices de qualidade da água de irrigação para os diferentes períodos

Tendo-se obtidos os  $Q_i$  e os  $W_i$  para dez e cinco parâmetros foram calculados os índices de qualidade da água para cada um respectivamente para os reservatórios V e S demonstrados nas Tabelas 4.11 e 4.12.

Tabela 4.11 – Índices de qualidade da água nos diferentes meses para o reservatório V

Paramêtros	Ce	RAS	Na	Mg	Ca	Ph	Dureza	Fe	SDT	SS	IQA 10	IQA 5
$W_{10}$	0,11	0,09	0,09	0,10	0,09	0,10	0,10	0,12	0,09	0,11		
$W_5$	0,20	--	--	0,19	--	0,19	--	0,21	--	0,21		
Jan/10	88,86	20,55	89,00	89,85	92,41	71,67	98,00	68,75	99,99	72,40	<b>79</b>	<b>78</b>
Fev/10	81,79	12,29	99,17	98,64	99,60	72,44	97,40	60,00	99,98	88,00	<b>81</b>	<b>80</b>
Mar/10	82,00	14,91	99,48	98,87	99,87	73,04	98,60	62,75	99,98	56,00	<b>78</b>	<b>74</b>
Abr/10	85,00	15,72	99,48	98,87	99,85	59,15	98,40	62,75	99,99	77,00	<b>79</b>	<b>76</b>
Mai/10	87,79	17,97	99,48	98,84	99,75	70,84	98,00	44,00	99,99	77,00	<b>79</b>	<b>75</b>
Jun/10	85,43	6,038	99,13	98,94	99,75	70,75	98,20	35,25	99,99	77,00	<b>76</b>	<b>73</b>

Tabela 4.12 – Índices de qualidade da água nos diferentes meses para o reservatório S

Paramêtros	Ce	RAS	Na	Mg	Ca	Ph	Dureza	Fe	SDT	SS	IQA 10	IQA 5
$W_{10}$	0,11	0,09	0,09	0,10	0,09	0,10	0,10	0,12	0,09	0,11		
$W_5$	0,20	--	--	0,19	--	0,19	--	0,21	--	0,21		
Jan/10	85,86	13,13	99,17	99,00	99,49	63,18	97,20	68,75	99,99	82,00	<b>81</b>	<b>80</b>
Fev/10	75,14	22,73	99,52	98,94	99,45	71,01	96,80	71,75	99,98	88,00	<b>82</b>	<b>81</b>
Mar/10	75,57	93,88	98,78	98,70	99,83	71,59	98,40	76,00	99,97	49,00	<b>85</b>	<b>74</b>
Abr/10	74,71	99,36	98,91	98,70	99,78	70,24	98,13	76,00	99,98	35,00	<b>84</b>	<b>70</b>
Mai/10	79,64	95,83	98,48	98,42	99,58	70,66	97,20	18,55	99,98	76,00	<b>81</b>	<b>68</b>
Jun/10	75,57	98,14	98,7	98,73	99,63	70,21	97,60	12,37	99,98	35,00	<b>76</b>	<b>57</b>

De acordo com os valores limites baseados na classificação da água para irrigação estabelecido por Ayers e Westcot (1991), Nakayama e Bucks (1986) e

Lamm et al. (2007). Ficou estabelecida uma classificação generalizada para irrigação, levando-se em conta problemas relacionados ao uso da água na irrigação como diminuição da taxa de infiltração, salinidade, toxicidade, obstrução de emissores e tubulações, danos ao equipamento de irrigação e diminuição de sua vida útil e necessidade de tratamento da água.

Portanto, com base nisto ficou assim estabelecida a classificação das águas em função dos índices de água calculados segundo a Tabela 4.13.

Tabela 4.13 - Classificação da água em função do seu IQAI

Índice de qualidade da água de irrigação	Limitação	Indicações
70 – 100	Boa qualidade e baixo risco para atividade	O risco sendo baixo pode-se utilizar a água em diferentes tipos de solo, clima e cultivos, sem que se faça necessário tratar a água, salvo em determinados casos pontuais.
35 – 70	Qualidade moderada com médio risco para atividade	A água pode ser utilizada, porém com determinados cuidados no manejo da irrigação, através de aplicações de diferentes lâminas de aplicação conforme necessidade, retrolavagem dos equipamentos, tratamento da água quando necessário.
0 - 35	Baixa qualidade e alto risco para atividade	Nesta classe a água deve ser quase que exclusivamente tratada para adequabilidade ou ter seu uso restrito. Pode haver salinização do solo, redução da taxa de infiltração, toxicidade a culturas não tolerantes e comumente causar danos e obstrução nos equipamentos de irrigação.

Constatou-se que houve variação temporal nos diversos parâmetros qualitativos da água, entre os reservatórios e nos IQAI calculados com dez e cinco parâmetros nos diferentes meses do ano, porém alguns destes não obtiveram

grande variação que viesse a comprometer a qualidade e seu enquadramento na classe.

De acordo com índices de qualidade da água de irrigação calculados, houve diferenças entre os reservatórios, principalmente nos meses de abril, maio e junho quando o IQAI foi calculado levando-se em conta cinco parâmetros. Denotou-se que a análise dos componentes principais se presta perfeitamente à análise, não causando nenhum prejuízo informacional. Na comparação entre os IQAI com dez fatores e com cinco, este último por ter menor número de parâmetros, porém, com poder de explicação das variâncias acima de 90%, conferiu real valor aos parâmetros que foram determinantes no manejo e tomadas de decisão na irrigação.

Observou-se que tanto o reservatório V quanto o S quando do cálculo do IQAI para dez parâmetros durante os diferentes meses do ano, tiveram suas águas classificadas como de boa qualidade, ficando seu  $IQAI_{10}$  variando na faixa de 76 a 85. No reservatório V o  $IQAI_{10}$  mais alto 81 ocorreu no mês de fevereiro proporcionado pelo maior volume do reservatório (3,10m de profundidade) e o  $IQAI_{10}$  mais baixo ocorreu no mês de junho com índice de 76 pelo menor volume evidenciado pela profundidade no ponto de adução (2,80m) devido a retirada da água para irrigação do arroz e hortigranjeiros que foram abastecidos por este reservatório. Outro fator que somado ao menor volume pode ter contribuído para um decréscimo qualitativo foi a precipitação ocorrida anteriormente a coleta, onde verificou-se precipitação por quatro dias consecutivos e em um deles tendo um volume significativo (39,7mm) somado a velocidade do vento que segundo Tundisi & Tundisi (2008) fez com que houvesse mistura vertical no interior do reservatório.

Quando se utilizou o  $IQAI_5$  observou-se uma redução nos valores dos índices, mas sem que haja mudança na classe. O  $IQAI_5$  mais alto foi de 80 em fevereiro e o mais baixo 73 em junho, demonstrando uma leve piora na qualidade da água, relativo ao reservatório V.

No caso do reservatório S, observou-se que a variação seguiu o mesmo padrão do reservatório V, porém nos últimos três meses ocorreu uma queda qualitativa relevante na qualidade da água quando se calculou o IQAI em função dos cinco parâmetros que mais explicaram as variações. Nos meses de abril, maio e junho o  $IQAI_5$  obteve valores de 70, 68 e 57 respectivamente, havendo mudança na classificação da água relativa ao seu índice de qualidade de água de irrigação. Ao que o  $IQAI_{10}$  manteve-se com bons índices sem haver alteração de classe. Isto

remeteu a que neste caso onde o IQAI foi baseado em cinco parâmetros, em determinadas modalidades de irrigação, esta água pode ter restrição de uso, principalmente em sistemas de microirrigados, onde a exigência em água de qualidade superior é maior. As notas ( $Q_i$ ) referentes aos níveis de ferro total na água foram muito baixas, indicando que os níveis presentes na água do reservatório suplantam os limites estabelecidos para as águas de irrigação, corroborando com a análise realizada em função dos valores absolutos para os parâmetros.

No caso do IQAI<sub>10</sub> não ocorreu alteração da classe, estando classificada como uma água de boa qualidade e baixo risco para atividade irrigada de modo geral. Esta classificação pode vir a comprometer a atividade se, por exemplo, tratou-se de irrigação localizada. Portanto, o IQAI<sub>5</sub> no momento da interpretação demonstra maior confiabilidade em função de que determinados parâmetros, para algumas modalidades de irrigação, possuem de fato uma relevância muito maior, desta forma pode-se identificar e determinar tratamentos específicos para cada qualidade de água, principalmente relativo a sistemas microirrigados, onde a suscetibilidade e exigência são maiores.

O valor prático quando se levou em consideração os custos do tratamento segundo Ayers & Westcot (1991) é de 2,0 mg/l, porém o nível aceitável recomendado pelos referidos autores é de 0,5 mg/l e segundo Nakayama & Bucks o nível foi ainda menor, 0,2 mg/l. Zamberlan (2007) estudando as águas destes mesmos reservatórios, porém em período de La Niña, encontrou-se valores de até 2,34 mg/l de ferro total solubilizados na água do reservatório S.

As variações nos índices de qualidade da água podem possuir diferentes origens, como segundo Lopes et al.(2007) encontrou-se estudando a bacia hidrográfica do Rio Acaraú, onde em diferentes estações de coleta houve redução na qualidade das águas, em uma estação, onde atribuiu-se o decréscimo, ao deflúvio superficial e em outra ao menor volume do corpo hídrico observado. Toledo & Nicolela (2002) encontraram redução na qualidade da água no período chuvoso quando do estudo de uma microbacia em Guairá- SP.

Este fato corroborou com Haase & Possoli (1993) onde na elaboração de um índice de qualidade de dois corpos hídricos diferentes, concluíram que valores de IQA e sua variabilidade diferem devido às ações antrópicas distintas.

Os IQAI<sub>10</sub> e IQAI<sub>5</sub>, de maneira geral, indicaram que as águas dos dois reservatórios são de boa e média qualidade na maior parte dos meses do ano

estudados e podem ser utilizadas em irrigação bem como suas águas se aplicam a várias modalidades da mesma. Porém nos meses de maio e junho há a necessidade de tratamento da água, devido aos altos níveis de ferro total solubilizados mensurados nas análises laboratoriais, principalmente no reservatório S. Este em comparação ao reservatório V, mostrou que sua água possui qualidade inferior, que pode ser atribuída aos usos do solo e maior urbanização de sua bacia de contribuição demonstrada pela Figura 3.2 do capítulo 3. As duas bacias possuem tamanhos semelhantes (informação pessoal ROBAINA, 2010), porém os usos e cobertura vegetal são distintas, o que pode definir as diferenças nos IQAs calculados.

### **4.3 Proposta metodológica para tomada de decisão**

O processo de tomada de decisão é intrínseco ao manejo da irrigação na determinação de quando e quanto irrigar. A agricultura irrigada exige altos investimentos em obras, equipamentos, controle e distribuição de água, energia e mão de obra para operação do sistema (MARQUES et al., 2004). Segundo o referido autor, a tomada de decisão sob risco, permite que se modele o problema a cerca de resultados futuros possíveis conhecidos.

O desenvolvimento de metodologias que auxiliem no processo decisório principalmente em irrigação levando-se aspectos quantitativos e qualitativos relacionados a água proporciona ao gestor uma avaliação mais completa, tanto do ponto de vista técnico quanto econômico.

Utilizou-se como componentes dos custos os valores da água aplicada que variam em um intervalo compreendido entre 0,1 a 1,2 US\$ mm<sup>-1</sup>ha<sup>-1</sup>, conforme referências bibliográficas pesquisadas e referenciadas anteriormente. Este valor foi multiplicado pelo valor da lâmina de irrigação utilizada no período na irrigação da cultura em questão.

Somado a estes, os custos referentes a cobrança de água por m<sup>3</sup> consumido da bacia hidrográfica a que pertenceu o empreendimento. Para fins de exemplificação, foi utilizado o valor em dólar para o metro cúbico da água de US\$

0,00722.00 adotada em proposta de cobrança realizada por Forgiarini et al. (2008) para a Bacia do Rio Santa Maria.

O custo referente ao tratamento dependeu diretamente da qualidade da água, sendo que podem ocorrer três situações: (i) não necessitar de tratamento, quando o IQA apresentar valores adequados para a irrigação; (ii) apenas filtragem e (iii) processo de filtragem mais tratamento químico.

Ambas as situações foram definidas após a análise da água e interpretação do IQA no caso do tratamento foi levado em consideração principalmente os valores de ferro e sólidos suspensos, parâmetros estes que possuem maior peso junto à determinação dos índices de qualidade da água de irrigação calculados.

Para a determinação do custo para cada situação, foram utilizadas as seguintes equações:

$$C_{\text{trat}} \rightarrow \begin{cases} \text{Se (i), } C_{\text{trat}} = 0 \\ \text{Se (ii), } C_{\text{trat}} = 0,002 \cdot Q_i \\ \text{Se (iii), } C_{\text{trat}} = Q_i \cdot (0,002 + 0,0023 \cdot E_{\text{fe}}) \end{cases}$$

Em que,  $Q_i$  refere-se ao volume de água utilizado ( $\text{m}^3$ ) e  $E_{\text{fe}}$  o excesso de ferro presente na água.

O valor de 0,002 foi referente ao custo da filtragem sendo este o tratamento básico para água utilizado, onde no trabalho de Carvalho, Schlitter & Tornisielo (2000) estudando as relações da atividade agropecuária na qualidade da água, citam que o custo de tratamento da água varia de US\$ 2,00 por  $1000\text{m}^3$  onde o tratamento é básico, pois a água é de melhor qualidade, a US\$ 8,00, quando a água é mais impactada.

O valor de US\$ 0,0023 foi referente ao tratamento da água de acordo com a quantidade de ferro total presente na água, obedecendo a relação apresentada por Nascimento Filho & Pereira (2005), onde para cada mg de ferro solubilizado na água necessita-se de 0,64 mg de cloro para ocorrer a precipitação. No caso como fonte de Cloro utilizou-se o hipoclorito de sódio. O valor de mercado para o litro de hipoclorito foi de R\$ 7,00 segundo empresa Aproquímica (2011). Este valor foi convertido para dólares por mg de produto.

A árvore decisória baseada nos custos da água para irrigação ficou assim estabelecida, conforme Figura 4.11.

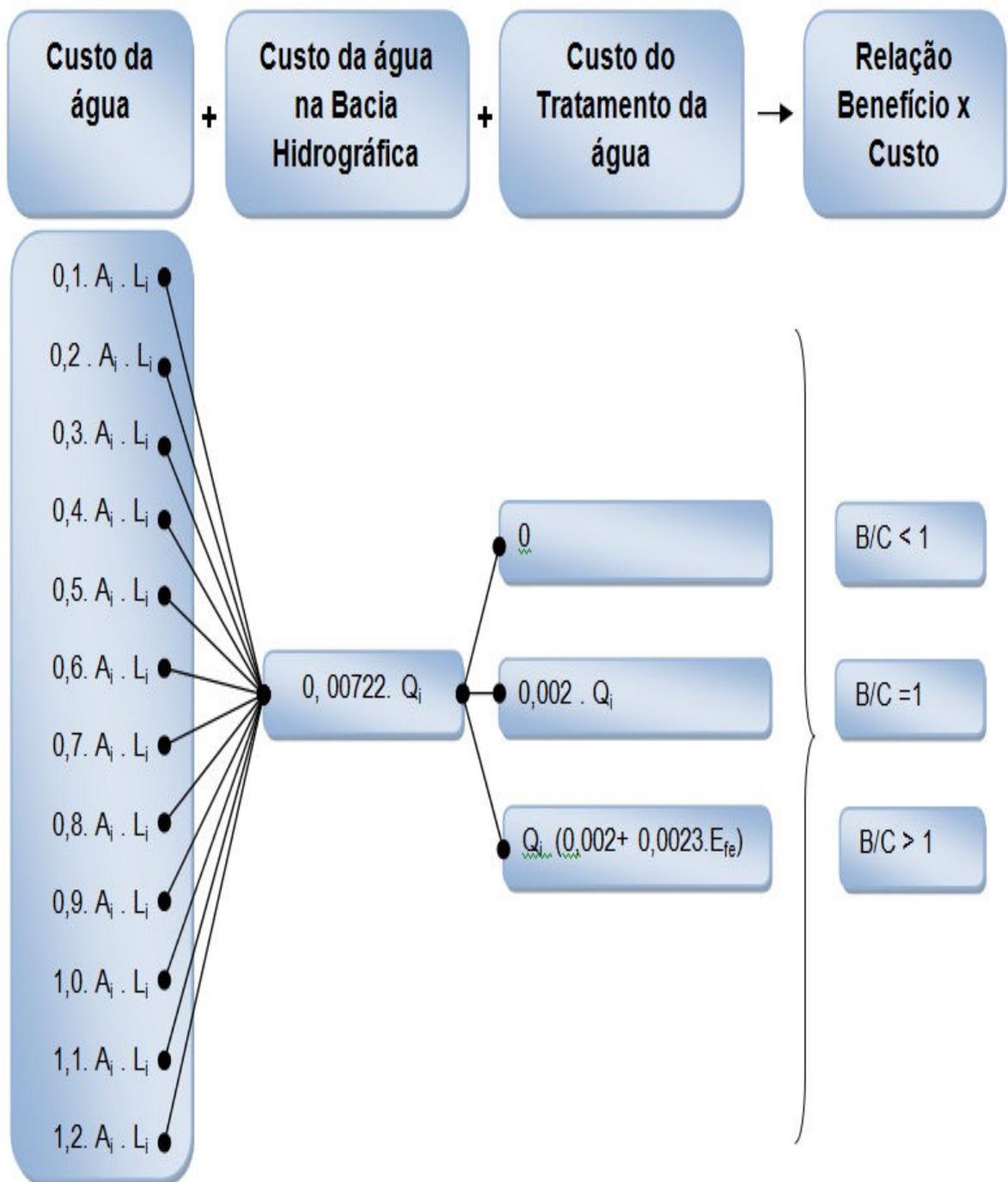


Figura 4.11 Árvore de decisão com case dos custos da água e seus tratamentos.

Para cada custo da água descrito em ordem crescente, no geral, as diferentes modalidades de irrigação encontraram-se distribuídas nestas faixas de custos, onde os sistemas que utilizam menor tecnologia embarcada situaram-se no topo da lista e os de maior tecnologia próxima da base onde estão os maiores custos. De acordo com estes valores, o usuário utilizou-se o valor do m<sup>3</sup> cobrado na bacia a que pertence seu empreendimento mais o valor do tratamento da água referente ao manancial a ser utilizado para irrigação, onde utilizou-se um tratamento químico através da aplicação de hipoclorito de sódio. A fonte cloro foi utilizada, pois segundo Testeslaf (2009) este reduz o pH da água, precipita íons Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> e PO<sub>4</sub>, controla a presença de algas, elimina coliformes através do poder bactericida e oxida o Ferro, portanto, é um tratamento multiuso devido ao seu espectro de ação. Fato este corroborado por Pinto (2010), onde observou que o uso de cloro foi utilizado no tratamento de águas com ferro, ferro bactérias, sulfeto de hidrogênio e algas.

O tratamento da água através da aplicação de ácidos não foi considerada pois segundo Ayers & westcot (1991) é um procedimento perigoso e oneroso.

Com os custos intrínsecos da água determinados, este é integrado ao custo de produção da cultura selecionada para o cultivo, obtendo-se desta forma, o custo total.

Calculando-se a receita esperada em função da produtividade e preço de mercado, obteve-se o benefício. A relação do benefício e do custo total geraram um valor maior, menor ou igual a uma unidade que é a base para tomada de decisão. Valores inferiores a um indicam prejuízo, onde os investimentos na atividade não são remunerados pela receita gerada por ele. No caso, ou o usuário utiliza outro corpo hídrico, outro sistema de irrigação ou mesmo escolhe o período em que a água é menos restritiva para irrigar ou até mesmo abdica da utilização da técnica visto que a sustentabilidade da atividade está intimamente ligada a rentabilidade.

#### 4.3.1 Simulação da metodologia proposta

Utilizando-se da metodologia proposta realizou-se uma simulação para a cultura do arroz irrigado. Foram usados para análise os custos de produção totais para a cultura no estado do Rio Grande do Sul segundo Irga (2010).

Com base nas análises da água e nos índices calculados verificou-se que as águas de ambos os reservatórios necessitavam de tratamento para o parâmetro ferro total, que excedeu o limite estabelecido para as águas de irrigação.

Devido a presença de diferentes níveis médios de ferro nas águas dos reservatórios 1,93 mg/l no V e 2,75 mg/l no reservatório S houve diferença nos custos de tratamento entre os reservatórios referente ao período de irrigação da cultura, podendo esta análise ser realizada para cada mês, aumentando o grau de precisão. O custo do tratamento no reservatório V foi de U\$ 39,22 e no reservatório S de U\$ 53,20, uma diferença de aproximadamente U\$ 14,00, este fator dependendo da cultura pode ser decisivo no momento de decidir qual o sistema a ser implementado e qual manejo de água adotado.

Verificou-se que os custos da água variaram de US\$ 74,15 a US\$ 889,80 de acordo ao aumento linear dos custos da água em U\$/mm.ha e a quantidade de água usada na cultura durante os 100 dias de irrigação. Esta variação evidenciou que, a utilização de sistemas de irrigação, que possuem maiores custos de água por mm aplicado, deve ser utilizada com culturas que possuam maior valor de mercado para que compense o uso da técnica. O percentual deste custo variou a sua representatividade de 3 até 27% em relação ao custo total, esta variação é linear, pois os valores discretizados dos custos foram crescentes.

No caso do arroz, este utiliza altos volumes de água em função da necessidade de saturação do solo até a camada de impedimento e da formação de uma lâmina de água sobre a superfície do solo em média de 10 cm, somado as demais necessidades intrínsecas da planta e das perdas inerentes ao tipo de irrigação. O valor de mercado do arroz é variável e dependente da demanda e da taxa de câmbio, que regulam os preços no mercado interno.

Como o valor da quantidade de água utilizada pela cultura durante o ciclo foi fixo, não houve diferença entre os reservatórios. O mesmo serviu para o valor cobrado pelo metro cúbico de água na bacia hidrográfica, que neste caso adotou-se valor referente à simulação realizada por Forgiarini et al., (2008) para a Bacia do Rio Santa Maria, região da campanha, oeste do Rio Grande do Sul.

As variações ocorreram quando se levou em conta a qualidade da água de cada reservatório, interferindo diretamente no custo do tratamento dado ao recurso. O custo do tratamento da água em função de seu estado qualitativo e baseado nos índices de qualidade da água de irrigação calculados para os diferentes meses do

ano, variou sua representatividade entre 60 a 70 % em relação ao custo da água (U\$/mm.ha).

O custo total da água, no caso do arroz foi um custo não computado mas efetivo, ou seja é um custo que o empreendedor desconhece porém é real. Utilizando-se o custo de produção publicado e dividindo-se pela média da produtividade obteve-se o custo por saco. A mesma análise realizou-se com o custo total, que foi o de produção informado acrescentado do custo total da água. A diferença entre os valores foi de U\$ 1,20 e este valor representa 9,3% do valor do preço de mercado atual que foi de U\$ 13,14. Este valor quando analisado desta forma é bastante relevante, pois este valor é maior, por exemplo, que a inflação do ano de 2010 no país, sendo um custo em que o produtor até o momento não tinha conhecimento e que gerava uma receita líquida que não corresponde a realidade.

Para a situação analisada, quando se comparam os custos relativos à água, com o custo de produção, estes não foram relevantes, sendo que outros fatores (taxa de câmbio) e componentes do custo total foram mais decisivos e são estes que devem ser trabalhados como objeto de redução, a fim de melhorar a rentabilidade da atividade. Elevando-se a produtividade e o preço de mercado a relação benefício-custo para os dois primeiros custos totais da água tornou-se viável a atividade.

A relação benefício – custo calculada foi para todas as situações de custo da água menor do que uma unidade, indicando que no panorama atual é inviável economicamente o cultivo do grão para todas as situações, mesmo o custo da água neste caso, não ter sido decisivo, o que nada impediu que em outra cultura ou situação referente ao arroz houvesse alteração no cenário.

Demonstrou-se que mesmo analisando os custos intrínsecos da água este denotou importância real e relevante na gestão da atividade irrigada integrando os custos totais de produção que até agora permaneciam ocultos, sendo decisivo para a determinação real da receita líquida. Nos quadros 4.1 e 4.2 está demonstrada a análise de risco através da relação benefício custo, levando-se em conta os custos totais da água somados aos de produção para a cultura do arroz.

SIMULAÇÃO DE BENEFÍCIO X CUSTO										
CULTURA	Arroz		PRODUTIVIDADE (saco/ha):		139		PERÍODO		100 dias	
ÁREA IRRIGADA:	100		PREÇO SACO (US\$):		13,14					
CONSUMO (mm)	741,5		RECEITA BRUTA (US\$):		182646,00					
ÁGUA UTILIZADA (m³)	7415									
DADOS QUALIDADE DA ÁGUA (Média para o Período)										
pH	6,45		Sódio (mg/l)		0,7		Índice de Qualidade da Água		77	
Cálcio (mg/l)	3,54		Sólidos Suspensos (mg/l)		116,7		Classificação Qualidade da Água		USO SEM RESTRIÇÃO	
Magnésio (mg/l)	2,93		Sólidos Dissolvidos Totais (mg/l)		41					
Dureza (mgCaCo3/l)	20,9		Condutividade Elétrica (µS/cm)		0,089					
Ferro (mg/l)	1,93		RAS		0,39					
PROJEÇÃO DE CUSTO										
Custo de Produção e Operacional (US\$)	%	Custo de Lâmina aplicada (US\$)	%	Custo da água na Bacia Hidrográfica (US\$)	%	Custo de Tratamento da água (US\$)	%	Custo Total / ha (US\$)	Custo Total (US\$)	Relação Benefício x Custo
2278,62	93,18	74,15	3,03	53,54	2,19	39,22	1,60	2445,52	244552,42	0,75
2278,62	90,43	148,30	5,89	53,54	2,12	39,22	1,56	2519,67	251967,42	0,72
2278,62	87,85	222,45	8,58	53,54	2,06	39,22	1,51	2593,82	259382,42	0,70
2278,62	85,41	296,60	11,12	53,54	2,01	39,22	1,47	2667,97	266797,42	0,68
2278,62	83,10	370,75	13,52	53,54	1,95	39,22	1,43	2742,12	274212,42	0,67
2278,62	80,91	444,90	15,80	53,54	1,90	39,22	1,39	2816,27	281627,42	0,65
2278,62	78,83	519,05	17,96	53,54	1,85	39,22	1,36	2890,42	289042,42	0,63
2278,62	76,86	593,20	20,01	53,54	1,81	39,22	1,32	2964,57	296457,42	0,62
2278,62	74,99	667,35	21,96	53,54	1,76	39,22	1,29	3038,72	303872,42	0,60
2278,62	73,20	741,50	23,82	53,54	1,72	39,22	1,26	3112,87	311287,42	0,59
2278,62	71,50	815,65	25,59	53,54	1,68	39,22	1,23	3187,02	318702,42	0,57
2278,62	69,87	889,80	27,28	53,54	1,64	39,22	1,20	3261,17	326117,42	0,56

Quadro 4.1 – Simulação dos custos para o arroz irrigado referente ao reservatório V. Valor do dólar utilizado R\$ 1,675

SIMULAÇÃO DE BENEFÍCIO X CUSTO										
CULTURA	Arroz					PRODUTIVIDADE (saco/ha):	139			PERÍODO
ÁREA IRRIGADA:	100					PREÇO SACO (US\$):	13,14			100 dias
CONSUMO (mm)	741,5					RECEITA BRUTA (US\$):	182646,00			
ÁGUA UTILIZADA (m³)	7415									
DADOS QUALIDADE DA ÁGUA (Média para o Período)										
pH	7,27			Sódio (mg/l)	0,6					Índice de Qualidade da Água
Cálcio (mg/l)	3,54			Sólidos Suspensos (mg/l)	53					78
Magnésio (mg/l)	2,98			Sólidos Dissolvidos Totais (mg/l)	37					Classificação Qualidade da Água
Dureza (mgCaCo3/l)	21			Condutividade Elétrica (µS/cm)	0,06					USO SEM RESTRIÇÃO
Ferro (mg/l)	2,75			RAS	0,33					
PROJEÇÃO DE CUSTO										
Custo de Produção e Operacional (US\$)	%	Custo de Lâmina aplicada (US\$)	%	Custo da água na Bacia Hidrográfica (US\$)	%	Custo de Tratamento da água (US\$)	%	Custo Total / ha (US\$)	Custo Total (US\$)	Relação Benefício x Custo
2278,62	92,65	74,15	3,01	53,54	2,18	53,20	2,16	2459,51	245950,89	0,74
2278,62	89,93	148,30	5,85	53,54	2,11	53,20	2,10	2533,66	253365,89	0,72
2278,62	87,38	222,45	8,53	53,54	2,05	53,20	2,04	2607,81	260780,89	0,70
2278,62	84,96	296,60	11,06	53,54	2,00	53,20	1,98	2681,96	268195,89	0,68
2278,62	82,68	370,75	13,45	53,54	1,94	53,20	1,93	2756,11	275610,89	0,66
2278,62	80,51	444,90	15,72	53,54	1,89	53,20	1,88	2830,26	283025,89	0,65
2278,62	78,45	519,05	17,87	53,54	1,84	53,20	1,83	2904,41	290440,89	0,63
2278,62	76,50	593,20	19,92	53,54	1,80	53,20	1,79	2978,56	297855,89	0,61
2278,62	74,64	667,35	21,86	53,54	1,75	53,20	1,74	3052,71	305270,89	0,60
2278,62	72,87	741,50	23,71	53,54	1,71	53,20	1,70	3126,86	312685,89	0,58
2278,62	71,18	815,65	25,48	53,54	1,67	53,20	1,66	3201,01	320100,89	0,57
2278,62	69,57	889,80	27,17	53,54	1,63	53,20	1,62	3275,16	327515,89	0,56

Quadro 4.2 – Simulação dos custos para o arroz irrigado referente ao reservatório S. Valor do dólar utilizado R\$ 1,675

## 5. CONCLUSÕES

De acordo com os objetivos propostos por este trabalho e dos resultados obtidos e das discussões concluiu-se que:

- a) No geral as águas de ambos os reservatórios para a maioria dos parâmetros são de boa qualidade para irrigação, com exceção dos sólidos suspensos no mês de janeiro e ferro total principalmente nos meses de abril maio e junho;
- b) A utilização da técnica de análise multivariada através do método de análise dos componentes principais foi eficiente na elaboração dos índices de qualidade da água de irrigação;
- c) Os principais componentes do índice de qualidade da água foram: magnésio, ferro total, condutividade elétrica, pH e sólidos suspensos;
- d) Os indicadores com maior peso na análise foram: ferro total e sólidos suspensos;
- e) Ocorreu variação temporal dos valores de índice de qualidade da água para irrigação nos diferentes períodos do ano;
- f) Os valores de índice de qualidade foram menores no reservatório S, evidenciando sua pior qualidade da água de irrigação;
- g) Houve diferença na informação obtida entre o IQAI<sub>10</sub> e IQAI<sub>5</sub> onde o IQAI<sub>5</sub> proporcionou maior qualidade informacional denotando a eficiência do método dos componentes principais;
- h) Houve variação nos custos do tratamento da água entre os reservatórios;
- i) A metodologia permitiu identificar e avaliar a viabilidade da atividade irrigada, levando em conta os custos totais da água que geralmente permanecem ocultos na contabilidade financeira;

j) O método informa os custos reais da água bem como sua participação na composição dos custos totais de produção, independentemente de cultura ou mesmo região bem como proporciona identificar a renda mínima para viabilidade da atividade;

l) A relação benefício custo é eficiente na informação da viabilidade da atividade econômica podendo ser utilizada como ferramenta na tomada de decisão no momento do manejo e ou implementação da irrigação aliada aos fatores técnicos, independentemente da região.

m) Na simulação o custo total da água representou cerca de 7% do custo de produção.

n) Para relação benefício custo ser igual ou maior que uma unidade a produtividade deve ser 144 sacos/ha e o preço de mercado ser de U\$18,00.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fato da qualidade da água ainda em nosso país ser, principalmente no que diz respeito a irrigação, pouco conhecida e possuir importância secundária, existe a necessidade de que mais estudos relacionados ao tema sejam realizados, a fim de determinar limites nos valores dos diferentes parâmetros qualitativos da água para as nossas condições.

Este fato vem ao encontro do que se preconiza na agricultura moderna, uma maior precisão da informação gerando menores custos e maiores receitas sem depleção dos recursos naturais.

Outro fato relevante são os estudos relacionados aos possíveis impactos do uso de águas de qualidade inferior ao ambiente e a mensuração dos custos futuros advindos de sua utilização.

Entender melhor a dinâmica dos processos que envolvem a água na atividade irrigada é o primeiro passo para que se desenvolvam tecnologias próprias e baseadas nas condições regionais, desta forma criando e gerando independência tecnológica e conseqüentemente cidadania.

## 7. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P. E. P. de; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo de irrigação**. 1º ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 528p.

ALMEIDA, O. A. de; GISBERT, J. M. Variación em la calidad Del água de riego em um huerto de cítricos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10,n.1, p.64-69, 2005.

ALMEIDA NETO, O. B. de; et al. Influência da qualidade da água de irrigação na dispersão de argila de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.33, p. 1571-1581, 2009.

AMORIM, J. R. de A; et al. Efeito da salinidade e modo de aplicação da água de irrigação no crescimento e produção do alho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.37, n.2,p.167-176, 2002.

ALVES, D. N. B. **Remoção de ferro em água de irrigação através de filtragem em areia e zeólita**. 2008. 116f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

ANDRADE, E. M de. et al. Fatores determinantes da qualidade de águas superficiais na bacia do Alto Caraú, Ceará, Brasil. **Revista Ciência Rural**. v.37, n.6, 2007 a.

ANDRADE, E. M de. SOUZA, I. H. de; SILVA, E. L. Da. Análise de custos de um sistema de irrigação localizada por gravidade-bubbler. **Revista Ciência Agrônômica**, v.33, n1, p64-69, 2002.

\_\_\_\_\_. Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada. **Engenharia Agrícola**. v.27 .n.3. p683-690, 2007 b.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; et al. Estratégias ótimas de irrigação para a cultura da melancia. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.36, n. 2, p. 301-305, 2001.

ARÊDES, de et al. Análise econômica da irrigação na cultura do maracujá. **Revista de Economia da UEG**. v.5, n.1, p.66-86, 2009.

ASHFAQ, M; JABEEN, S; BAIGI, I. A. Estimation of the economic value of irrigation water. **Journal of Agriculture & Social Sciences**. v.1, n.3, 2005.

AYERS, R. S; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande, UFPB, 1991, 218 p (Estudos FAO irrigação e drenagem, n.29).

BERLATO, M . A. As condições de precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: BERGAMANSKI, H. **Agrometeorologia aplicada a irrigação**. Porto Alegre: Ed. Da UFRGS, cap.1, p. 11-24, 1992.

BERNARDI, L. A. Manual de formação de preços: políticas, estratégias e fundamentos. 3.ed. São Paulo: Atlas, 2004.

BERNARDO, S. MANTOVANI, E. C. SOARES, A. A. **Manual de Irrigação**. 7. ed. Viçosa UFV/ Imprensa Universitária., 2005.

BERZAS, J.J; et al. Evolution of the water quality of a managed natural wetland: Tablas de Daimiel National Park (Spain). **Water Research**, v.34, n. 12, p.3161 – 3170, 2000.

BIGGAR, J. W; ROLSTON, D. E; NIELSEN, D. R. Transport of salts by water. California. **Agriculture**, v. 38, n.10, p. 10-1, 1984.

BORGES JÚNIOR, J. C. F; et al. Computational modeling for irrigated agriculture planning. **Revista Engenharia Agrícola**. v.28, n.3, p.471-482, 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente: conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n.20, de 30 de julho de 1986**. Brasília: Congresso Nacional, 1986. Disponível em <http://www.mma.gov.br/conama/res/res86/res2086.htm>. Acessado em 20/10/2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente: conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n.357, de 17 de março de 2005**. Classificação da águas doces, salobras e salinas do território nacional. Brasília: Congresso Nacional, 2005. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf> Acessado em 20/10/2006.

BURIOL, G. A. Disponibilidades hídricas do solo possíveis de ocorrerem no estado do Rio Grande do Sul. **Revista do Centro de Ciências Rurais**. v. 10, 1980.

BURIOL, G. A. et al. Homogeneidade e estatísticas descritivas dos totais mensais e anuais de chuva de Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 89-97, 2006.

CAPRA, F. **A Teia da Vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos**. São Paulo. Ed. Cultrix, 2006. 256p.

CARVALHO, A. R; SCHLITTLER, F. H. M; TORNISIELO, V.L. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. **Química Nova**. v.23 n.5, 2000.

CAUDURO, F. A; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem**. Porto Alegre: IPH-UFRGS, 1995.

CARRAMASCHI, E.C; et al. O preço da água para irrigação: um estudo comparativo de dois métodos de valoração econômica contingente e dose resposta. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**. v.17, n.3, p.59-81, 2000.

CARVALHO, A. R; SCHLITTLER, F. H. M; TORNISIELO, V. L. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físico químicos da água. **Química nova**. v.23, n.5, p. 618-622, 2000.

CAVALCANTI, R. B; et al. Um método prático para análises de algas em amostras de água, baseado em processamento computadorizado de imagens. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro. 1999.

CERQUEIRA, L. L.; et al. Desenvolvimento de *Heliconia psittacorum* e *Gladiolus hortulanus* irrigados com águas residuárias tratadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.12, n.6, p.606-613, 2008.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de águas interiores do estado de São Paulo. Apêndice B. Índices de qualidade das águas, critérios de avaliação da qualidade dos sedimentos e indicador de controle de fontes. São Paulo: CETESB. 29p. 2008.

CHAVES, H. M. L. et al. Quantificação dos benefícios ambientais e compensações financeiras do Programa do Produtor de Água (ANA): I.Teoria. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.9, n.3, p.05-14, 2004.

CORTEZ, A. B; MAGALHÃES, P.S.G. **Introdução à engenharia agrícola**. Campinas, Ed. da Unicamp, 1992. 393 p.

COSTA, C. P.M. de; et al. Caracterização qualitativa da água de irrigação na cultura da videira no município de Brejo Santo, Ceará. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.5, n.2, 2005.

CREPALDI, S. A. **Contabilidade rural: uma abordagem decisorial**. 4º ed. São Paulo. Ed. Atlas. 2006. 340p.

DELGADO, A. R. S; et al. Determinação de intervalos ótimos de irrigação utilizando a barreira logarítmica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v.4, n.2, p.128-138, 2010.

DALMOLIN, R. S. Classificação dos solos dos reservatórios. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por [joaofernandoirriga@gmail.com](mailto:joaofernandoirriga@gmail.com) em 20/10/2006.

FIGUEIREDO, V. B; FARIA, M. A. de; SILVA, E. L. da. Crescimento inicial do cefeeiro irrigado com água salina e salinização do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.10, n.1, p.50-57, 2006.

FIGUEIREDO, M. G. de. et al. Lâmina ótima de irrigação do feijoeiro, com restrição de água, em função do nível de aversão ao risco do produtor. **Acta Scientiarum Agonomy**. v. 30, n. 1, p. 81-87. 2008.

FORGIARINI, F. R. et al. Modelagem da cobrança pelo uso da água bruta na bacia do rio Santa Maria/RS: II- aplicação em escala real e validação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.13, n.1, p. 79-89, 2008.

FRAGOSO JUNIOR, C. R et al. Simulação de eutrofização em lagos rasos: I-modelo e precisão numérica. **Revista Brasileira de recursos hídricos**. v. 12, n. 4, p. 23-35. 2007.

FRANCO, R. A. M. **Qualidade da água para irrigação na microbacia do Córrego do Coqueiro no noroeste Paulista**. 2008. 103f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2008.

GARDI, C. Land use, agronomic management and water quality in a small Northern Italian watershed. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.87, p. 1-12, 2001.

GOMES, A. S; PAULETTO, E. A. **Manejo do solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. 201p.

HAMDY, A; et al. Saline water in supplemental irrigation of wheat and barley under rainfed agriculture. **Agricultural Water Management**, n. 78, p. 122-127, 2005.

HAASE, J; KRIEGER, J. A.; POSSOLI, S. Estudo da viabilidade do uso de técnica fatorial como instrumento na interpretação de qualidade das águas da bacia hidrográfica do Guaíba, RS, Brasil. **Ciência e Cultura**, v. 41, p. 576–582, 1989.

HAASE, J; POSSOLI, S. Estudo da utilização da técnica de análise fatorial na elaboração de um índice de qualidade da água: comparação entre dois regimes hidrológicos diferentes, RS. **Acta Limnologica Brasiliensia**. v.6, n.1, p. 245-255.1993.

HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; STRECK, N. A. O clima de Santa Maria. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, RS, v. 1, n. 38, p. 43-58, jan./jun. 2009.

HÉRLON F, R; PAULINO, W. D. **Recomendações e cuidados na coleta de amostras de água**. Secretaria de Recursos Hídricos - Companhia de Gestão dos recursos hídricos (COGERH), Fortaleza, 2001 (Informe Técnico n.2/2001).

IRGA. Custos de produção safra 2010. Disponível em [http://www.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1293728428Custos\\_de\\_Producao.pdf](http://www.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1293728428Custos_de_Producao.pdf) Acessado em 23/01/2011.

KATERJ, N; et al. Salinity effect on grain quality of two durum wheat varieties differing in salt tolerance. **Agricultural Water Management**. v.75, n.2, p. 85-91, 2004.

LEME, E. J.de A. **Otimização da irrigação da cana de açúcar (*Saccharum spp.*) via coeficientes culturais, função de produção e programação dinâmica**. São Carlos, 199p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1991.

LEONE, G. S.G. Curso de contabilidade de custos. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2000.

LIMA, W. S; GARCIA, C. A. B. Qualidade da água em Ribeirópolis-SE: o açude do Cajueiro e a barragem do João Ferreira. **Revista Scientia Plena**. v.4, n. 12, 2008.

LIMA, R.C.; HERNANDEZ, F.B.T.; VANZELA, L.S.; FRANCO, R.A.M. Parâmetros químicos de qualidade de água para a irrigação do córrego do Boi, Aparecida `Oeste, SP. XXX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2007. Bonito- MS. **Anais**, 2007.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas: Editora Átomo, 2005. p 444.

MACÊDO, L. S; MENINO, I. B. Monitoramento de sais na água e nos solos irrigados do projeto Vereda Grande, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, p. 47-51, 1998.

MALASH, N; et al. Effect of irrigation systems and water management practices using saline and non-saline water on tomato production. **Agricultural Water Management**, n.78, p.25-38, 2005.

MANTOVANI, E. C; BERNARDO, S. PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 318 p.

MATICIC, B. The impact of agriculture on ground water quality in Slovenia: standards and strategy. **Agricultural Water management**. v. 40, p. 235-247. 1999.

MARCOLIN, E. et al. Salinidade da cultura do arroz no Rio Grande do Sul. **Revista Lavoura Arrozeira**, v.53, p.27- 38, 2005.

MARCOLIN, E; MACEDO, V. R. M. Cultivares de arroz e a salinidade da água de irrigação. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 2.; Reunião da cultura do arroz irrigado. Porto Alegre, 2001. **Anais...** 2001.

MARCOLIN, E; ROBAINA, A. D. Consumo de energia e eficiência das estações de bombeamento de lavouras de arroz irrigado. **Revista Ciência Rural**, v. 32, n. 2,p. 229-235, 2002.

MARIANI, C. F. **Reservatório Rio Grande: caracterização limnológica da água e biodisponibilidade de metais traços em sedimento**. 2006. 123f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade de São Paulo, 2006.

MARQUES, P. A. A; FRIZZONE, J. A; PERES, F. C. Uso da árvore de decisão na escolha da lâmina de irrigação da pupunheira (*Bactris gasipaes H.B.K*) para Ilha Solteira, estado de São Paulo. **Acta Scientiarum Agronomy**. v.26, n.3, p. 321-327, 2004.

MARTIN, N. B. et al. Custos: sistemas de custos de produção agrícola. **Revista Informações econômicas**, v.24, n.9, 1994.

MARTINS, J. R. S. Processos em Lagos. Cap. 6. Rev. 2008. Disponível em [http://www.200.144.189.36/phd/learq.aspx?id\\_arq=4118](http://www.200.144.189.36/phd/learq.aspx?id_arq=4118). Acessado em 10/07/2010.

MEIRELES, A. C. M; et al. Sazonalidade da qualidade das águas do açude Edson Queiroz, bacia do Acaraú, no semi-árido cearense. **Revista Ciência Agronômica**. v.38, n.1, p.25-31, 2007.

MEIRELES, A. C. M. **Dinâmica qualitativa das águas superficiais da bacia do Acaraú e uma proposta de classificação para fins de irrigação**. 2007. 180f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Ceará, 2007.

MEIRELES, A. C. M; et al. Uma nova proposta de classificação da água para fins de irrigação. **Revista Ciência Agronômica**. v.41, n.3, p.349-357, 2010.

MERTEN, G. H; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**. v.3, n.4, p.33-38, 2004.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura e Abastecimento, Diretoria de Terras e Colonização, Secção de Geografia, 1961.

MOTA, P. R.de A; et al. Desenvolvimento de plantas de crisântemo cultivados em vaso em resposta a níveis de condutividade elétrica. **Revista Engenharia Agrícola**. v.27, n.1, p.164-171, 2007.

MURTAZA, G.; et al. Irrigation and soil management strategies for using saline-sodic water in a cotton-wheat rotation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.81,n.1, p.98-114, 2006.

NASCIMENTO FILHO, D. G; PEREIRA, A. G. Remoção de ferro em águas de abastecimento, maximização dos processos oxidativos, seguidos de filtração direta-condicionantes e resultados práticos. 23<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. Campo Grande-MS. **Anais...** 2005.

NAKAYAMA, F. S; BOMAN, B. J; PITTS, D. J. Maintenance. In: LAMM, F .R; AYARS, J. E; NAKAYAMA, F. S. **Microirrigation for crop production**. 1st. ed.Elsevier B.V Amsterdam: Elsevier, 2007, cap.11, p.389-430 (Developments in Agricultural Engineering 13).

NAKAYAMA, F. S; BUCKS, D. A. **Tickle irrigation for crop production**. St. Joseph: ASAE, 1986. 383 p.

OLIVEIRA, M. de; MAIA, C. E. Qualidade físico-química da água para irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.2, p.17-21, 1998.

PADIAL, P. R. et al. Heterogeneidade espacial e temporal da qualidade da água no reservatório Rio das Pedras (Complexo Billings, São Paulo). **Revista Ambiente e Água**. v.4, n.3, 2009.

PATERNIANI, J. E. S; SCATOLINI, M. E. Eficiência de manta sintética não tecida na remoção de algas presentes na água de irrigação. **Revista Ecossistema**, v. 26, n.1, 2001.

PEITER, M. X. **Estudo do manejo de irrigação via modelo de simulação**. 1998. 234f. Tese (Doutorado em Hidráulica e saneamento), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998.

PEREIRA, A. A. et al. Aspectos qualitativos de águas de lagoas costeiras e seus fatores influentes-estudo de caso: lagoa Mãe-BA, Espírito Santo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.11, n.1, p.63-77, 2006.

PINTO, M. F. Desenvolvimento de um sistema para controle do pH da água para irrigação localizada. 2010. 85f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e drenagem), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidade de São Paulo, 2010.

PIZELLA, D. G; SOUZA, M. P. de. Análise da sustentabilidade ambiental do sistema de classificação das águas doces superficiais brasileiras. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**. v. 12, n. 2, p. 139-148. 2007.

PORTO FILHO, F. de Q. et al. Viabilidade da irrigação do meloeiro com águas salinas em diferentes fases fenológicas. **Revista Ciência Rural**. v.36, n.2, p.453-459, 2006.

PRADO, H. DE. **Manual de classificação de solos do Brasil**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 197p.

PRADO, R. B. **Geotecnologias aplicadas a análise espaço temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do Reservatório de Barra Bonita**, SP. 2004. 172f. Tese. (Doutorado em Engenharia) universidade de São Paulo, 2004.

REICHARDT, K; TIMM, L. C. **Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Editora Manole, 2004. 478p.

RESENDE, R. S; et al. **Ocorrência de entupimento de origem biológica em sistemas de irrigação por gotejamento no município de Atibaia-SP**. 2005. Disponível em [http://www.bnb.gov.br/content/aplicacao/etene/rede\\_irrigacao/docs/ocorrencia%20de%20entupimento%20de%20origem%20biologica%20em%20sistema%20de%20irrigacao%20por%20gotejamento%20no%20municipio%20de%20atibaia-sp.pdf](http://www.bnb.gov.br/content/aplicacao/etene/rede_irrigacao/docs/ocorrencia%20de%20entupimento%20de%20origem%20biologica%20em%20sistema%20de%20irrigacao%20por%20gotejamento%20no%20municipio%20de%20atibaia-sp.pdf). Acessado em 15/05/2006.

RIBEIRO, T. A. P; AIROLDI, R. P. S. da; PATERNIANI, J. E. S; SILVA, M. J. M. Variação dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água em um sistema de irrigação localizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.9.n.3, 2005.a

\_\_\_\_\_. Variação temporal da qualidade da água no desempenho de filtros utilizados na irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.9,n.4, p.450-456, 2005.b

RIBEIRO, T; PATERNIANI, J; AIROLDI, R. Avaliação do desempenho de filtros de disco e manta sintética não tecida utilizados para irrigação por gotejamento quando se utiliza fertirrigação. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002. Vitória. **Anais...** 2002.

RIBEIRO, T; PATERNIANI, J; AIROLDI, R. Efeito da qualidade da água na perda de carga em filtros utilizados na irrigação localizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.1, p.1-6, 2004.

RIJSBERMAN, F. R. Water scarcity: fact or fiction. **Agriculture Water Management**. v.80, p.5-22. 2006.

RIO GRANDE DO SUL. Política estadual de irrigação: fundamento, importância e instrumentos de gestão, controle e financiamento. Porto Alegre. 2007. Disponível em [www.siuma.rs.gov.br/uploads/politica\\_estadual\\_de\\_irrigacao.pdf](http://www.siuma.rs.gov.br/uploads/politica_estadual_de_irrigacao.pdf). Acessado em 10/07/2010.

ROMANO FILHO, D; SARTINI, P; FERREIRA, M. M. **Gente Cuidando das Águas**. Belo Horizonte. Mazza Edições. 2004. 207p.

ROSA, G. M; PETRY, M. T; CARLESSO, R. Disponibilidade, eficiência e racionalidade na utilização de recursos hídricos. **Revista Ciência e Ambiente**. v. 21, p. 103-118, 2000.

ROYO, A; ABIÓ D. Salt tolerance in durum wheat cultivars. **Spanish Journal of Agricultural research**. v.1, n.3, p.27-35, 2003.

SALATA, J.C. et al. **Controle de erosões e conservação de solos na açucareira Quatá (SP)**. STAB, p.33-89, 1988.

SALES JÚNIOR, R; et al. Qualidade do melão exportado pelo Porto de Natal-RN. **Revista Ciência Rural**. v.36, n.1, p.286-289, 2006.

SANTANA, M. J. de; et al. Efeito da irrigação com água salina e, um solo cultivado com feijoeiro. **Revista Ciência Agrotécnica**. v.27, n.2, p.443-450, 2003.

SANTANA, M. J. de; et al. Produção do pimentão irrigado sob diferentes tensões de água no solo e doses de cálcio. **Revista Ciência Agrotécnica**. v.28, n.6, p.1385-1391, 2004.

SCALOPPI, E, J; BRITO R. A. Qualidade da água e do solo para irrigação. (**Informe Agropecuário**), v. 139, p.80 - 94, 1986.

SCHLAM, F. H; et al. Monitoreo de la calidad del agua em el rio Texcoco mediante sensores selectivos de iones. **Revista Agrociencia**. n.40, p. 277-287, 2006.

SCHUMACHER, M.V; HOPPE, J. M. **A floresta e a água**. Porto Alegre: Palloti, 1998. 70p.

SETTI, A. A; et al. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. Brasília: ANAEE; ANA, 2001. 328 p.

SILVA, D. F. da. et al. Análise espaço-temporal de parâmetros de qualidade de água no alto São Francisco e sua relação com intervenções antrópicas. **Revista Engenharia Ambiental**. v.6, n.2, p. 492-518, 2009.

SILVA, A. L. da; FARIA, M. A. de; REIS, R. P. Viabilidade técnico-econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.7, n.1, p.37-44, 2003.

SOARES et al. Partição de fotoassimilados em cultivares de bananeira irrigadas com águas de diferentes salinidades. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.9 (suplemento), p.101-107, 2005.

SOUZA FILHO, F. de A. de; et al. O processo de mistura em reservatórios do semi-árido e sua implicação na qualidade de água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 11, n. 4, p.109-119. 2006.

SOUZA FILHO, P. S. **Comparativo de custos de diferentes fontes de energia para irrigação por gotejamento**, 2003. 59f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SOUZA, H. B; DERISIO, J. C. **Guia técnico de coleta de amostra de água**. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental-CETESB. São Paulo, SP, 1977.

SOUZA, J. A. A. de; CORDEIRO, E. de A; COSTA, E. L da. Aplicação de hipoclorito de sódio para recuperação de gotejadores entupidos em irrigação com água ferruginosa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.10,n.1, p.5-9, 2006.

SOUZA, M. E. T. A. de; LIBÂNIO, M. Proposta de índice de qualidade para água bruta afluyente a estações convencionais de tratamento. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.14, n.4, p.471-478. 2009.

STRECK, E. V; et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Ed da EMATER/RS; UFRGS, 2002. 108p.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3..ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TALPAZ, H; MJELDE, J. W. Crop irrigation scheduling via simulation-based experimentation. **Western Journal of Agricultural Economics**. V.13, n.2, p. 184-192, 1988.

TESTEZLAF, R. Filtros de areia aplicados a irrigação localizada: teoria e prática. **Engenharia Agrícola**. v.28, n. 3, p. 604-613, 2008.

TESTEZLAF, R. Como tratar a água para que ela tenha qualidade para irrigação. Fenicafé.2009. Disponível em [http://www.fenicafe.com.br/palestras2009/resumo\\_palestras/Testezlaf%20parte%203.pdf](http://www.fenicafe.com.br/palestras2009/resumo_palestras/Testezlaf%20parte%203.pdf) Acessado em 24/11/2010.

TOLEDO, L. G.;NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano, **Scientia Agrícola**, v.59, n. 1, p. 181-186. 2002.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 3. ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS/ABRH, 2004. 943p.

TUNDISI, J. G; TUNDISI. T. M. **Limnologia**. São Paulo: Ed. Oficina de Textos. 2008. 631p.

UYEDA, C. A; et al. Produtividade de duas cultivares de meloeiro irrigadas com água de alta e baixa salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.9 (suplemento), p.318-321, 2005.

VANZELA, L. S. **Qualidade de água para a irrigação na microbacia do córrego Três Barras no município de Marinópolis, SP**. 2004. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.

VASCONCELOS, R. S; et al. Qualidade da água utilizada para irrigação na extensão da microbacia do Baixo Acaraú. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v. 3, n. 1, p.30-38, 2009.

VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, 1996. 246p.

VON SPERLING, E. Afinal, quanta água temos no planeta? **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.11, n.4, p.189-199, 2006.

ZALIDIS et al. Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology. **Agriculture, Ecosystems and environment**. v.88, p. 137-146. 2002.

ZAMBERLAN, C. O; GHILARDI, W. J; MINELLO, I. F. Relevância dos sistemas de custos para as empresas. **Revista Organizações em Contexto**. Ano 1, n.2, 2005.

ZAMBERLAN, J. F. **Caracterização de águas de reservatórios superficiais para uso em microirrigação**. 2007. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

## **8. APÉNDICES**

Apêndice A- Valores médios dos parâmetros qualitativos da água do reservatório V nos 6 primeiros meses de 2010.

pH	Ca	Mg	DUREZA	Fe	Na	SS	SDT	Ce	RAS
6,61	2,53	1,02	10,00	0,15	1,10	230,00	0,16	0,3	0,83
6,43	2,65	1,64	13,00	0,50	1,90	10,00	0,245	0,4	1,30
6,28	0,84	1,35	7,00	0,39	1,20	70,00	0,285	0,4	1,15
7,31	1,02	1,35	8,00	0,39	1,20	40,00	0,175	0,4	1,10
6,81	1,65	1,40	10,00	1,14	1,20	40,00	0,175	0,3	0,97
6,83	1,65	1,28	9,00	1,49	2,00	40,00	0,18	0,3	1,66

Apêndice B- Valores médios dos parâmetros qualitativos da água do reservatório S nos 6 primeiros meses de 2010.

pH	Ca	Mg	DUREZA	Fe	Na	SS	SDT	Ce	RAS
7,20	3,42	1,21	14,00	0,15	1,90	150,00	0,21	0,33	1,25
6,77	3,66	1,28	16,00	0,30	1,10	10,00	0,33	0,58	0,70
6,63	1,14	1,57	8,00	0,08	2,80	40,00	0,41	0,57	2,41
6,95	1,43	1,57	9,35	0,08	2,50	100,00	0,28	0,59	2,04
6,85	2,82	1,90	14,00	1,74	3,50	20,00	0,30	0,48	2,28
6,95	2,47	1,52	12,00	2,47	3,00	100,00	0,30	0,57	2,12

Apêndice C- Valores dos parâmetros e profundidade dos reservatórios S e V em janeiro

Amostras dia 29/01/2010										
Amostras	pH	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Dureza Total (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Fe (mg/l)	Na (mg/l)	SS (mg/l)	SDT (mg/l)	Ce (μS/m)	RAS
Açude V1	6,66	2,51	1,00	10,00	0,15	1,20	460,00	0,16	0,26	
Açude V2	6,56	2,55	1,03	10,00	0,15	1,00	<0,001	0,16	0,26	
Açude S1	7,15	3,27	1,21	14,00	0,15	2,00	300,00	0,21	0,33	
Açude S2	7,24	3,56	1,20	14,00	0,15	1,80	<0,001	0,21	0,33	
Média										
Profundidade Açude V	3,15m									
Profundidade Açude S	3,10m									

Apêndice D- Valores dos parâmetros e profundidade dos reservatórios S e V em fevereiro.

Amostras dia 26/02/2010										
Amostras	pH	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Dureza Total (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Fe (mg/l)	Na (mg/l)	SS (mg/l)	SDT (mg/l)	Ce (μS/m)	RAS
Açude V1	6,46	2,65	1,62	13,00	0,50	2,00	20,00	0,24	0,42	
Açude V2	6,40	2,65	1,65	13,00	0,50	1,80	<0,001	0,25	0,43	
Açude S1	6,85	3,80	1,47	15,00	0,30	1,20	20,00	0,33	0,58	
Açude S2	6,68	3,51	1,08	17,00	0,30	1,00	<0,001	0,33	0,58	
Média										
Profundidade Açude V	3,00m									
Profundidade Açude S	2,90m									

Apêndice E- Valores dos parâmetros e profundidade dos reservatórios S e V em março

Amostras dia 31/03/2010										
Amostras	pH	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Dureza Total (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Fe (mg/l)	Na (mg/l)	SS (mg/l)	SDT (mg/l)	Ce (μS/m)	RAS
Açude V1	6,35	0,94	1,33	6,00	0,44	1,20	80,00	0,29	0,42	
Açude V2	6,21	0,73	1,37	8,00	0,34	1,20	60,00	0,28	0,42	
Açude S1	6,55	1,18	1,61	8,00	0,08	2,80	80,00	0,40	0,58	
Açude S2	6,71	1,10	1,52	8,00	0,08	2,80	<0,001	0,41	0,56	
Média										
Profundidade Açude V	2,70m									
Profundidade Açude S	3,10m									

Apêndice F- Valores dos parâmetros e profundidade dos reservatórios S e V em abril

Amostras dia 29/04/2010										
Amostras	pH	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Dureza Total (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Fe (mg/l)	Na (mg/l)	SS (mg/l)	SDT (mg/l)	Ce (μS/m)	RAS
Açude V1	7,36	1,02	1,33	8,00	0,44	1,20	40,00	0,18	0,33	
Açude V2	7,26	1,02	1,37	8,00	0,34	1,20	40,00	0,17	0,37	
Açude S1	6,95	1,47	1,61	9,00	0,08	3,00	80,00	0,28	0,60	
Açude S2	6,94	1,39	1,52	9,70	0,08	2,00	120,00	0,27	0,58	
Média										
Profundidade Açude V	2,50m									
Profundidade Açude S	3,00m									

Apêndice G- Valores dos parâmetros e profundidade dos reservatórios S e V em maio

Amostras dia 28/05/2010										
Amostras	pH	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Dureza Total (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Fe (mg/l)	Na (mg/l)	SS (mg/l)	SDT (mg/l)	Ce (μS/m)	RAS
Açude V1	6,85	1,65	1,38	9,00	1,15	1,20	40,00	0,18	0,30	
Açude V2	6,76	1,65	1,41	11,00	1,13	1,20	40,00	0,17	0,27	
Açude S1	6,77	2,82	1,89	14,00	1,81	4,00	<0,001	0,30	0,47	
Açude S2	6,92	2,82	1,91	14,00	1,66	3,00	40,00	0,29	0,48	
Média										
Profundidade Açude V	2,90m									
Profundidade Açude S	3,00m									

Apêndice H- Valores dos parâmetros e profundidade dos reservatórios S e V em junho.

Amostras dia 30/06/2010										
Amostras	pH	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Dureza Total (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Fe (mg/l)	Na (mg/l)	SS (mg/l)	SDT (mg/l)	Ce (μS/m)	RAS
Açude V1	6,85	1,76	1,27	9,00	1,62	2,00	40,00	0,17	0,32	
Açude V2	6,80	1,53	1,28	9,00	1,36	2,00	40,00	0,19	0,36	
Açude S1	6,91	2,47	1,51	12,00	2,49	3,00	80,00	0,30	0,57	
Açude S2	6,99	2,47	1,53	12,00	2,45	3,00	120,00	0,29	0,57	
Média										
Profundidade Açude V	2,90m									
Profundidade Açude S	3,00m									

Apêndice I – Matriz original dos dados relativos aos parâmetros qualitativos das águas superficiais dos reservatórios V e S.

PH	CA	MG	DUREZA	FE	NA	SS	SDT	CE	RAS
6,49	3,95	2,89	21,77	1,88	0,5	130	41	0,089	0,27
6,46	3,42	2,89	20,46	1,94	0,8	120	41	0,088	0,45
6,4	3,25	3	20,47	1,97	0,8	100	41	0,088	0,45
5,97	2,54	2	14,61	0,25	0	90	22	0,044	0
6,05	2,72	2,06	15,27	0,28	0	80	21	0,046	0
6,1	2,63	2,13	15,35	0,48	0	60	21	0,046	0
6,93	3,6	2,9	20,92	2,84	0,7	80	36	0,057	0,39
6,98	3,77	3,33	23,15	2,75	0,7	30	38	0,059	0,37
7,9	3,25	2,7	19,22	2,66	0,4	50	36	0,057	0,23
5,87	2,54	2,26	15,68	1,29	0	20	22	0,035	0
6,15	2,81	2,05	15,44	1,21	0	20	22	0,033	0
6,17	2,46	2,16	15,01	1,32	0	10	22	0,033	0

\*Valores referente as coletas realizadas por Zamberlan (2007) para os reservatórios V e S.

Apêndice J – Dados padronizados dos parâmetros qualitativos da água.

PH	CA	MG	DUREZA	FE	NA	SS	SDT	CE	RAS
0,059	1,656	0,771	1,159	0,332	0,490	1,582	1,178	1,535	0,455
0,007	0,649	0,771	0,744	0,396	1,330	1,336	1,178	1,488	1,364
-0,097	0,326	1,007	0,747	0,429	1,330	0,842	1,178	1,488	1,364
-0,845	-1,022	-1,139	-1,110	-1,427	-0,910	0,596	-0,904	-0,577	-0,910
-0,706	-0,681	-1,011	-0,901	-1,394	-0,910	0,349	-1,014	-0,484	-0,910
-0,619	-0,851	-0,860	-0,875	-1,179	-0,910	-0,144	-1,014	-0,484	-0,910
0,825	0,991	0,792	0,889	1,367	1,050	0,349	0,630	0,033	1,061
0,912	1,314	1,715	1,596	1,270	1,050	-0,884	0,849	0,127	0,960
2,512	0,326	0,363	0,351	1,173	0,210	-0,390	0,630	0,033	0,253
-1,019	-1,022	-0,581	-0,771	-0,305	-0,910	-1,130	-0,904	-1,000	-0,910
-0,532	-0,510	-1,032	-0,847	-0,391	-0,910	-1,130	-0,904	-1,094	-0,910
-0,497	-1,174	-0,796	-0,983	-0,272	-0,910	-1,377	-0,904	-1,094	-0,910

\*Valores referente as coletas realizadas por Zamberlan (2007) para os reservatórios V e S.

Apêndice L – Teste de Kaiser para verificação da adequabilidade dos dados.

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		0,57
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	259,75
	df	45,00
	Sig.	0,00

Apêndice M- Temperatura, velocidade do vento e precipitação de janeiro/2010.

JANEIRO/2010					
DIAS	TEMPERATURA AR (°C)			VELOCIDADE DO VENTO (m/s)	PRECIPITAÇÃO (mm/dia)
	09h	15h	21h		
01	23,2	30,2	26,6	2,0	0,0
02	26,4	32,6	27,0	3,0	0,0
03	25,8	33,0	24,0	4,6	0,0
04	24,0	24,0	24,0	0,5	61,0
05	27,6	27,0	25,0	3,4	47,8
06	22,2	25,2	24,0	2,6	26,3
07	20,8	23,4	22,0	4,6	0,3
08	23,2	29,0	25,0	1,6	0,0
09	24,6	28,0	25,2	1,3	33,5
10	23,6	29,6	25,6	1,0	1,0
11	24,4	31,8	26,8	3,6	0,0
12	29,0	23,6	23,6	2,0	0,0
13	20,8	26,8	21,6	5,0	3,3
14	24,0	29,6	22,6	0,5	0,0
15	24,0	29,6	24,6	3,6	0,0
16	20,0	18,4	20,2	3,6	40,2
17	24,0	31,0	25,6	0,0	85,0
18	29,2	33,4	23,4	2,5	0,0
19	21,4	25,6	24,0	5,4	79,6
20	22,4	28,4	22,8	1,3	24,2
21	21,8	27,6	23,4	3,8	0,0
22	23,2	28,2	24,4	1,6	0,0
23	21,8	28,6	24,2	2,6	0,0
24	24,4	31,6	26,2	1,6	0,0
25	24,6	29,8	26,2	3,5	0,0
26	25,4	31,6	25,8	1,3	0,0
27	24,4	30,0	23,6	2,0	0,0
28	24,6	26,4	22,8	1,0	1,7
29	22,4	32,0	25,6	1,8	2,0
30	29,8	35,8	27,2	1,6	0,0
31	27,0	32,4	27,8	0,8	0,0

Fonte: Estação meteorológica da UFSM (2010)

## Apêndice N- Temperatura, velocidade do vento e precipitação de fevereiro/2010.

FEVEREIRO/2010					
DIAS	TEMPERATURA AR (°C)			VELOCIDADE DO VENTO (m/s)	PRECIPITAÇÃO (mm/dia)
	09h	15h	21h		
01	31,0	34,2	26,6	0,8	1,0
02	31,4	36,0	29,6	4,0	0,0
03	33,0	37,8	31,0	3,3	0,0
04	30,6	27,4	26,2	5,6	0,0
05	27,6	38,0	27,4	2,0	3,8
06	31,6	32,0	27,2	0,7	0,0
07	30,0	33,4	28,8	1,3	0,0
08	22,6	23,0	22,2	2,0	19,2
09	24,6	30,8	23,2	0,8	6,2
10	24,2	32,6	27,4	1,0	0,0
11	27,6	33,2	27,6	0,8	0,0
12	27,6	33,6	28,0	1,0	0,0
13	30,4	34,0	29,0	3,0	0,0
14	22,0	27,4	24,8	1,0	22,0
15	23,2	25,4	24,0	0,8	7,3
16	24,2	22,6	20,6	0,0	9,3
17	21,2	26,4	22,6	1,3	2,4
18	22,1	30,8	25,4	2,0	0,0
19	26,6	34,0	27,0	1,3	0,0
20	28,4	33,0	28,4	0,8	0,0
21	30,2	27,8	23,8	0,5	0,0
22	25,4	29,8	25,6	2,0	38,6
23	26,6	29,4	25,4	1,6	14,9
24	20,4	25,8	19,8	1,6	0,0
25	18,2	24,0	18,0	2,0	0,0
26	19,2	25,2	20,4	2,0	0,0
27	19,2	29,4	23,6	3,0	0,0
28	22,0	28,6	23,6	3,6	0,0
29					
30					
31					

Fonte: Estação meteorológica da UFSM (2010)

## Apêndice O- Temperatura, velocidade do vento e precipitação de março/2010.

MARÇO/2010					
DIAS	TEMPERATURA AR (°C)			VELOCIDADE DO VENTO (m/s)	PRECIPITAÇÃO (mm/dia)
	09h	15h	21h		
01	22,6	29,6	23,4	1,3	0,0
02	24,4	32,0	25,0	0,5	0,0
03	26,4	32,2	25,2	1,3	0,0
04	27,0	31,2	26,2	2,6	0,0
05	25,5	32,0	25,0	0,0	0,0
06	23,8	32,0	23,6	0,0	0,0
07	23,0	29,6	24,0	0,0	0,0
08	22,8	29,4	23,8	1,0	0,0
09	24,6	28,4	28,4	0,5	0,0
10	23,4	28,2	24,4	1,0	0,0
11	25,6	31,0	23,0	1,6	0,0
12	23,0	28,4	19,8	0,0	0,0
13	20,0	24,2	20,0	1,0	0,0
14	23,6	29,8	23,2	0,0	0,4
15	22,0	27,2	18,2	0,0	0,0
16	18,6	28,0	18,8	1,6	0,0
17	19,6	30,4	25,2	1,6	0,0
18	26,2	33,2	25,0	4,8	0,0
19	24,6	32,8	25,6	1,0	0,0
20	24,6	32,2	25,8	2,3	0,0
21	22,0	33,2	27,4	2,0	0,0
22	21,8	24,4	23,2	0,5	24,0
23	19,0	24,4	21,4	0,7	0,2
24	20,2	27,2	22,0	0,0	0,0
25	22,2	23,2	21,4	3,8	0,0
26	21,8	29,6	25,0	1,3	0,0
27	23,6	28,8	23,4	2,3	0,0
28	23,0	29,2	21,4	5,0	0,0
29	20,6	25,6	21,0	2,6	0,5
30	19,4	28,0	20,6	0,7	0,0
31	18,2	29,2	21,4	2,0	0,0

Fonte: Estação meteorológica da UFSM (2010)

## Apêndice P- Temperatura, velocidade do vento e precipitação de abril/2010.

ABRIL/2010					
DIAS	TEMPERATURA AR (°C)			VELOCIDADE DO VENTO (m/s)	PRECIPITAÇÃO (mm/dia)
	09h	15h	21h		
01	19,2	33,2	24,6	1,0	0,0
02	26,0	33,4	23,8	0,7	0,0
03	24,2	27,0	21,0	3,6	1,5
04	17,6	18,4	18,0	3,0	0,3
05	17,0	22,0	17,0	0,7	0,0
06	16,2	22,8	18,4	1,0	0,0
07	16,4	23,6	19,2	0,7	0,0
08	17,4	24,0	18,6	1,2	0,0
09	14,8	25,8	17,2	0,7	0,0
10	16,4	27,0	19,6	1,0	0,0
11	15,8	29,4	20,6	0,3	0,0
12	22,2	29,4	19,0	5,6	0,0
13	23,0	31,4	20,8	3,6	0,0
14	25,0	31,6	26,8	2,8	0,0
15	15,4	22,6	15,4	1,0	1,2
16	15,4	26,2	14,2	1,0	0,0
17	17,0	27,0	21,6	2,8	0,0
18	26,0	34,4	24,8	3,8	0,0
19	26,8	30,0	24,6	0,0	0,0
20	20,4	21,6	10,2	6,3	68,6
21	19,0	24,8	21,4	4,5	19,5
22	20,6	18,6	20,4	1,6	2,3
23	14,8	20,2	15,8	2,0	8,0
24	13,0	19,6	17,2	2,0	0,0
25	16,8	18,4	18,6	0,7	0,0
26	18,6	21,4	17,8	1,0	14,4
27	15,0	21,4	12,2	0,3	1,0
28	10,2	21,0	12,4	0,5	0,0
29	10,0	21,4	12,0	0,3	0,0
30	11,0	24,2	13,0	0,0	0,0
31					

Fonte: Estação meteorológica da UFSM (2010)

Apêndice Q- Temperatura, velocidade do vento e precipitação de maio/2010.

MAIO/2010					
DIAS	TEMPERATURA AR (°C)			VELOCIDADE DO VENTO (m/s)	PRECIPITAÇÃO (mm/dia)
	09h	15h	21h		
01	12,4	26,2	12,0	1,3	0,0
02	11,4	26,2	16,6	0,0	0,0
03	15,2	25,0	19,0	0,7	0,0
04	19,0	18,0	16,2	2,6	10,8
05	16,0	22,0	16,0	0,3	0,7
06	14,4	25,2	17,0	0,8	0,0
07	15,4	17,0	16,2	2,0	0,0
08	12,8	19,2	12,2	1,6	0,0
09	11,8	19,8	12,2	0,7	0,0
10	11,4	17,2	13,0	0,3	0,0
11	12,4	17,0	13,0	1,0	20,0
12	13,4	20,8	14,8	2,0	1,7
13	12,6	21,0	13,4	0,5	0,0
14	12,0	24,2	17,0	1,0	0,0
15	18,2	26,2	17,8	2,0	0,0
16	15,8	15,0	14,0	0,0	0,0
17	12,6	17,4	15,0	1,0	0,0
18	15,0	16,2	14,2	3,8	36,8
19	13,4	19,6	15,2	1,3	30,0
20	15,0	19,8	16,6	1,5	0,5
21	17,0	22,0	18,2	1,6	0,5
22	19,0	24,2	19,6	3,3	0,0
23	18,0	22,0	20,0	3,0	0,0
24	18,6	19,0	18,0	1,6	7,4
25	15,2	18,8	13,8	3,0	5,8
26	12,8	18,4	13,4	0,0	0,0
27	14,6	20,0	16,0	1,3	0,0
28	16,2	19,4	17,2	2,1	0,0
29	16,6	19,6	17,2	1,6	0,3
30	16,4	16,6	14,6	3,3	1,2
31	9,2	12,8	8,6	1,6	2,0

Fonte: Estação meteorológica da UFSM (2010)

## Apêndice R- Temperatura, velocidade do vento e precipitação de junho/2010.

JUNHO/2010					
DIAS	TEMPERATURA AR (°C)			VELOCIDADE DO VENTO (m/s)	PRECIPITAÇÃO (mm/dia)
	09h	15h	21h		
01	7,8	16,4	7,6	0,5	0,0
02	10,4	18,8	14,2	1,6	0,0
03	12,4	23,0	15,4	1,3	0,0
04	15,4	17,0	15,6	1,3	14,3
05	12,8	18,0	12,2	2,5	7,2
06	11,2	21,2	10,4	0,0	0,0
07	9,0	20,2	10,8	0,0	0,0
08	10,6	17,4	12,4	1,3	0,0
09	7,8	15,4	9,4	1,0	0,0
10	7,2	15,8	9,6	0,0	0,0
11	11,8	19,0	13,4	3,0	0,0
12	12,4	18,4	15,8	1,6	0,0
13	13,8	19,8	15,8	0,5	0,0
14	16,0	22,8	20,4	3,0	0,0
15	16,8	24,6	18,6	1,6	0,0
16	17,8	16,6	17,2	1,6	0,0
17	16,0	16,8	15,6	1,0	37,8
18	14,8	19,8	19,2	1,6	0,0
19	19,0	19,6	15,0	1,0	17,1
20	8,6	14,8	8,2	1,0	4,0
21	7,6	17,2	8,2	0,8	0,0
22	5,0	18,0	8,4	0,0	0,0
23	6,8	20,8	20,0	1,6	0,0
24	23,4	26,2	18,2	9,1	0,0
25	12,6	13,2	12,8	3,0	7,0
26	14,2	17,8	16,8	2,3	39,7
27	23,0	28,0	18,6	3,3	0,2
28	12,8	16,0	14,4	0,5	1,6
29	12,4	16,0	15,4	1,3	0,0
30	13,6	20,0	17,4	1,3	0,0
31					

Fonte: Estação meteorológica da UFSM (2010)