



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa
Centro de Pesquisa Agroflorestal de Roraima - CPAF-Roraima
Ministério da Agricultura e do Abastecimento - **MA**

INFORMAÇÕES BÁSICAS PARA ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE IRRIGAÇÃO

Roberto Dantas de Medeiros
Ricardo Nicolás Zarat Rojas

**Embrapa-Roraima
Área de Publicações
Boa Vista-RR
1997**

Exemplares desta publicação podem ser solicitados à:
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa
Centro de Pesquisa Agroflorestal de Roraima - CPAF-Roraima
Rod. BR-174 Km 08 - Distrito Industrial Boa Vista-RR
Caixa Postal 133
69301-970 - Boa Vista - RR
Telefone: (095) 625.6025
Fax: (095) 625.6004
e_mail: bib@cpafrr.embrapa.br

Comitê de Publicações: Francisco Joaci de Freitas Luz
Marcos Antônio Barbosa Moreira
Otoniel Ribeiro Duarte
Roberto Dantas de Medeiros (presidente)
Suênia Cibele Ramos de Almeida

Editoração: Leonildo Uchôa Gomes

Normalização Bibliográfica: Maria José Borges Padilha

Tiragem:

MEDEIROS, R. D. de; ROJAS, R. N. Z. Informações básicas para elaboração de projeto de irrigação. Boa Vista: Embrapa/CPAF-Roraima, 1997. 27p. (Embrapa/CPAF-Roraima. Documentos, 1).

ISSN: 0101-9805

1. Irrigação - projeto - elaboração. I. Embrapa - Centro de Pesquisa Agroflorestal de Roraima (Boa Vista,RR). II. Título. III. Série.

CDD 631.7

SUMÁRIO

1. Introdução.....	4
2. Informações Básicas.....	4
2.1. Recursos Hídricos.....	4
2.1.1. Potencial Hídrico.....	5
2.1.2. Localização da Fonte: distância e altura de recalque.....	6
2.1.3. Qualidade da água.....	6
2.1.3.1. Problemas.....	6
2.1.3.2. Precauções.....	8
2.1.3.3. Amostragem da água para análise.....	9
2.1.4. Custo da água.....	10
2.2. O solo.....	10
2.2.1. Topografia.....	10
2.2.1.1. Dimensões e formas da área.....	11
2.2.1.2. Uniformidade topográfica.....	11
2.2.1.3. Acidentes topográficos.....	11
2.2.2. Perfil do solo.....	11
2.2.2.1. Textura e estrutura.....	12
2.2.2.2. Profundidade.....	12
2.2.2.3. Densidade do solo.....	13
2.2.2.4. Capacidade de retenção de água.....	13
2.2.2.5. Taxa de infiltração.....	13
2.2.2.6. Condutividade hidráulica do solo.....	14
2.2.2.7. Características químicas.....	14
2.3. Clima.....	16
2.3.1. Precipitação pluviométrica.....	16
2.3.2. Vento.....	16
2.3.3. Umidade relativa do ar.....	16
2.3.4. Temperatura do ar.....	17
2.3.5. Evapotranspiração potencial ou referência.....	17
2.3.5.1. Métodos de determinação.....	18
2.3.5.1.1. Equação de Hargreaves.....	18
2.3.5.1.2. Equação de Blaney-Criddle.....	18
2.3.5.1.3. Método de tanque evaporimétrico.....	19
2.2.4. Seleção das culturas.....	20
2.4.1. Clima.....	20
2.4.2. Solo.....	21
2.4.3. Água.....	21
2.4.4. Valor econômico.....	21
2.4.5. Susceptibilidade à pragas e doenças.....	21
2.4.6. Uso consuntivo ou evapotranspiração real.....	21
2.4.7. Sistema e densidade do plantio.....	22
2.4.8. Altura das plantas.....	22
2.4.9. Profundidade do sistema radicular.....	22
2.5. Energia.....	23
2.6. Recursos humanos.....	23
3. Síntese: Influência das condições locais na adequação dos sistemas de irrigação.....	23
4. Referências bibliográficas.....	26

APRESENTAÇÃO

**“Informações básicas para
elaboração de
projetos de irrigação”**

INFORMAÇÕES BÁSICAS PARA ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE IRRIGAÇÃO

Roberto Dantas de Medeiros¹
Ricardo Nicolás Zarat Rojas²

1. INTRODUÇÃO

A irrigação de uma propriedade deve-se justificar, do ponto de vista do produtor, pelo retorno que o investimento venha proporcioná-lo. A água como os demais insumos deve ser utilizada racionalmente, garantindo lucratividade ao empreendimento. Portanto, cabe aos técnicos a tarefa de viabilizar o investimento, através da elaboração de projetos de irrigação harmonizados com as condições e atividades globais das propriedades agrícolas, adequando técnicas, empregando métodos e equipamentos, visando-se facilitar as atividades de implantação, operação, manutenção e a eficiência destes projetos.

Os estudos de viabilidade técnico-econômica para adoção da irrigação a principio, se resume na avaliação dos recursos existentes e verificar se o acréscimo da receita bruta, devido ao aumento de rendimento (maior produção por unidade de área) e produção (maior índice de exploração da terra) é suficiente para pagar o investimento feito e aumentar o lucro, remunerando devidamente o empreendimento rural.

A falta de informações sobre os recursos naturais (água, solo, clima.) e sócio-econômico (o homem: seus costumes e preferências) das áreas a serem irrigadas; bem como o desconhecimento da importância e influência de cada um destes fatores na adequação e/ou limitação ao uso dos diferentes sistemas de irrigação, geralmente, tem se constituído nas principais dificuldades enfrentadas pelos projetistas de irrigação.

O presente trabalho tem por objetivos apresentar, de forma sucinta, uma visão geral das principais informações básicas (procedimentos e avaliações) necessárias para o planejamento, dimensionamento e elaboração de projetos de irrigação, abordando-se a influência de cada um destes fatores na adequação ou restrição ao uso dos diferentes sistemas de irrigação bem como alertar para possíveis erros que possam ocorrer na avaliação destas informações.

2. INFORMAÇÕES BÁSICAS

2.1. Recursos hídricos

Estes podem ser de natureza superficial como açudes, represas, lagos, rios córregos, ou subterrâneo (poços freáticos e artesianos). No levantamento destes recursos deve-se considerar o potencial hídrico, localização da fonte e qualidade da água disponível para irrigação.

2.1.1. Potencial hídrico

² Eng. Agro. Prof. Da Universidade Federal do Paraguai

¹ Eng. Agro. Pesquisador da Embrapa-Roraima

O potencial hídrico é uma das informações básicas mais importantes na decisão final do planejamento de um projeto de irrigação. Através deste avalia-se a área potencialmente irrigável na época certa, em função da demanda hídrica da cultura, eficiência do sistema de irrigação e do manejo adotado.

Este potencial deve ser avaliado em função de sua disponibilidade para irrigação, estimado através de um levantamento hidrológico, utilizando-se critérios probabilísticos, em torno de 75%, conforme o nível de segurança a ser adotado no projeto. Para isto é necessário um maior número possível de informação da pluviometria, vazões e níveis de água dos mananciais, em uma série histórica de vários anos (≥ 10 anos).

Os projetistas poderão obter estas informações do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) do Ministério das Minas e Energia, bem como através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), vinculado ao Ministério da agricultura ou de outras instituições ligadas a esta área de conhecimento.

Não se dispondo destes dados catalogados, o mínimo de informações necessárias sobre a disponibilidade de água deve ser obtido através da medição das vazões dos rios, córregos e de poços realizados, preferencialmente, durante o período mais seco do ano, bem como estimando-se o volume de água nas represas e lagos, através de levantamento planialtimétrico da bacia hidráulica destes mananciais, determinando-se a relação cota/volume. Do volume total armazenado deve-se prever o volume de água necessário para outros fins, Tabela 1, bem como as perdas por infiltrações e evaporação, que para as condições dos açudes no nordeste brasileiro variam em torno de 2000 a 3000 mm por ano.

Tabela 1 - Necessidade de água para o consumo humano e animal

Consumo humano de água		
Zona	Sistema de distribuição da água	Litros por habitante/dia
Rural	Bomba manual	25
	Ligação domiciliar	100
Urbana	ligação domiciliar	200-250
Consumo animal de água		
Cavalo, burro, jegue e bovinos		35
Vaca leiteira (apenas para bebida)		45
Vaca leiteira (para bebida e asseio do estábulo)		100
Suínos (bebida e asseio da pocilga)		15
Ovinos e caprinos		8
Por 100 galinhas		15
Por 100 perus		25

Fonte: Oliveira (1982).

2.1.2. Localização da fonte: distância e altura de recalque:

A distância da fonte de água e sua diferença de nível em relação a área a ser irrigada influem decisivamente no esquema de distribuição d'água, manejo, custos do sistema de irrigação e operação. Sempre que possível, a escolha do local de captação deve ser feita de modo a minimizar sua distância

de condução e distribuição da água no perímetro irrigado, procurando-se utilizar ao máximo o fluxo por gravidade para diminuir os custos com bombeamento, conforme se verifica na Tabela 2.

Tabela 2 - Consumo de energia gerada através de motor elétrico e diesel, para o bombeamento de 1000 m³ de água em três condições de altura de recalque através dos diferentes sistemas de irrigação.

Sistema de irrigação	Alt. recalque = 0m		Alt. recalque = 50m		Alt. recalque = 100m	
	elétrico (Kwh)	diesel (l)	elétrico (Kwh)	diesel (l)	elétrico (Kwh)	diesel (l)
Superficial	26,0	7,6	286,1	83,8	534,3	160,1
Aspersão fixa	293,0	85,9	569,4	166,8	845,8	247,8
Asp. Portátil	312,5	91,6	607,3	178,0	902,1	264,4
Pivô central	331,7	97,2	608,1	178,2	884,4	259,2
Asp. Autoprop	600,2	175,9	916,0	268,4	1231,9	361,0

Fonte: Scaloppi (1985).

2.1.3. Qualidade da água

A qualidade da água, é outra característica de alta relevância na decisão final do seu aproveitamento, podendo restringir sua utilização na irrigação, mesmo apresentando alta disponibilidade. Sua qualidade ou adequação para irrigação é comumente definida em função dos teores de sais solúveis, sódio, boro, cloreto e bicarbonatos. Quanto maior for o seu conteúdo em sais minerais maiores serão os riscos de salinidade do solo.

2.1.3.1. Problemas

Os problemas de solo mais comuns, segundo os quais se avaliam os efeitos da qualidade química da água estão relacionados à salinidade. Em níveis elevados reduzem a disponibilidade da água às plantas, afetando seus rendimentos; diminui a infiltração da água no solo e intoxicação de plantas através da absorção de íons, principalmente (sódio, cloreto e boro) em níveis tóxicos, dependendo do grau de tolerância destas culturas. Os limites de tolerância relativa de alguns cultivos aos sais e ao Boro na água de irrigação encontram-se nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Tolerância relativa à salinidade de determinadas culturas

TOLERANTES		MODERADAMENTE TOLERANTES	
Algodoeiro	<i>Gossypium hirsutum</i>	Aveia	<i>Avena sativa</i>
Beterraba açucareira	<i>Beta vulgaris</i>	Centeio	<i>Secale cereale</i>
Cevada	<i>Hordeum vulgare</i>	Soja	<i>Glycine max</i>
Jojoba	<i>Simmondsia chinensis</i>	Sorgo	<i>Sorghum bicolor</i>
Agropiro alto	<i>Agropyron elongatum</i>	Caupi	<i>Vigna unguiculata</i>
Asparago	<i>Asparagus officinalis</i>	Azevém italiano	<i>Lolium italicum multiflorum</i>
Tamareira	<i>Phoenix dactylifera</i>	Nabo Forrageiro	<i>Brassica napus</i>
MODERADAMENTE TOLERANTES		MODERADAMENTE SENSÍVEIS	
Nabo forrageiro	<i>Brassica napus</i>	Melancia	<i>Citrullus lanatus</i>
Trevo-doce	<i>Melilotus albus</i>	Melão	<i>Cucumis melo</i>
Trevo forrageiro	<i>Triticum aestivum</i>	Milho	<i>Zea mays</i>
Abobrinha italiana	<i>Cucurbita pepo melopelo</i>	Pimentão	<i>Capsicum annum</i>

Beterraba vermelha	<i>Bate vulgaris</i>	Repolho	<i>Brassica oleracea capitata</i>
Figueira	<i>Ficus carica</i>	Videira	<i>Vitis sp.</i>
MODERADAMENTE SENSÍVEIS		Gergelim	<i>Sesamum indicum</i>
Cana-de-açúcar	<i>Saccharum officinarum</i>	Cenoura	<i>Daucus carota</i>
Girassol	<i>Heliathus annuus</i>	Feijão	<i>Phaseous vulgaris</i>
Milho	<i>Zea mays</i>	Abacateiro	<i>Persea amaricana</i>
Alfafa	<i>Medicago sativa</i>	Azeitona preta	<i>Syzgium jambos</i>
Capim-buffel	<i>Cenchrus ciliaris</i>	Cerejeira	<i>Prunus besseyi</i>
Milho forrageiro	<i>Zea mays</i>	Damasqueiro	<i>Prunus armenica</i>
Trevo-vermelho	<i>Trifolium pratense</i>	Framboesa	<i>Rubus idaeus</i>
Abóbora	<i>Cucurbita pepo</i>	Laranjeira	<i>Citrus senensis</i>
Alface	<i>Lactuca sativa</i>	Limoeiro	<i>Citrus limon</i>
Batata-doce	<i>Ipomea batatas</i>	Mangueira	<i>Mangifera indica</i>
Brócolis	<i>Brasseca oleracea botrytis</i>	Maracujazeiro	<i>Passiflora edulis</i>
Couve-flor	<i>Brassica oleracea brotrytis</i>	Pomelo Cubano	<i>Citrus maxima</i>
Espinafre	<i>Spinacia oleracea</i>	Tangerina	<i>Citrus reticulata</i>

Fonte: Maas (1984).

Tabela 4 - Tolerância relativa de determinadas culturas ao Boro.

MUITO SENSÍVEIS (0,5 mg/l ¹)		MODERADAMENTE SENSÍVEIS (1,0-2,0mg/l ¹)	
Limoeiro	<i>Citrus limon</i>	Cenoura	<i>Daucus carota</i>
Amoreira preta	<i>Rubus spp.</i>	Rabanete	<i>Raphanus sativus</i>
SENSÍVEIS (0,5 - 0,75 mg/l ¹)		Pepino	<i>Ducumis sativus</i>
Pomelo	<i>Citrus X paradisi</i>	MODERADAM. TOLERANTES (2,0 - 4,0 mg/l ¹)	
Laranjeira	<i>Citrus sinensis</i>	Alface	<i>Lctuca sativa</i>
Pessegueiro	<i>Prunus persica</i>	Repolho	<i>Brassica olerace capitata</i>
Cerejeira	<i>Prunus avium</i>	Aipo	<i>Apium graveolens</i>
Ameixeira	<i>Prunus domestica</i>	Nabo	<i>Brassica rapa</i>
Figueira	<i>Ficus carica</i>	Aveia	<i>Avena sativa</i>
Nogueira	<i>Juglans regia</i>	Milho	<i>Zea mays</i>
Cebola	<i>Allium cepa</i>	Alcachofra	<i>Cynara acolymus</i>
SENSÍVEIS(0,75 - 1,0 mg/l ¹)		Trevo-doce	<i>Melilotus indica</i>
Alho	<i>Allium sativa</i>	Abóbora	<i>Cucurbita pepo</i>
Batata	<i>Ipomoea batatas</i>	Melão	<i>Cucumis melo</i>
Girassol	<i>Helianthus annuus</i>	TOLERANTES (4,0 - 6,0 mg/l ¹)	
Feijão moiache	<i>Vigna radiata</i>	Tomateiro	<i>Lycopersicon esculentum</i>
Morangueiro	<i>Fragaria spp.</i>	Alfafa	<i>Medicago sativa</i>
Feijão	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Salsa	<i>Petrocelinum crispum</i>
Amendoim	<i>Arachis hypogaea</i>	Beterraba	<i>Beta vulgaris</i>
MODERADAMENTE SENSÍVEIS(1,0 - 2,0 mg/l ¹)		MUITO TOLERANTES (6,0 - 15,0 mg/l ¹)	
Pimentão	<i>Capsicum annum</i>	Algodoeiro	<i>Gossypium hirsutum</i>
Ervilha	<i>Pisum sativa</i>	Aspargo	<i>Asparagus officinalis</i>

Fonte: Maas (1984).

Outros problemas relacionados com a qualidade da água de irrigação são o excessivo crescimento vegetativo, o retardamento na maturação das culturas e sua susceptibilidade ao acamamento, provocados por altas concentrações de nitrogênio na água de irrigação; as manchas nas folhas e frutos causados por depósitos de sais, devido a água aplicada por aspersão, contendo altos teores de bicarbonato, gesso ou ferro, bem como a formação de incrustações nas tubulações

A presença de sedimentos minerais e substâncias orgânicas em suspensão pode causar sérios problemas nos sistemas de irrigação, obstruindo comportas e emissores em irrigação localizados bem como aspersores de pequenos diâmetros, necessitando portanto de um sistema de filtragem adequado, restringindo severamente a utilização dos sistemas de irrigação localizada. Enquanto para os sistemas de irrigação superficiais (inundação, faixa e sulco).este fator é menos relevante.

A ocorrência de microorganismos patogênicos ou fitopatogênicos na água é outro fator que afeta algumas culturas. Para estas condições os sistemas de irrigação mais adequados são por gotejamento, sulcos e faixas.

2.1.3.2. Precauções

A maneira mais eficaz de se evitar os possíveis problemas oriundos da qualidade da água de irrigação é através do conhecimento prévio de suas características químicas, obtido através de sua análise feita em laboratório, determinando-se os teores dos seus elementos químicos expressos na Tabela 5.

Tabela 5 - Análises de laboratório necessárias para avaliar a qualidade da água de irrigação

Parâmetros	Símbolo	Unidade ¹	Valores normais
SALINIDADE			
Condutividade elétrica	CEa	ds/m	0 a 3
Sais dissolvidos totais	SDT	mg/l	0 a 2000
CÁTIONS E ÂNIONS			
Cálcio	Ca ⁺⁺	meq/l	0 a 20
Magnésio	Mg ⁺⁺	meq/l	0 a 5
Sódio	Na ⁺	meq/l	0 a 40
Carbonatos	CO ₃ ⁻⁻	meq/l	0 a 0,1
Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	meq/l	0 a 10
Cloretos	Cl ⁻	meq/l	0 a 30
Sulfatos	SO ₄ ⁻⁻	meq/l	0 a 20
NUTRIENTES²			
Nitrato-nitrogênio	NO ₃ ⁻ -N	mg/l	0 a 10
Amônio-nitrogênio	NH ₄ ⁺ -N	mg/l	0 a 5
Fosfato-fosforoso	PO ₄ ⁻⁻⁻ -P	mg/l	0 a 2
Potássio	K ⁺	mg/l	0 a 2
VÁRIOS			
Boro	B	mg/l	0 a 2
Acidez ou alcalinidade	pH		6 a 8,5
Sódio	RAS	(mmol/l) ^{1/2}	0 a 15

1) ds/ms = decisiemens/metro em unidade SI (1 mmho/cm = 1 ds/m)

mg/l = miligrama/litro = ppm

meq/l = miliequivalente/litro (meq/l = mg/l : peso específico.

2) NO₃⁻-N significa que o laboratório deverá determinar NO₃⁻ e expressá-lo em termos de equivalente químico de N; da mesma forma para os demais elementos.

Fonte: Ayers & Westcot (1991)

Na execução destas análises, devem-se utilizar os métodos mais apropriados, considerando-se os equipamentos disponíveis, o número de amostras necessárias e os recursos financeiros disponíveis. A relação de adsorção de sódio (RAS) pode ser calculada pela seguinte equação: $RAS = Na / [(Ca + Mg) / 2]^{1/2}$. Onde, Na, Ca e Mg correspondem, as concentrações de sódio, cálcio e magnésio em meq/l, obtidos através de análise da água.

As diretrizes básicas para se avaliar a qualidade da água para irrigação encontram-se na Tabela 6. Estas diretrizes consideram o solo com texturas que variam de franco arenoso a franco argiloso, com boa drenagem interna e clima de árido a semi-árido.

Tabela 6 - Diretrizes para interpretar a qualidade da água de irrigação

Problema potencial	Unidade	grau de restrição para uso			
		nenhuma	ligeira	moderada	severa
<u>Salinidade</u> (afeta a disponibilidade de água para a cultura) ¹					
CEA ou	dS/m	< 0,7	0,7	3,0	>3,0
SDT	mg/l	<450	450	2000	>2000
<u>Infiltração</u> (avaliada usando a CEa e RAS conjuntamente)					
RAS = 0 a 3 e Ce _a =		> 0,7	0,7	0,2	<0,2
3 a 6 =		> 1,2	1,2	0,3	<0,3
6 a 12 =		> 1,9	1,9	0,5	<0,5
12 a 20 =		> 2,9	2,9	1,3	<1,3
20 a 40 =		> 5,0	5,0	2,9	<2,9
<u>Toxicidade de íons</u> (afeta cult. sensíveis)					
Sódio (Na)					
Irrig. por superfície.	RAS	<3	3	9	>9
Irrig. por aspersão	meq/l	<3	>3		
Cloreto (Cl):					
Irrig. por superfície	meq/l	<4	4	10	>10
Irrig. por aspersão	meq/l	<3	>3		
Boro (B)	mg/l	<0,7	0,7	3,0	>3
<u>Outros</u>					
Nitrogênio (NO ₃ -N)	mg/l	<5	5,0	30	>30
Bicarbonato (HCO ₃)					
Aspersão conv.	meq/l	<1,5	1,5	8,5	>8,5
pH		faixa normal: 6,5-8,4			

Fonte: Ayres & Westcot (1991).

2.1.3.3. Amostragem da água para análise

A amostra da água deve ser representativa. Portanto recomenda-se que se faça uma amostra composta, coletando-se amostra simples de vários locais. Aquela de recursos superficiais correntes (rios) devem ser retiradas da água em movimento, e de poços após algum tempo de operação da bomba hidráulica (em torno de 30 min). No caso da existência de mais de uma fonte de água, cada fonte deverá ser amostrada separadamente, mesmo que estas estejam próximas uma das outras.

A quantidade mínima de água para análise química é cerca de 2 l (U.S. Salinity Laboratory, 1954). As amostras devem ser coletadas em garrafas plásticas, lavadas de 3 a 4 vezes com a mesma água a ser analisada. Introduce-se a garrafa na água, a profundidade de 10 a 15 cm, fechando-se o bocal da mesma com o dedo polegar. Após a imersão abre-se o bocal da garrafa, enchendo-a de água, a qual deve ser fechada hermeticamente, identificada e levada ao laboratório para análise, o mais breve possível (dentro das primeiras 72 horas). Em geral quanto menor o tempo decorrido entre a amostragem e as análises maior será a representatividade dos resultados, pois as modificações resultantes de atividade química ou microbiológica podem alterar a composição da amostra. (Scaloppi, 1986).

2.1.4. Custo da água

O custo da água varia essencialmente em função da sua disponibilidade, qualidade, alturas de sucção, recalque e distância até a área a ser irrigada, bem como da fonte de energia disponível, conforme pode ser verificado na Tabela 2.

2.2. O Solo

O conhecimento do solo é imprescindível para a agricultura irrigada. Este deve ser apto a um cultivo intensivo e propiciar altos rendimentos sob os diferentes sistemas de irrigação, compatíveis com suas características topográficas químicas e físico-hídricas. Estas informações deverão ser obtidas através de um levantamento pedológico detalhado, visando-se identificar os diferentes tipos de solo existentes na área a ser irrigada e avaliar sua aptidão para irrigação.

2.2.1. Topografia

As condições topográficas do local não contribui apenas na seleção do sistema de irrigação, mas também no dimensionamento, operação manejo e locação do sistema no campo, drenos e demais estruturas. Estas características podem ser obtidas por simples inspeção na área, através de uma vistoria prévia (no caso de pequenas áreas de topografia regular), plotando-se em um croqui, ou através de levantamento topográfico mais detalhado, representado-se através de mapas planialtimétricos.

Tanto os croquis como os mapas topográficos devem corresponder a fotografia real da área levantada, mostrando suas dimensões, relevo, acidentes topográficos e altimetria (através das curvas de nível) bem como a localização das fontes de água com suas cotas, drenos naturais, obras existentes na área do projeto, fontes de energia, ocupação e manchas de solo, vias de acesso e orientação magnética.

O nível de detalhamento exigido no levantamento topográfico, está relacionado com a área a ser irrigada e com o método de irrigação a ser adotado. No caso da irrigação por superfície deve-se fazer um levantamento planialtimétrico mais detalhado, determinando-se curvas de nível a cada 0,5m; para irrigação localizada a cada 1,0 m e no caso da aspersão estas podem ser de até 2,0m. A escala utilizada nas plantas topográficas é determinada em função da área que representa e da finalidade a que se destina. Para projetos de irrigação, as escalas mais usuais variam de 1:1000 a 1:10.000.

Dentre as características topográficas destacam-se: as dimensões e formas da área; uniformidade e os acidentes topográficos.

2.2.1.1. Dimensões e formas da área

Podem ser fatores limitantes na seleção dos sistemas de irrigação como por exemplo: o Pivô central adequado a áreas quadráticas; lateral móvel mais indicado para áreas retangulares. Entretanto, para os sistemas de irrigação por aspersão convencional e localizada estes fatores são menos relevantes não causando restrições ao seu uso.

2.2.1.2. Uniformidade topográfica

É outro fator relevante na seleção do sistema de irrigação, principalmente para os sistemas por superfície os quais exigem um gradiente uniforme e pequenos declives, conforme mostra a tabela 7, sendo menos limitante para os sistemas de irrigação por aspersão convencional e localizada (gotejamento e microaspersão).

Tabela 7. Declividades admissíveis para operação adequada de alguns sistemas de irrigação

TIPO DO SISTEMA	INCLINAÇÃO (%)
Sulcos comuns (retilíneos)	≤ 2
Sulcos em contorno	≤ 8
Sulcos em ziguezague	≤ 1
Tabuleiro em contorno	≤ 2
Corrugação	até 15
Pivô Central	5 a 15
Lateral móvel	5 a 15
Aspersão convencional	≤ 30

Fonte: Bernardo, 1982; Oliitta, 1977.

2.2.1.3. Acidentes topográficos

A presença de acidentes topográficos tais como linhas de transmissão de energia elétrica, telefônica, áreas alagadas, afloramento rochoso são fatores limitantes para os sistemas de irrigação mecanizada. Ex: Pivô central, lateral móvel, autopropelidos. Para os sistemas de irrigação localizada e por aspersão convencional estes problemas são contornáveis.

2.2.2. Perfil do solo

Para avaliação das características do solo é necessário o conhecimento de suas propriedades físicas e químicas, bem como de que maneira elas influenciam na seleção e na eficiência dos sistemas de irrigação. Estas informações serão obtidas através de um levantamento pedológico, no qual se estuda o perfil do solo nas suas diferentes profundidades de acordo com as culturas a serem exploradas, em áreas o mais uniformes possível “representativas” da situação local, possibilitando assim identificar as possíveis manchas de solo no perímetro, as quais devem ser locadas e mapeadas.

2.2.2.1. Textura e estrutura

Referem-se especificamente a proporção relativa das partículas que formam o solo argila, silte e areia (textura) e da forma como estas partículas estão agrupadas, isto é, arranjadas no seio do solo (estrutura). Estas propriedades influenciam diretamente na disponibilidade de água, nutrientes, sais minerais às plantas, bem como na aeração, taxa de infiltração e condutividade hidráulica do solo.

Segundo Israelsen & Ransen (1965), dependendo da classe textural, normalmente, os solos apresentam as seguintes características físico-hídricas, apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8. Características físico-hídricas, usualmente encontradas nos solos em função de sua textura

Textura do solo	Vel. Inf. básica (mm/h)	Porosidad e total (%)	Densidade do solo (g/cm ³)	Capacidade de campo (%)	Ponto de Murcha (%)	Água dispon. (mm/m)
Arenoso	50 (25-225)	38 (32-42)	1,65 (1,55-1,80)	9 (6-12)	4 (2-6)	80 (60-100)
Barro arenoso	25 (13-76)	43 (40-47)	1,50 (1,40-1,60)	14 (10-18)	6 (4-8)	120 (90-150)
Barro	13 (8-80)	47 (43-49)	1,40 (1,35-1,50)	22 (18-26)	10 (8-12)	170 (140-200)
Barro argiloso	8 (2,5-15)	49 (47-51)	1,30 (1,25-1,35)	27 (23-31)	13 (11-15)	190 (160-220)
Argilo arenoso	2,5 (0,3-5)	51 (49-53)	1,30 (1,25-1,35)	31 (27-35)	15 (13-17)	210 (180-230)
Argiloso	0,5 (0,1-1)	53 (51-55)	1,25 (1,20-1,30)	35 (31-39)	17 (15-19)	230 (200-250)

Obs.: Em parêntese se encontram os intervalos usuais.

A textura arenosa proporciona maiores taxas de infiltração, condutividade hidráulica e menor capacidade de retenção de água; exigindo maior freqüência de irrigação. É um dos principais fatores limitantes para a utilização dos sistemas de irrigação por superfície (sulcos e inundação).

Sua determinação pode ser feita a nível de campo, ao tato, por pedólogos experientes e em laboratórios através da análise granulométrica; utilizando-se amostras coletadas ao longo do perfil do solo, separando-se cada horizonte através de trincheiras e/ou tradagens feitas em diversas profundidades de acordo com o sistema radicular das culturas a serem exploradas.

2.2.2.2. Profundidade

Em se tratando de irrigação, a profundidade efetiva do solo é aquela que permite o desenvolvimento normal do sistema radicular das culturas sem restrições a sua penetração, absorção de água e nutrientes. Esta profundidade é determinada, geralmente, pela espessura dos horizontes A e B ou pela ocorrência de camadas compactadas, segmentos rochosos ou do lençol freático os quais restringem o desenvolvimento radicular. Em solos considerados rasos deve-se evitar as operações de sistematização, bem como apresenta alto risco de salinização, em regiões com alta demanda evapotranspirativa, submetida a irrigações por sistemas superficiais. Os sistemas de irrigação por aspersão convencional e localizada, normalmente, são mais adequados para estas condições, cultivados com culturas de ciclo curto e sistema radicular pouco profundo.

2.2.2.3. Densidade do solo

A densidade do solo ou densidade aparente dá uma idéia da compactação do mesmo. Varia desde valores menores que 1 g/cm³ (em solos orgânicos) até 1,8 g/cm³ para solos minerais de textura fina, dependendo do grau de compactação, influenciando no nível de retenção de água no solo.

2.2.2.4. Capacidade de retenção de água

É um dos parâmetros fundamentais para o manejo de irrigação, através do qual nos permite definir a frequência das irrigações, conforme a disponibilidade de água no solo, considerada a diferença entre o teor de água na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente. Influencia diretamente na sua capacidade de armazenamento de água a qual varia principalmente em função da textura, densidade do solo (Tabela 8) e profundidade efetiva do mesmo.

Sua avaliação deverá ser feita em laboratório, determinando-se sua curva de retenção para cada tipo de solo, nas diferentes profundidades, conforme o sistema radicular dos cultivos a serem explorados. Na ausência da curva de retenção completa, deve-se ter no mínimo os valores de capacidade de campo (teor de água no solo submetido a tensão de -0,1 a -0,3 atm), o ponto de murcha permanente (-15 atm) e a densidade do solo ou aparente.

2.2.2.5. Taxa de infiltração

A taxa de infiltração é a velocidade máxima com que a água penetra no solo. Depende diretamente de sua textura, estrutura e densidade do solo. Os solos arenosos e bem estruturados apresentam maior taxa de infiltração. A velocidade de infiltração é máxima nos solos com baixa umidade, no início da aplicação d'água, e vai diminuindo gradativamente com o aumento do tempo desta aplicação, atingindo um valor quase constante.

Considerando-se estas variações, a taxa de infiltração da água no solo é classificado em: - **Infiltração instantânea** que é a relação entre a lâmina infiltrada num determinado momento do processo de infiltração e o tempo transcorrido; e a **infiltração básica** que corresponde a taxa de infiltração do solo, quando a variação da velocidade de infiltração instantânea, entre dois intervalos de tempo consecutivos é menor ou igual a 10% (LYON, 1982). Estas são, geralmente, expressas em cm ou mm, referindo-se a altura da lâmina d'água infiltrada no solo e/ou em litros por unidade de comprimento de sulco.

Outro fator importante na determinação da velocidade de infiltração do solo, é o método utilizado para determiná-la o qual deve ser condizente com o sistema de irrigação a ser usado. Para a irrigação por aspersão e inundação os métodos mais adequados são: pelo "Infiltrômetro de anel" ou pelo "Infiltrômetro de aspersor". Para a irrigação por sulco os métodos mais adequados são o da "entrada - saída" da água no sulco, ou pelo método mais simples "infiltrômetro de sulco".

Uma taxa de infiltração elevada, típica de solos mais arenosos, representa um dos principais fatores de restrição a utilização dos sistemas de irrigação por superfície. Por outro lado uma velocidade de infiltração muito baixa, típica de solos argilosos, podem ser um inconveniente para irrigação por aspersão, sendo mais adequado a irrigação por inundação.

2.2.2.6. Condutividade hidráulica do solo

É a capacidade que o solo tem de transmitir água, a qual é função do teor de água no solo. Essa capacidade é tanto maior quanto maior for sua umidade. Através do conhecimento da condutividade hidráulica permite-nos dimensionar, adequadamente, o sistema de drenagem de uma

determinada área (Tabela 9), bem como definir o manejo da irrigação; pois a absorção de água e nutrientes pelas plantas, depende essencialmente, da capacidade de transmissão de água no solo.

Quanto menor a condutividade hidráulica do solo mais difícil é a sua drenagem subterrânea e menor a disponibilidade de água às plantas; exigindo-se manter o solo com alta umidade, nas regiões com elevada demanda evapotranspirativa.

Tabela 9. Valores médios de espaçamento e profundidade de drenos em função do tipo de solo e da condutividade hidráulica

Tipo de solo	Condutividade hidráulica (mm/dia)	Espaçamento (m)	Profundidade (m)
Argiloso	>1,5	10 a 20	1,0 a 1,5
Franco-argiloso	1,5 a 5,0	15 a 25	1,0 a 1,5
Franco	5,0 a 20,0	20 a 35	1,0 a 1,5
Franco-arenoso fino	20,0 a 65,0	30 a 40	1,0 a 1,5
Franco-arenoso	65,0 a 125,0	30 a 70	1,0 a 2,0
Turfa	125,0 a 250,0	30 a 100	1,0 a 2,0

Fonte: Millar, 1988.

2.2.2.7. Características químicas

A avaliação das características químicas do solo é indispensável para o planejamento adequado dos projetos de irrigação e drenagem. Através da análise química pode-se avaliar a extensão de problemas atuais e potenciais de salinidade e/ou sodicidade.

As altas concentrações de sais solúveis encontrados em solos podem ser tóxicos aos vegetais; aumentando a pressão osmótica, reduzem a disponibilidade de água às plantas. Os boratos solúveis e o carbonato de sódio prejudicam os cultivos, mesmos em baixas concentrações, por que o boro é altamente tóxico e o carbonato eleva o pH, tornando insolúveis o manganês, zinco e fosfatos. Nos solos alcalinos, a alta concentração de sódio deteriora a estrutura, reduzindo a permeabilidade, o arejamento e a velocidade de infiltração, afetando o manejo do solo (Withers & Vipond, 1977).

A condutividade elétrica do solo (CEs) expressa a quantidade de sais contida na solução do solo, sendo o principal parâmetro de avaliação da salinidade do solo. Conforme o efeito da salinidade no desenvolvimento das plantas os solos podem ser classificados nas seguintes classes e categorias, expressas na tabela 10.

Tabela 10 - Classificação dos solos segundo os efeitos da salinidade no desenvolvimento das plantas

CLASSE	CATEGORIA	COND. ELÉTRICA (mmhos/cm a 25 °C)	INFLUÊNCIA NAS PLANTAS
A	Não salino	0 a 2	Salinidade praticamente imperceptível
B	Ligeiramente salino	2 a 4	O rendimento de plantas muito sensíveis pode ser afetado
C	Medianamente salino	4 a 8	O rendimento de várias plantas é afetado
D	Fortemente salino	8 a 16	Somente plantas tolerantes produzem satisfatoriamente
E	Muito fortem. Salino	> 16	Pouquíssimas plantas tolerantes se desenvolvem satisfatoriamente.

Fonte: Daker (1976)

A percentagem de sódio trocável (P.S.T.) expressa a qualidade relativa do íon Na^+ , em relação aos demais cátions do solo. Portanto conforme o Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (1954), dependendo dos níveis da condutividade elétrica do solo (C.E.s), a percentagem de sódio trocável (P.S.T.) e pH os solos são classificados em: normais, salinos, salinos sódicos e sódicos, vide Tabela 11.

Tabela 11 . Classificação dos solos em função de C.E.s, P.S.T. e pH

Denominação	C.E.s (mmhos/cm a 25°C)	P.S.T.	pH
Normal	<4	<15	4 a 8,5
Salino	>4	<15	≤8,5
Salino-Sódico	>4	>15	próximo de 8,5
Sódico	>4	>15	8,5 < pH < 10

Fonte: Bernardo (1982).

Alem das análises do pH, C.E.s e P.S.T. é necessário avaliar a fertilidade do solo, determinando os níveis dos macros e micro-nutrientes, nas diferentes profundidades do solo, conforme o sistema radicular dos cultivos a serem explorados.

ERROS: Considerando-se a variabilidade espacial do solo, é necessário que todas as análises dos parâmetros físicos e/ou químicos não sejam feitas apenas nos diversos tipos de solo que ocorrem na área do projeto, mas também com repetições no mesmo tipo de solo. Uma única determinação, utilizando somente um local ou uma amostra, representa apenas uma indicação das condições locais, sujeitas a erros graves, os quais podem comprometer o projeto.

Os sistemas de irrigação por aspersão convencional e microaspersão se constituem nas melhores alternativas para superar a ocorrência de significativa variabilidade espacial das características físicas, químicas e morfológicas dos solos na área irrigada (Scaloppi, 1986).

2.3. Clima

Constitui-se de um conjunto de ocorrências meteorológicas, que caracterizam o estado médio da atmosfera, determinando as necessidades de água das plantas. Os principais elementos climáticos que influenciam no planejamento da irrigação são a precipitação, o vento, umidade relativa do ar, a temperatura e a evapotranspiração.

2.3.1. Precipitação Pluviométrica

A importância da irrigação para a produção agrícola depende da frequência e das características das precipitações pluviométricas, que ocorrem durante o desenvolvimento dos cultivos. Dependendo de suas características, a irrigação pode ser considerada obrigatória ou complementar.

Os investimentos para irrigação têm que estar de acordo com a importância da aplicação artificial da água para a produção agrícola. Se as chuvas contribuírem com a maior parte da quantidade de água requerida para a produção, menores deverão ser os investimentos com irrigação. No caso da irrigação obrigatória é praticamente impossível a produção agrícola sem a utilização da irrigação, justificando portanto um maior investimento na adoção desta tecnologia.

2.3.2. Vento

O vento é caracterizado por dois parâmetros: sua direção e velocidade, constituindo-se num dos principais fatores limitantes para os sistema de irrigação por aspersão, afetando sua distribuição e uniformidade da água no solo bem como o esquema de distribuição dos aspersores no campo, conforme Tabela 12.

Tabela 12. Espaçamento dos aspersores em função do diâmetro de cobertura e da intensidade do vento

Velocidade do vento (m/s)	Espaçamento em função do diâmetro de cobertura
sem vento	65 a 70%
0 a 2	55 a 65%
2 a 4	45 a 65%
> 4	30 a 45%

Fonte: Bernardo (1982)

2.3.3. Umidade relativa do ar

A taxa de umidade relativa do ar influencia diretamente na evapotranspiração, decrescendo com o aumento da umidade. Assim, a eficiência do uso da água deverá aumentar significativamente com o aumento da umidade do ar. Essa Também deve ser levada em conta na seleção dos cultivos, e no sistema de irrigação, considerando-se sua influência na ocorrência de pragas e doenças, em condições de alta umidade.

2.3. 4. Temperatura do ar

De todos os elementos que caracterizam o clima a temperatura do ar é um dos que exerce maior influência direta sobre a evapotranspiração da água. A elevação da temperatura é o resultado da ação, direta ou indiretamente dos raios solares sobre o ar, o solo e os cultivos. É indispensável ter-se os dados da temperatura média do local, a fim de subsidiar na seleção dos cultivos a serem explorados , bem como na estimativa de suas evapotranspirações.

2.3.5. Evapotranspiração potencial ou referência

A evapotranspiração representa a totalidade de água consumida pelas plantas (transpiração) mais a água evaporada da superfície do solo, ao mesmo tempo. É um elemento imprescindível no planejamento, dimensionamento e manejo da água de irrigação do projeto. A evapotranspiração potencial (ETP) ou de referência (ETo) é definida como: a “taxa de evapotranspiração de uma superfície extensa de grama batatais, em pleno vigor vegetativo de 8 a 15 cm de altura, uniforme, inteiramente coberta pela vegetação sem restrições de água. É governada pelas condições meteorológicas. Enquanto a evapotranspiração real (ETR) é regida pelas características de cada cultura, disponibilidade de água no solo e pela demanda evaporativa da atmosfera (Matzenaher, 1992).

É através da evapotranspiração potencial que se estima as necessidades de água dos cultivos (evapotranspiração real -ETR), permitindo avaliar a demanda máxima de água do projeto, necessária para o dimensionamento hidráulico do sistema de irrigação bem como o manejo da água; conforme se verifica na Tabela 13.

Tabela 13. Índice de depleção (uso) da água armazenada no solo em função do tipo de cultura e do valor da evapotranspiração máxima diária.

Classe de tolerância ao déficit hídrico	Culturas	Evapotranspiração Máxima - ETM (mm/dia)									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	cebola, pimenta, batata	0.50	0.425	0.35	0.30	0.25	0.225	0.20	0.20	0.175	
2	banana, repolho, ervilha, tomate, uva	0.675	0.575	0.475	0.40	0.35	0.325	0.275	0.25	0.225	
3	alfafa, feijão, trigo, citrus, amendoim, girassol, abacaxi, melancia	0.80	0.70	0.60	0.50	0.45	0.425	0.375	0.35	0.30	
4	algodão, milho, azeitona, soja, beterraba, cana de açúcar, fumo	0.875	0.80	0.70	0.60	0.55	0.50	0.45	0.425	0.40	

Fonte: Doorenbos & Kassam (1979)

2.3.5.1. Métodos de determinação

A determinação da evapotranspiração potencial (ETP) pode ser estimada por diversos métodos, utilizando-se fórmulas envolvendo os diferentes fatores causadores da evapotranspiração. As mais utilizadas pela sua simplicidade e aceitável precisão dos seus resultados são as fórmulas de Hargreaves (muito utilizada no semi-árido do nordeste brasileiro), e a de Blaney-Criddle

2.3.5.1.1. Equação de Hargreaves

$$ETP = 17,37 \cdot T \cdot d \cdot (1 - 0,01 \cdot Hm)$$

em que:

ETP = evapotranspiração do cultivo de referência (mm/mês);

T = temperatura média mensal do ar, em °C;

d = coeficiente mensal de duração média do dia para cada mês, conforme a latitude local (ver Tabela 14),

Hm = umidade relativa média mensal do ar ao meio dia, em %.

Dispondo-se apenas da umidade relativa média diária determina-se o valor de Hm pela seguinte fórmula:

$$Hm = 1,0 + 0,4H + 0,004H^2$$

onde:

H = umidade relativa média do ar, em %.

Tabela 14. Coeficiente mensal de duração média do dia (d) da equação de Hargreaves

Lat. Sul	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov	Dez.
0°	1,02	0,92	1,02	0,99	1,02	0,99	1,02	1,02	0,98	1,02	0,99	1,02
2°	1,02	0,93	1,02	0,98	1,01	0,98	1,01	1,01	0,98	1,02	0,99	1,03
4°	1,04	0,93	1,02	0,98	1,01	0,97	0,98	1,01	0,98	1,03	1,00	1,04
6°	1,05	0,94	1,02	0,97	1,00	0,96	0,98	1,00	0,98	1,03	1,01	1,05
8°	1,05	0,94	1,02	0,97	0,99	0,95	0,98	1,00	0,98	1,03	1,02	1,06

10 ⁰	1,06	0,94	1,02	0,97	0,98	0,94	0,97	0,99	0,98	1,04	1,02	1,07
12 ⁰	1,07	0,95	1,02	0,97	0,98	0,93	0,97	0,99	0,98	1,04	1,03	1,07
14 ⁰	1,08	0,96	1,02	0,96	0,97	0,92	0,96	0,98	0,98	1,04	1,04	1,08
16 ⁰	1,09	0,96	1,03	0,96	0,96	0,91	0,95	0,98	0,98	1,05	1,05	1,10
18 ⁰	1,10	0,97	1,03	0,96	0,96	0,90	0,95	0,97	0,98	1,06	1,06	1,11
20 ⁰	1,11	0,97	1,03	0,95	0,94	0,89	0,93	0,97	0,98	1,06	1,06	1,12
22 ⁰	1,12	0,97	1,03	0,95	0,93	0,88	0,93	0,96	0,98	1,06	1,07	1,13
24 ⁰	1,13	0,98	1,03	0,94	0,91	0,87	0,91	0,96	0,97	1,07	1,08	1,14
26 ⁰	1,14	0,99	1,03	0,94	0,91	0,85	0,90	0,94	0,97	1,07	1,09	1,15
28 ⁰	1,15	1,00	1,03	0,93	0,90	0,83	0,89	0,94	0,97	1,08	1,10	1,17
30 ⁰	1,16	1,00	1,04	0,93	0,89	0,83	0,88	0,94	0,97	1,08	1,11	1,18
32 ⁰	1,17	1,00	1,04	0,92	0,89	0,82	0,86	0,93	0,97	1,08	1,12	1,18
34 ⁰	1,19	1,01	1,04	0,92	0,88	0,81	0,85	0,92	0,97	1,09	1,13	1,20
36 ⁰	1,21	1,02	1,04	0,91	0,85	0,79	0,84	0,91	0,97	1,10	1,14	1,23

Fonte: Pera, citado por Silva & Silva (1983).

2.3.5.1.2. Equação de Blaney-Criddle

$$ETP = (0,45 \cdot T + 8,13) \cdot p$$

Onde :

ETP = evapotranspiração do cultivo de referência (mm/mês)

T = temperatura média mensal do ar, em °C

P = horas de luz solar mensal possíveis em relação ao total anual, %.

As temperaturas médias mensais (T) são obtidas a partir dos dados observados na região, enquanto os valores de p variam em função da latitude local (Tabela 15).

Tabela 15. Valores da porcentagem mensal das horas de luz solar (p), para as latitudes Norte e Sul, segundo Blaney-Criddle

Lat. Norte	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0 ⁰	8,5	7,7	8,5	8,2	8,5	8,2	8,5	8,5	8,2	8,5	8,2	8,5
4 ⁰	8,4	7,7	8,5	8,3	8,6	8,4	8,6	8,6	8,2	8,4	8,1	8,3
8 ⁰	8,2	7,6	8,5	8,3	8,7	8,5	8,8	8,7	8,2	8,4	8,0	8,2
12 ⁰	8,1	7,5	8,4	8,4	8,9	8,7	8,9	8,8	8,3	8,3	7,9	8,0
16 ⁰	7,9	7,4	8,4	8,4	9,0	8,8	9,1	8,8	8,3	8,2	7,7	7,8
20 ⁰	7,8	7,3	8,4	8,5	9,2	9,0	9,3	8,9	8,3	8,2	7,6	7,6
24 ⁰	7,6	7,2	8,4	8,6	9,3	9,2	9,4	9,0	8,3	8,1	7,4	7,4
28 ⁰	7,4	7,1	8,4	8,7	9,5	9,4	9,6	9,2	8,3	8,0	7,3	7,2
32 ⁰	7,2	7,0	8,4	8,8	9,7	9,6	9,8	9,3	8,3	8,0	7,1	7,0
36 ⁰	7,0	6,9	8,3	8,8	9,8	9,8	10,0	9,4	8,4	7,9	6,9	6,8
40 ⁰	6,7	6,8	8,3	8,9	10,0	10,1	10,2	9,5	8,4	7,8	6,7	6,5
44 ⁰	6,4	6,6	8,3	9,0	10,3	10,4	10,5	9,7	8,4	7,6	6,5	6,2
48 ⁰	6,1	6,4	8,3	9,2	10,6	10,8	10,8	9,9	8,4	7,5	6,2	5,8
Lat. Sul	Jan.	Fev	Mar	Abr.	Ma.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
4 ⁰	8,6	7,8	8,5	8,2	8,4	8,1	8,4	8,4	8,2	8,5	8,3	8,7
8 ⁰	8,8	7,9	8,5	8,1	8,3	7,9	8,2	8,3	8,2	8,6	8,5	8,8
12 ⁰	8,9	8,0	8,5	8,0	8,1	7,7	8,1	8,2	8,2	8,7	8,6	9,0
16 ⁰	9,1	8,0	8,6	8,0	8,0	7,6	7,9	8,1	8,2	8,7	8,7	9,1
20 ⁰	9,3	8,1	8,6	7,9	7,8	7,4	7,8	8,0	8,1	8,8	8,9	9,3
24 ⁰	9,4	8,2	8,6	7,8	7,7	7,2	7,6	7,9	8,1	8,9	9,0	9,5
28 ⁰	9,6	8,3	8,6	7,7	7,5	7,0	7,4	7,8	8,1	8,9	9,2	9,8
32 ⁰	9,9	8,4	8,7	7,7	7,4	6,8	7,2	7,6	8,1	9,0	9,4	10,0
36 ⁰	10,1	8,5	8,7	7,6	7,2	6,6	7,0	7,5	8,0	9,1	9,5	10,3
40 ⁰	10,3	8,6	8,7	7,5	6,9	6,3	6,8	7,3	8,0	9,2	9,7	10,5

Fonte: Gomes (1994)

Entre outros modelos utilizados para determinar a evapotranspiração de referência, destaca-se o de Penman, o qual é mais preciso que os de Hargreaves e o de Blaney-Criddle. Entretanto, é mais complexo e requer diversas variáveis agrometeorológicas como temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, insolação e radiação solar. Parâmetros esses, muitas vezes, difíceis de serem obtidos em pequenas estações agrometeorológicas. Sua descrição pode ser encontrada em diversas bibliografias sobre o tema.

2.3.5.1.3. Método de tanque evaporimétrico

Os evaporímetros do tipo tanque “classe A” permitem medir os efeitos integrados da radiação, vento, temperatura e da umidade relativa do ar, em função da evaporação da superfície de água livre. A evaporação da água do tanque é transformada em evapotranspiração de referência (Eto) através da utilização dos coeficientes de tanque (Kp) obtidos empiricamente os quais levam em consideração o clima, o tipo de tanque e seu meio circundante conforme mostra a Tabela 14.

A estimativa da evapotranspiração potencial (ETP) é calculada pela seguinte fórmula:
 $ETP = ECA \times Kp$.

ETP - evapotranspiração potencial ou de referência (mm/período de dias),

ECA - evaporação do tanque classe A (mm/período de dias) e

Kp - coeficiente do tanque (adimensional)

Tabela 16. Valores de coeficiente de conversão da evaporação do tanque “classe A” (Kp) para estimativa da evapotranspiração potencial (ETP)

Velocidade do vento (km/dia)	Tanque circundado por grama:				Tanque circundado por solo nu:		
	Posição do tanque R (m)*	Umidade relativa do ar (%)			Umidade relativa do ar (%)		
		Baixa < 40 %	Média 40-70%	Alta >70%	Baixa < 40 %	Média 40-70%	Alta >70%
Leve < 175	0	0,55	0,65	0,75	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	0,50	0,60	0,70
Moderado 175 - 425	0	0,50	0,60	0,65	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	0,45	0,55	0,60
Forte 425 - 700	0	0,45	0,50	0,60	0,60	0,65	0,75
	10	0,55	0,60	0,65	0,50	0,55	0,70
	100	0,60	0,65	0,75	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	0,40	0,45	0,55
Muito forte >700	0	0,40	0,45	0,50	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	0,35	0,40	0,45

* Por R entende-se a menor distância (em metros) do centro do tanque ao limite da bordadura (grama ou solo nu)
 Fonte: Doorembos & Kassan (1979).

2.2.4. Seleção das culturas

Diversos aspectos devem ser considerados na seleção das culturas os quais podem influenciar na adequação dos sistemas de irrigação, na viabilidade técnica e econômica do projeto. Dentre estes

as exigências climática, pedológica, hídrica, valor econômico, susceptibilidade a pragas e doenças, período de exploração, uso consuntivo, sistema e densidade de plantio, profundidade do sistema radicular e altura das plantas.

2.4.1. Clima

O clima limita a seleção de culturas em função das temperaturas máximas e mínimas; da umidade relativa do ar e a duração de brilho solar diário. Como por exemplo, a limitação climática em regiões semi-áridas às culturas de clima temperado como a pera e maçã.

2.4.2. Solo

O solo pode restringir a seleção de uma cultura em função de sua profundidade efetiva (solos rasos não são recomendados para pomares), textura (arenosa) inviável para a irrigação do arroz por inundação) teor de sais e fertilidade.

2.4.3. Água

A água pode limitar a seleção das culturas e o sistema de irrigação em função da sua qualidade e disponibilidade, considerando-se o grau de tolerância das culturas a salinidade e suas necessidades de água de irrigação. Como exemplo, a cultura do feijão, muito sensível ao teor de sais na água e no solo.

2.4.4. Valor econômico

Influência significativamente na seleção do sistema de irrigação, bem, como no seu manejo. As culturas de maior valor econômico como a uva, a manga e o melão de alta rentabilidade, justificam a utilização de sistemas de irrigação mais sofisticados e de elevado custo de aquisição. O manejo da irrigação adotado é visando sempre a maior produtividade, mantendo a cultura sem restrições de água e nutrientes. Isto pode ser verificado nas grandes empresas agrícolas produtoras de melão, uva, e manga no semi-árido brasileiro.

2.4.5. Susceptibilidade à pragas e doenças

As culturas susceptíveis ao ataque de pragas e/ou doenças, necessitando de freqüentes tratamentos fitossanitários como por exemplo o tomate, os citros entre outras é menos indicado a utilização dos sistemas de irrigação por aspersão e sim por sulcos e gotejamento.

2.4.6. Uso consuntivo ou evapotranspiração real

Considerando as diferentes exigências de água entre as culturas e as variações dessas exigências em função de seus diferentes estágios de desenvolvimento, utiliza-se os coeficientes de

cultura (K_c) para se estimar a evapotranspiração real (ETR) a partir da evapotranspiração potencial (ETP). Portanto, a evapotranspiração real (ETR) é igual a:

$$ETR = ETP \times K_c$$

Onde:

ETR = evapotranspiração real da cultura (mm/período de tempo);

ETP = evapotranspiração potencial (mm/período de tempo);

K_c = coeficiente da cultura, conforme seu estágio de desenvolvimento, cujos valores se encontram na Tabela 17.

Tabela 17. Coeficientes de culturas (K_c) para os diferentes estágios de desenvolvimento

Culturas	Estágios de Desenvolvimento da cultura					Período total Crescimento
	(I)	(II)	(III)	(IV)	(V)	
Banana	0,4-0,50	0,70-0,85	1,00-1,10	0,90-1,00	0,75-0,85	0,70-0,80
feijão	0,3-0,40	0,65-0,75	0,95-1,05	0,90-0,95	0,85-0,95	0,85-0,95
Repolho	0,4-0,50	0,70-0,80	0,95-1,10	0,90-1,10	0,80-0,95	0,70-0,80
Algodão	0,4-0,50	0,70-0,80	1,05-1,25	0,80-0,90	0,65-0,70	0,80-0,90
Amendoim	0,4-0,50	0,70-0,80	0,95-1,10	0,75-0,85	0,55-0,60	0,75-0,80
milho	0,3-0,50	0,80-0,85	1,05-1,20	0,80-0,95	0,55-0,60	0,75-0,90
Cebola	0,4-0,60	0,70-0,80	0,95-1,10	0,85-0,90	0,75-0,85	0,80-0,90
Ervilha	0,4-0,50	0,70-0,85	1,05-1,20	1,00-1,15	0,95-1,1	0,8-0,95
Pimentão	0,3-0,40	0,60-0,75	0,95-1,10	0,85-1,00	0,80-0,90	0,70-0,80
Batata	0,4-0,50	0,70-0,80	1,05-1,20	0,85-0,95	0,70-0,75	0,75-0,90
Arroz	1,1-1,15	1,10-1,50	1,10-1,30	0,95-1,05	0,95-1,05	1,05-1,20
Sorgo	0,3-0,40	0,70-0,75	1,00-1,15	0,75-0,80	0,50-0,55	0,75-0,85
Soja	0,3-0,40	0,70-0,80	1,00-1,15	0,70-0,80	0,40-0,50	0,75-0,90
Beterraba	0,4-0,50	0,75-0,85	1,05-1,20	0,90-1,00	0,60-0,70	0,80-0,90
C.de açúcar	0,4-0,50	0,70-1,00	1,00-1,30	0,75-0,80	0,50-0,60	0,85-1,05
Tomate	0,4-0,50	0,70-0,80	1,05-1,25	0,80-0,95	0,60-0,65	0,75-0,90
Melancia	0,4-0,50	0,70-0,80	0,95-1,05	0,80-0,90	0,65-0,75	0,75-0,85
Trigo	0,3-0,40	0,70-0,80	1,05-1,20	0,65-0,75	0,20-0,25	0,80-0,90

Primeiro número: Sob alta umid. ($U_r \text{ min} > 70\%$) e vento fraco ($V < 5 \text{ m/s}$).

Segundo número: Sob baixa umid. ($U_r \text{ min} < 20\%$) e vento forte ($V > 5 \text{ m/s}$)

Caracterização dos estágios: Estágio I - emergência até 10% do desenv. veget. (DV)

Estágio II - 10% do DV até 80% do DV

Estágio III - 80% do DV até 100% do DV (inclusive, frutos formados)

Estágio IV - maturação

Estágio V - colheita

Fonte: Doorembos & Kassam (1979)

2.4.7 Sistema e densidade do plantio

É interessante para a seleção dos sistemas de irrigação bem como na sua disposição no campo, principalmente nos sistemas de irrigação por sulcos e localizada, adequados para culturas plantadas sob largo espaçamento como é o caso das fruteiras. Para culturas de espaçamento mais adensado como é o caso de gramíneas forrageiras, os sistemas mais adequados são os por faixa e aspersão.

2.4.8. Altura das plantas

É um fator de restrição principalmente para os sistemas de irrigação por aspersão como pivô central e demais modalidades. Nos demais sistemas a altura das plantas não representa nenhum problema.

2.4.9. Profundidade do sistema radicular

Fator importante para o controle da irrigação, influência na disponibilidade de água às plantas. Os sistemas de irrigação por aspersão permitem aplicar lâminas adequadas às culturas conforme a profundidade do sistema radicular nos diferentes estágios de crescimento.

Erros

A necessidade de água das culturas representam frequentemente um problema. Qualquer falha na sua estimativa reflete imediatamente no desempenho do projeto, podendo até inviabilizá-lo. Um erro de 20% a mais na estimativa do consumo máximo de água pode significar uma diferença considerável na análise econômica do projeto, principalmente se seu custo constituir um dos principais fatores restritivos. Se este erro for para menos pode significar um déficit hídrico ou redução da área plantada nesta mesma proporção, considerando a mesma jornada de trabalho preestabelecida no projeto.

2.5. Energia

A disponibilidade de energia constitui-se num importante fator para a seleção dos sistemas de irrigação, influenciando diretamente nos custos de aquisição do equipamento para bombeamento de água, bem como na sua manutenção e operacionalização.

Os principais fatores a serem considerados são: a fonte de energia (elétrica, diesel, eólica, solar) existente na área; suas características (tensão - 110 ou 220 volts) fases (monofásica, bifásica, trifásica), sua potência instalada e disponível para irrigação, bem como as distâncias do transformador (caso energia elétrica) até a estação de bombeamento da água e da área a ser irrigada.

2.6. Recursos Humanos

Na seleção de um ou outro sistema de irrigação e/ou culturas, é importante considerar alguns fatores humanos existentes no local. Entre esses os hábitos, tradições, preconceitos, nível sócio-econômico, educacional e formação tecnológica do produtor; a jornada de trabalho diária, disponibilidade e a qualidade da mão-de-obra a ser envolvida no projeto.

Dentre os sistemas de irrigação os por superfície, principalmente, por inundação são os de mais fácil adoção por produtores e irrigantes menos qualificados. No entanto, os sistemas de irrigação localizada além do maior custo de aquisição dos equipamentos, exigem um maior conhecimento técnico para seu manejo e operacionalização, tendo em vistas suas particularidades próprias: filtragens da água, utilização da fertirrigação, entre outras.

3. Síntese: Influência das condições locais na adequação dos sistemas de irrigação

Conforme o exposto observa-se que o levantamento e avaliação criteriosa dessas informações são imprescindíveis para o planejamento e elaboração racional dos projetos com agricultura irrigada.

Não se pode dizer que um método de irrigação seja melhor que outro, no que diz respeito a produção vegetal. Mas sim, aquele que melhor se adéqua às condições especiais, considerando-se o

grau de restrição e/ou adequação de cada um desses fatores na seleção dos diferentes sistemas de irrigação, conforme se verifica nas Tabelas 18 e 19.

Tabela 18. Adequação dos métodos de irrigação ao solo e ao clima

MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO	SOLO		CLIMA
Aspersão convencional	declividade: B pedregosidade : A profundidade : A infiltração: B retenção de água: B	Gradiente de declive superior a 30% é problemático	Vento : D
Pivô central	declividade : D profundidade: A infiltração: B retenção de água: B	Retenção de água inferior a 0,5 mm/cm de solo é problemático.	Vento: D_
M1icroaspersão	declividade: A pedregosidade: A profundidade: A infiltração: B retenção de água: B		Vento: A
gotejamento	declividade: A pedregosidade: A profundidade: A infiltração: D retenção de água: A	Solos "arenosos" é limitante devido alta infiltração.	Vento: A
autopropelido	declividade: C pedregosidade: D profundidade: A infiltração: A retenção de água: B		Vento: B
inundação	declividade: C pedregosidade: C profundidade: B infiltração: D retenção de água: C		Vento: B
Sulcos	Declividade: D Pedregosidade: D profundidade: D infiltração: C retenção de água: C		Vento: A
faixas	declividade : D pedregosidade: D profundidade: B infiltração: C retenção de água: C		Vento: A

A: não limitante; B: pouco limitante; C: limitante; D: muito limitante
Fonte: Dourado Neto (1993)

Tabela 19. Adequação dos métodos de irrigação às culturas e à água

MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO	CULTURAS	ÁGUA	
		VAZÃO REQUERIDA	QUALIDADE
Aspersão convencional	Todas as culturas. O tomateiro se adequa mais à irrigação por sulcos devido a problemas fitossanitários de doenças.	Média	física: média química: boa
Pivô central	Culturas anuais de média a alta rentabilidade cuja altura da planta não deve exceder 3,5 m.	alta	física: boa química: ótima
Microaspersão	culturas semeadas ou plantadas em linhas, porem de alta rentabilidade como frutícolas e olerícolas.	Baixa	física: boa química: boa
Gotejamento	Idem à microaspersão. No caso de laranja, è preferível quando há risco de incidência de gomose.	Baixa	física: boa química: ótima
Autopropelido	cana-de-açúcar e cereais em geral. No caso de cereais deve-se tomar cuidado na época do florescimento devido ao tamanho das gotas.	Média	física: regular química: boa
Inundação	arroz	muito alta	física: regular química: boa
Sulcos	oleícolas, frutícolas e cereais em geral.	Alta	física: regular química: boa
Faixa	pastagem, cebola e frutícolas em geral	alta	física: regular química: boa.

Fonte: Dourado Neto (1993)

Muitas vezes a falta da determinação de alguns desses parâmetros, poucos e simples de serem obtidos antes do dimensionamento do projeto é com frequência, a causa de sérios prejuízos, muito deles irreversíveis.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASBRASIL NORDESTE LTDA. **Irrigação por Aspersão**. Recife: 1981. 89p.
- AYRES, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de GHEYI, H.R. et al. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p.
- AZEVEDO, H.M. de ; AZEVEDO, N.C. de. **Elaboração de projetos de Pequena Irrigação: Projeto agrônomo**. Recife-PE: MINTER-SUDENE, 1984. 43p.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1982. 463p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Provarzeas Nacional. **Guia para elaboração de Projetos: drenagem, irrigação e saneamento agrícola**. Brasília, PROVÁRZEAS/PROFIR, 1988. 67p.
- BRASIL. Ministério Extraordinário Da Irrigação - PRONI. **Tempo de Irrigar: Manual do irrigante**, São Paulo; 1987. 159p.
- CORDEIRO, G.G. **Salinidade dos solos agrícolas**. Petrolina: EMBRAPA/CPATSA, [s.d.] 46p.
- DAKER, A. **Água na agricultura**. Manual de hidráulica Agrícola: Irrigação e Drenagem. 3.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1983. 3 v.
- DOORENBOS, J ; KASSAM, A.H. **Efectos del agua el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO , 1979. 212p. (Estudios FAO. Riego y Drenage, 33).
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Las necesidades de águas de los cultivos**. Roma: FAO, 1977. 143p. (Estudios FAO. Riego y Drenage, 24).
- DOURADO NETO, D. **Adequação dos métodos de irrigação às culturas**. Piracicaba, USP/ESALQ, 1993. 20p.
- GOMES, H.P. **Engenharia de Irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados aspersão e gotejamento**. João Pessoa, Ed. Universitária/UFPB, 1994. 344p.
- ISRAELSEN, O.; HANSEN, V. **Principios y Aplicaciones del Riego**. Madrid, 1965. 395p.
- MAAS , E.V. Salt tolerança of plants. In: CHRISTIE, B. R. **The handbook of plant science in agriculture**. Boca Rotom. CRC Press, 1984.
- MATZENUIR, R. Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficientes de cultura. In: BERGMASCHI et al. **Agrometeorologia aplicada a Irrigação**. Porto Alegre: UFRGS, 1992. Cap.3, p33-47.
- MILLAR, A.A. **Drenagem de Terras Agrícolas: bases agrônomicas**. São Paulo: Editora Editorial Ltda, 1988. 306p.
- MOTA, C.A.A. de. **Elaboração de Projetos em pequena Irrigação: Topografia**. Recife, MINTER/SUDENE, 1984. 17p.
- OLITTA, A.F.L. **Os métodos de Irrigação**. São Paulo: Livraria Nobel, 1977. 267p.
- OLIVEIRA, A.S. de. Técnicas de exploração. **A Granja**, Panambi: n. 410, p. 62-66, mar. 82.
- PIRES, E.T. **Irrigação por Aspersão: dimensionamento**. Belo Horizonte: EMATER MG, 1982. p.7-18.
- RAPOSO, J.R. **A rega por aspersão**. 1. ed. Lisboa: Clássica, 337p.
- REBOUR, H & DELOYE, M. **El riego**. 2. ed. Madrid: Ediciones Mund-prensa, 1971. 325p.
- RUSSO, M.Jr. **Planejamento e projeto de irrigação por aspersão**. São Paulo: CESP, 1980. 45p.

SAAD, A.M. ; LIBARDI, P.L. **Uso prático do tensiômetro pelo agricultor irrigante**. São Paulo: IPT, 1992, 27p.

SCALOPPI, E. J. Critérios Básicos para Seleção de Sistemas de Irrigação. **Informe Agropecuário**. Série Engenharia de irrigação. Belo Horizonte, v.12, n.139, p. 54-62, jun. 1986.

SCALOPPI, I.J. Exigências de energia para irrigação. **Irrigação e Tecnologia moderna**, Brasília, v.21, p.13-17,1985.

SILVA, A.M. da; SILVA, E.L. da. Necessidade de água para irrigação. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 9, n.100. p. 6-13, 1983.

VIEIRA, J. Irrigação de Superfície. **Informe Agropecuário**. Série Irrigação com Estabilidade, Belo Horizonte. v.9, n.100, p.13-23, abr. 1983.

WITHERS, B. ; VIPOND, S. **Irrigação: Projeto e Prática**. São Paulo: E.P.U., 1977. 339p.