

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS**

**Apostila de Irrigação¹
(IPH 02 207)**

Prof. Nilza Castro

¹ Última revisão em setembro de 2003.

SUMÁRIO

1. Introdução	4
1.1 Irrigação nas antigas civilizações e influência social e econômica	5
1.2 Irrigação hoje no mundo	7
1.3 Irrigação no Brasil	7
2. Métodos de Irrigação	12
2.1 Superficiais	12
2.2 Irrigação sob pressão	13
3. Critérios para Seleção dos Métodos de Irrigação	16
3.1 ÁGUA	16
3.2 SOLO	19
3.3 CULTURA	21
3.4 RELEVO	21
3.5 MÃO DE OBRA	22
3.6 ENERGIA	22
3.7 CUSTO	22
3.8 MEIO AMBIENTE	22
4. Irrigação por aspersão	25
4.1. Vantagens e Desvantagens do sistema de irrigação por Aspersão	25
4.2. Componentes do sistema	25
4.3 Características dos aspersores	26
4.4 Distribuição dos aspersores	28
4.5 Espaçamentos convencionais dos aspersores	29
4.6 Grau de uniformidade de Precipitação (Coeficiente de precipitação ou Coeficiente de Christiansen, 1942 – Cuc)	30
4.7. Eficiência de Irrigação	30
4.8 Distribuição das linhas laterais	31
4.9 Dimensionamento das laterais e linhas principais	31
5 Irrigação por sulcos	36
5.1 Introdução	36
5.2 Vantagens e Desvantagens do sistema de irrigação por Sulcos	36
5.3 Características dos sulcos	37
5.4 Infiltração da água nos sulcos	40
5.5 Vazões e velocidades nos sulcos	40
5.6 Curva de Avanço da água no sulco e cálculo da vazão reduzida	43
5.7 Curva de Recessão da água no sulco	43
5.8 Lâminas nos sulcos	43
5.9 Eficiência do sistema de irrigação por sulcos	45
6. Irrigação por Inundação	48
6.1 Vantagens e Desvantagens	48
6.2 Tipos de Irrigação por Inundação	48
6.3 Componentes do sistema de irrigação por inundação	48
6.4 Características dos quadros (tabuleiros) e taipas	49
6.5 Tipos de preparo de solo em um sistema de irrigação por inundação	50
6.6 Manejo da irrigação por inundação	50
6.7 Consumo de água em uma lavoura de arroz	51
7. Referências bibliográficas	56

Capítulo 1

Introdução a Irrigação

1. Introdução

A irrigação é uma técnica milenar que tem por objetivo fornecer a quantidade necessária de água à planta no momento em que ela necessita e na quantidade exata. Dependendo da região, o cultivo de determinadas culturas não é possível sem a utilização da irrigação, é o que chamamos de irrigação total, quando toda a água fornecida às plantas provém de irrigação. Em outras regiões, a irrigação apenas complementa a quantidade de água necessária à planta, caso não haja uma precipitação adequada naquele momento, é a irrigação complementar que utilizamos no Rio Grande do Sul. Estatísticas realizadas no Mato Grosso do Sul mostram que a produtividade de 1 ha de lavoura irrigada corresponde a 3,4 ha de lavoura não irrigada (PRONI, 1987). Para o caso específico do Rio Grande do Sul, que realiza uma irrigação complementar para os grãos, a diferença de produtividade média para a cultura da soja nas safras de 74 a 81 e 85/86 na região de Taquari foi de 25% maior produtividade para a cultura irrigada, sendo que a safra de 78/79 a soja irrigada apresentou produtividade de 62% superior a não irrigada (Cunha e Bergamaschi, 1992). Os mesmos autores relatam um aumento de produtividade da cultura do milho na mesma região (Estação experimental de Taquari na depressão central do RS) das safras de 82 a 88 de 32,5% para a cultura irrigada, sendo que em períodos com maior deficiência hídrica o aumento de produtividade da cultura irrigada foi de 128%. A primeira coisa que deve-se verificar em uma lavoura, antes de fazer irrigação é a real necessidade de irrigar. Uma análise da série histórica de dados de chuva da região deve ser feita.

No Brasil a maioria dos Estados possui um período de chuvas e um período de seca. O Rio Grande do Sul não possui período de seca apresentando uma distribuição de chuvas uniforme ao longo do ano com média mensal entre 90 e 120 mm e precipitação anual média entre 1200 e 1700 mm. Apesar desta precipitação média mensal bem homogênea ao longo do ano, podem ocorrer anos mais úmidos e anos mais secos. A partir de uma análise hidrológica com uma série histórica de 50 anos constatou-se que a cada 3 anos seria necessário irrigar no Rio Grande do Sul para cultivo de grãos, o milho principalmente, na região noroeste do Estado (Beltrame et al., 1979).

Não basta haver uma boa distribuição de chuvas em uma região sem períodos secos, se ocorrem perdas desta água, o solo pode não ficar úmido o suficiente para desenvolver a cultura. As perdas podem ocorrer por evaporação diretamente da água antes desta cair no solo, evaporação da água que foi interceptada pelas plantas, evaporação da água que caiu no solo, transpiração das plantas. A este conjunto evaporação + transpiração denomina-se evapotranspiração. Perdas de água podem ocorrer ainda pelo escoamento superficial ou por percolação profunda e em menor escala, perdas laterais.

Balanço hídrico: É necessário então, fazer um balanço hídrico para determinar se há um déficit hídrico e em qual período. Se o período do déficit coincide com o período em que a cultura necessita de água, a irrigação pode resolver o problema. Para um balanço hídrico simplificado são necessários dados de série histórica de chuva (P) e de evapotranspiração (ETP) ao longo do ano. Se $P > ETP$ há um excesso hídrico no período analisado. Se $P < ETP$ há um déficit hídrico neste período. Se o período de déficit hídrico é aquele em que a planta não tolera ficar sem água, então a irrigação é a única alternativa para o cultivo.

Mesmo que seja constatado um excesso hídrico, se o balanço hídrico foi realizado com dados mensais pode haver déficit hídrico em determinados dias dentro do mês considerado e a irrigação seria necessária para garantir uma boa produtividade.

A seguir é feito um breve histórico do início da irrigação no mundo e sua influência econômica, política e social nas civilizações. Após é dado um panorama geral das áreas irrigadas hoje no mundo e no Brasil. No capítulo 2 são apresentados os principais métodos de irrigação, no capítulo 3 são enfatizados critérios importantes para a seleção de métodos de irrigação. Nos capítulos 4, 5 e 6 são apresentados com detalhes os métodos de irrigação por aspersão, sulcos e inundação.

1.1 Irrigação nas antigas civilizações e influência social e econômica

Estima-se que a terra tenha aproximadamente 5 bilhões de anos (Leinz e Amaral, 1978), sendo que há indícios que o homem exista há 100.000 anos neste planeta. No início de sua existência, o homem se alimentava exclusivamente de carne de caça, mais tarde descobriu as árvores frutíferas e alimentava-se também de frutos. O homem levou aproximadamente 5 mil anos para começar a cultivar seus alimentos (Hagan et al., 1967). As civilizações mais antigas foram formadas com base na agricultura (Fukuda, 1976):

Antigo Egito, com cultivo no Vale do Rio Nilo,

Mesopotâmia (atual Turquia, Iran), com cultivo nos vales dos rios Tigre e Eufrates,

China, com cultivo no Vale do Rio Amarelo,

Índia, com cultivo no vale do Rio Indus,

Incas, no Peru,

Maias, no México.

As civilizações mais poderosas surgiram ao longo dos rios, desenvolvendo sua agricultura nos vales destes rios, além de utilizá-los para navegação e expansão de fronteiras.

O Egito, por exemplo, ergueu-se às margens do rio Nilo. As cheias deste rio que ocorriam devido as precipitações nas cabeceiras da bacia em setembro e outubro, se espalhavam pelo Egito, deixando uma camada de húmus muito fértil quando as águas baixavam, onde cultivava-se principalmente o trigo. Se as cheias eram muito altas, ocorriam inundações, se muito baixas, ocorriam secas e conseqüentemente menos terra fértil naqueles anos e escassez de alimentos. No ano 4000 A.C. aproximadamente, foram construídos reservatórios para armazenar a água nos períodos de cheia. Com isso, a água era utilizada na quantidade necessária e no momento certo, solucionando os problemas de cheias e secas. Iniciava-se o sistema de irrigação no planeta. No ano 300 A.C. o sistema de irrigação foi intensamente expandido em Menphis (sul do Cairo) pelo rei Menes, da primeira dinastia (Fukuda, 1976). No ano de 700 D.C. 0,75 milhões de ha eram irrigados anualmente passando para 1,5 milhões de hectares em 1200 D.C. (Hagan et al., 1967).

A irrigação começou também no ano 4000 A.C. na região da Mezopotâmia (atual região da Turquia e Iran), com tomadas d'água dos rios Tigre e Eufrates para cultivo nos vales destes rios. No ano 2000 A.C. aproximadamente, o rei Hammurabi da Babilônia desenvolveu a irrigação em grande escala com a construção de uma rede de canais de irrigação constuídos por prisioneiros. As áreas irrigadas por estes canais era de mais de 2.600.000 ha. Esses canais eram também utilizados para navegação. No período entre 600 e 550 A.C., quando a Babilônia atingiu seu apogeu magníficas construções foram construídas e a irrigação progrediu intensamente. Acredita-se que os famosos jardins da Babilônia foram os primeiros no mundo a serem irrigados por aspersão. Em 539 A.C. a Babilônia foi tomada pela Pérsia e a manutenção dos canais foi negligenciada, diminuindo a capacidade de armazenamento de água dos reservatórios e canais, pelos sedimentos depositados. Em 629 D.C. uma grande cheia causou sérios prejuízos à Mezopotâmia. No ano 637 a Mesopotâmia foi conquistada pelos árabes que deram uma boa manutenção aos canais de irrigação. Eles funcionaram muito bem até o ano de 1258 quando os Mongóis invadiram e dominaram esta região. Novamente, os canais não foram mantidos e foram até destruídos, a agricultura decaiu e a civilização decaiu em um período de 100 anos. A Turquia tomou o controle depois disso, mas também não reativou o sistema de irrigação. A população continuou a decair. Estima-se que a população nesta época era menos de um quarto da época do rei Hammurabi, há 4000 anos.

A principal diferença entre os canais construídos pelos babilônios em relação aos egípcios é que os babilônios utilizaram tijolos de argila, enquanto os egípcios utilizavam pedras (Fukuda, 1981).

As principais cidades da Índia, Mohenjodaro e Harapa, foram construídas no vale do rio Indus, no sul em 2500 A.C. A civilização se desenvolveu graças a agricultura praticada no vale desse rio, principalmente o arroz, com o uso da irrigação. Em 2000 A.C. o sistema de irrigação foi desenvolvido na região norte do vale do rio Indus, na área de Punjab. A Índia contribuiu muito com os estudos de

hidráulica de canais e sistemas de irrigação através de sua experiência. No século 19 foram construídos canais de irrigação utilizados para conduzir a água para as áreas de lavoura. Barragens de terra foram construídas ao longo do rio, mas foram insuficientes para reter a água drenada pelas bacias respectivas. Grandes áreas foram alagadas e houve grande epidemia de malária. Muito investimento foi necessário para reparar essas obras danificadas. A hidráulica de rios era pouco conhecida e técnicas de controle de canais foram desenvolvidas. Os canais foram refeitos e dragados a cada ano. Isso serviu como experiência e as lições serviram para aumentar o conhecimento da construção, manutenção e funcionamento de canais, armazenamento de água, hidráulica, etc. No final do século XX muitos canais e barragens foram construídos na Índia. Em 1903, a Comissão de Irrigação da Índia, criada em 1901, definiu uma política de irrigação, incluindo trabalhos de seleção de áreas, construção e manutenção de obras de irrigação para o combate à fome. Apesar do investimento do governo não ter tido retorno econômico a curto prazo em alguns projetos, a Comissão deu um parecer favorável ao programa pois o benefício social compensaria o investimento (Hagan et al., 1967).

A irrigação na China vem sendo praticada desde o ano de 3000 A.C. para o cultivo do arroz. Entre 1200 e 771 A.C. parcelas retangulares eram cultivadas com arroz e um sistema de canais de irrigação foi desenvolvido. No ano 600 D.C. o curso do rio foi modificado, ao norte de Pekim para construção de um canal. Vários canais foram construídos. Em 1280 um enorme canal de 1040 km de extensão foi construído tendo capacidade de armazenar água até 2,10 m de profundidade e velocidade de 1,3 m/s (Fukuda, 1981).

Quando os exploradores europeus chegaram na América encontraram a agricultura já praticada e difundida pelos habitantes. Em algumas regiões a irrigação já era praticada sustentando densas populações e civilizações como os astecas e os incas, que foram construídas ao redor desta agricultura. Escavações indicam que a agricultura nesta região começou antes do ano 5000 A.C. Cidades agrícolas instalaram-se em 3000 A.C. e difundiram-se por toda a parte em 800 AC. (Hagan et al. 1967). Estima-se que no ano 1000 A.C. iniciou a agricultura irrigada na América (Fukuda, 1981) e prosperou por mais de 2000 anos, quando houve um declínio populacional e redução da área das cidades. Esse declínio coincide com o período da invasão espanhola, em 1532 e provavelmente tenha ocorrido devido a conflitos políticos e militares. Segundo Arnillas (1961) esse declínio pode ter sido influenciado pelo inadequado sistema de drenagem e pela salinização das terras ocasionando abandono destas. Durante a colonização espanhola a redução e subsequente expansão demográfica em muitas regiões foram acompanhadas pelas variações da produtividade agrícola e sistema de irrigação.

A civilização maya foi construída entre os anos 300 e 900 A.C. no sul do México e Norte da Guatemala em regiões ou muito áridas sem chance de praticar a irrigação por falta de água, ou em regiões de floresta com precipitações anuais médias de 2000 mm bem distribuídas, sem necessidade de praticar irrigação. Esta civilização é caracterizada pelo desenvolvimento da matemática e astronomia. A agricultura era praticada sem grande técnica (Fukuda, 1981). Isto ilustra que as civilizações nem sempre foram formadas com o desenvolvimento da agricultura e irrigação, mas tiveram outras influências. A agricultura irrigada teve forte influência no desenvolvimento das civilizações, mas não foi o único fator que as influenciou.

Apesar disto, admite-se que a irrigação quase sempre esteve relacionada com o desenvolvimento econômico das regiões e por consequência desenvolvimento cultural, artístico, político (Hagan, 1967). Um exemplo disso é o caso da região da cidade de Khuzistan, no Iran. Estima-se que a agricultura começou nesta região no ano 5000 AC. Depois de iniciar a irrigação, a área agrícola se estendeu para as regiões mais áridas longe dos rios. A população expandiu-se e formaram-se pequenas comunidades. Estas comunidades transformaram-se em grandes centros urbanos. A cidade mais importante da região era SUSA com estradas em torno dos pomares e lavouras. Após a conquista pelos invasores Assírios entre 1000 e 500 AC a região sofreu um declínio. Com a conquista de Alexandre, que fez um altíssimo investimento em irrigação, a região desenvolveu sua agricultura irrigada novamente com a construção de canais de irrigação e túneis de água. Esse programa foi desenvolvido em paralelo com um

planejamento de instalação de comunidades agrícolas. A produtividade agrícola aumentou significativamente. A agricultura comercial cresceu tanto que logo a indústria de tecidos (seda, cetim, algodão e lã) se desenvolveu. A produção de tecidos tornou-se muito conhecida nos grandes centros de comércio. A região tornou-se além de um centro agrícola e comercial, centro artístico e cultural.

Esta introdução nos esclarece que a agricultura irrigada vem sendo praticada há 5000 anos e ela está intimamente relacionada com o progresso econômico, político, cultural, artístico e social. O homem vem desenvolvendo novas tecnologias a partir dos erros e acertos do passado. É muito importante o conhecimento dos fatores físicos da região para a evolução dos processos técnicos ligados à irrigação, mas é fundamental uma política adequada a cada região e investimento do governo, respeitando seus potenciais naturais.

1.2 Irrigação hoje no mundo

Dados da FAO de 1997 mostram que 17,73 % das áreas cultivadas do mundo são irrigadas, ou seja 267.727.000 ha.

A figura 1 ilustra que o continente que mais área irrigada tem em relação a área cultivada é o asiático com 33,57% de área irrigada. Entre os países deste continente, destaca-se o Paquistão que tem uma área cultivada de 21.600.000 ha sendo 17.580.000 ha irrigados, ou seja 81,39%. Depois vem o Iraque (63,63 %), Japão (62,89 %) e Israel (45,54 %) (tabela 2).

Depois a América do Norte e Central onde 11,39% de áreas cultivadas são irrigadas, sendo que os países México (23,81 %) e Cuba (20,45 %) são os países que tem maior área irrigada em relação à cultivada.

O Egito, localizado no continente Africano tem uma área irrigada de 100%. Toda sua área cultivada é irrigada.

Na América do Sul, o Brasil tem uma área irrigada muito pequena comparada com os outros países (4,85 %). O Chile (55,29 %) e o Peru (41,90 %) têm grandes áreas irrigadas em relação às áreas cultivadas.

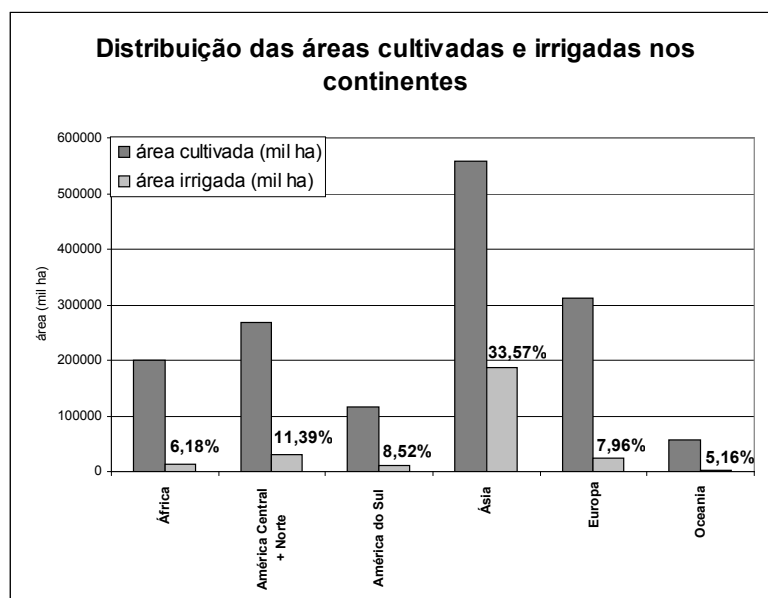


Figura 1. Distribuição das áreas cultivadas e irrigadas nos 5 continentes do planeta.

1.3 Irrigação no Brasil

Não há indícios da prática de irrigação no Brasil pelos índios. A irrigação foi começada bem tarde comparando com as primeiras no mundo. O primeiro projeto de irrigação no Brasil foi em 1881, a construção do reservatório Cadro para utilização da lavoura irrigada de arroz, no estado do Rio Grande

do Sul que começou em 1903, por iniciativa privada (Fukuda, 1981) e logo após em 1912 em Cachoeira do Sul também para o cultivo do arroz.

A irrigação no Brasil começou a ter expressão em 1950 com uma área irrigada de 64 mil ha e evoluiu de forma contínua chegando no final da década de 90 a uma área irrigada de 2.870.000 ha. Esta evolução é apresentada na tabela 1.

Tabela 1. Evolução da área irrigada no Brasil (mil hectares)

Anos:	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1994	1995	1996	1997	1998
Área Irrigada	64	141	320	545	796	1100	1600	2100	2700	2800	2600	2656	2756	2870

Em termos regionais, dados de 1998 indicam que as áreas irrigadas no Brasil apresentam a seguinte distribuição:

Região Norte:	86.660 ha
Região Nordeste:	495.370 ha
Região Sudeste:	890.974 ha
Região Sul:	1.195.440 ha
Região Centro-Oeste:	201.760 ha

O Rio Grande do Sul é o Estado que tem maior área irrigada, com 998.800 ha representando 30% da área do Brasil. São Paulo vem em segundo lugar com uma área de 455.000 ha, Minas Gerais em terceiro com 293.400 ha, a Bahia em quarto com 168.210 ha, Santa Catarina em quinto com 134.340 ha e Goiás em sexto lugar com 116.500 ha (Lima et al., 2000).

Em termos governamentais, o primeiro programa de irrigação no Brasil foi em 1909 com a criação do Ministério da Viação e Obras Públicas e deu origem ao DNOCS- Departamento Nacional de Obras contra as secas com a construção de açudes, abertura de canais de irrigação, perfuração de poços e etc. O Ministério da Irrigação foi criado em 1987. Os projetos governamentais de irrigação foram criados por este ministério. Alguns programas governamentais de irrigação podem ser citados:

PPI- Programa Plurianual de Irrigação em 1969

PIN – Programa de Integração Nacional em 1970

PROVARZEAS – Programa Nacional para Aproveitamento Racional de Várzeas Irrigáveis. Final da década de 80 início de 90. O objetivo inicial era incorporar áreas de várzea ao sistema produtivo através de drenagem, com cultivo de soja e milho. No RS a maioria dos recursos foi utilizada para a sistematização de lavouras para cultivo de arroz. Subsídios para os agricultores (dinheiro a juros baixo) eram dados se eles se comprometessem a realizar diversas atividades (rotação de culturas, etc...).

PROFIR – Programa de Financiamento de Equipamentos de Irrigação. Final década 80 início 90. Programa específico de irrigação.

PRONI – 1986. Programa Nacional de Irrigação. Foi aplicado em terras altas, na compra de equipamentos para irrigação.

PROINE – 1986. Programa de Irrigação do Nordeste. Basicamente irrigação por aspersão e gotejamento. Programa do governo em parceria com a iniciativa privada. O governo ficava responsável pela transmissão e distribuição de energia elétrica e macrodrenagem (Christofidis, 1999).

FRUTICULTURA IRRIGADA – Programa atual caracterizado por irrigação em pequenas áreas nas regiões nordeste e sudeste.

Projetos contra a pobreza (SUDENE, DNOS, DNOC) – Região do Nordeste e Sertão de Minas, são irrigados cerca de 5000 ha; em Espinosa (Norte de Minas) irrigados 8.190 ha. Junto com o projeto de irrigação foi feito um programa de assentamento de agricultores. O retorno esperado é mais social que econômico.

A partir de 1995 foi criada a Política Nacional de Irrigação e Drenagem, que foi denominada de Projeto Novo Modelo da Irrigação (Christofidis, 1999).

Tabela 2. Área total, cultivada e irrigada em alguns países do mundo nos diferentes continentes (FAO yearbook production, 1998 v. 52-dados de 1997)

Continente	País	área total (mil ha)	área cultivada (mil ha)	área cultivada (%)	área irrigada (mil ha)	área irrigada (%)
ÁFRICA	TOTAL	3031169	199340	6,58	12314	6,18
	Egito	100145	3300	3,30	3300	100,00
	Madagascar	58704	3108	5,29	1090	35,07
	Marrocos	44655	9595	21,49	1251	13,04
	África do Sul	122104	16300	13,35	1270	7,79
	Sudão	250581	16900	6,74	1950	11,54
AMÉRICA DO NORTE E CENTRAL	TOTAL	2239062	268265	11,98	30552	11,39
	Canadá	997061	45700	4,58	720	1,58
	Cuba	11086	4450	40,14	910	20,45
	Guatemala	10889	1905	17,49	125	6,56
	México	195820	27300	13,94	6500	23,81
	República Dominicana	4873	1500	30,78	259	17,27
	USA	936352	179000	19,12	21400	11,96
AMÉRICA DO SUL	TOTAL	1786732	116186	6,50	9902	8,52
	Argentina	278040	27200	9,78	1700	6,25
	Brasil	854740	65300	7,64	3169	4,85
	Chile	75663	2297	3,04	1270	55,29
	Colômbia	113891	4430	3,89	1061	23,95
	Peru	128522	4200	3,27	1760	41,90
	Venezuela	91205	3490	3,83	205	5,87
ÁSIA	TOTAL	3174845	557581	17,56	187194	33,57
	Afganistão	65209	8054	12,35	2800	34,77
	Bangladesh	14400	8241	57,23	3693	44,81
	China	959696	135365	14,10	51819	38,28
	Índia	328759	169850	51,66	57000	33,56
	Indonésia	190457	30987	16,27	4815	15,54
	Iram	163319	19400	11,88	7265	37,45
	Iraque	43832	5540	12,64	3525	63,63
	Israel	2106	437	20,75	199	45,54
	Japão	37780	4295	11,37	2701	62,89
	Paquistão	79610	21600	27,13	17580	81,39
	Filipinas	30000	9520	31,73	1550	16,28
	Arábia Saudita	214969	3830	1,78	1620	42,30
	Síria	18518	5521	29,81	1168	21,16
	Tailândia	51312	20445	39,84	5010	24,50
	Turquia	77482	29162	37,64	4200	14,40
	Viet nan	33169	7202	21,71	2300	31,94
EUROPA	TOTAL	2298771	311214	13,54	24777	7,96
	Alemanha	35698	12060	33,78	475	3,94
	Dinamarca	4309	2373	55,07	476	20,06
	França	55150	19468	35,30	1670	8,58
	Grécia	13196	3915	29,67	1385	35,38
	Itália	30127	10927	36,27	2698	24,69
	Romênia	23839	9900	41,53	3089	31,20
	Federação Rússia	1707540	127962	7,49	4990	3,90
	Espanha	50599	19164	37,87	3603	18,80
	Ucrânia	60370	34081	56,45	2466	7,24
OCEANIA	TOTAL	856440	57856	6,76	2988	5,16
	Austrália	774122	53100	6,86	2700	5,08
	Nova Zelândia	27053	3280	12,12	285	8,69

Capítulo 2

Métodos de Irrigação

2. Métodos de Irrigação

Os métodos de irrigação são classificados em dois grandes grupos, superficiais e sob pressão. Cada um destes grupos tem diferentes sistemas de irrigação.

2.1 Superficiais

Também chamados de métodos de gravidade, pois a água é aplicada diretamente sobre a superfície do solo através da energia da gravidade se deslocando da cota maior para a cota menor do terreno.

Os componentes do sistema de irrigação por superfície são: fonte de suprimento d'água, canal adutor, canais principais e secundários, tomadas d'água, estruturas medidoras de vazão nos canais, unidades de irrigação.

Os tipos de irrigação por superfície são:

2.1.1 Sulcos

A distribuição da água é feita através de pequenos canais ou sulcos paralelos às fileiras das plantas. A água é derivada no início do sulco, por gravidade, a partir de um canal principal ou secundário através de sifões ou tubos janelados. Estes canais podem ser revestidos ou não. Conforme a água vai avançando pelo sulco, ela vai infiltrando-se. A vazão no início do sulco é maior que a vazão no final do sulco, por isso a vazão derivada deve ser tal que não exceda a vazão máxima erosiva, mas que seja suficiente para chegar às plantas no final do sulco. Este método é indicado para culturas em linha (milho, soja, feijão, árvores frutíferas). A irrigação por sulcos molha de 30 a 80 % da superfície do solo, diminuindo assim as perdas por evaporação, além de possibilitar a colheita logo após as irrigações (Salassier, 1989). Não é recomendada para solos com taxa de infiltração básica superior a 25 mm/h, pois ocorreriam perdas de água por percolação. Em solos com infiltração muito baixa podem ocorrer perdas por escoamento superficial e causar erosão. As vazões no sulco variam entre 0,2 e 2,0 l/s. A declividade do terreno no sentido do sulco deve ser inferior a 2%. O comprimento dos sulcos varia em média entre 50 e 300 metros, mas pode chegar entre 60 e 800 m (item 5.3.4). Solos mais argilosos, com menor taxa de infiltração, podem ser mais compridos. Para solos arenosos, com altas taxas de infiltração, recomenda-se sulcos curtos a fim de se reduzir a perda de água por percolação. A irrigação por sulcos admite as seguintes variações:

Sulcos retos → É o tipo mais comum. Declividades dos sulcos variam de 0 a 1% (Salassier, 1989).

Sulcos em contorno → Construídos com declividades até 2% na direção das curvas de nível, perpendicular ao terreno. Indicados para terrenos com declividade mais elevada (até 8%). Cuidados especiais devem ser tomados para os sulcos não transbordarem com a água da chuva, pois como eles são construídos em terrenos com declividade acentuada, podem causar erosão. Por isso eles tem uma seção transversal maior que os sulcos retos, para evitar o transbordamento da água da chuva. Mas este aumento de seção dificulta a passagem das máquinas agrícolas. São impróprios para regiões de chuvas intensas.

Sulcos corrugados → Sulcos muito pequenos construídos na direção da maior declividade do terreno a fim de direcionar o fluxo d'água sobre a superfície do solo. Podem ser feitos em terrenos uniformes com declividades até 15% (Salassier, 1989). Adaptam-se bem à culturas com alta densidade de plantio, como a pastagem, alfafa e forrageiras.

2.1.2 Inundação

A água é aplicada em faixas de terrenos delimitadas por taipas (diques). O contorno dos tabuleiros deve ter declividade zero. Pode ser necessário fazer a sistematização do terreno. Alaga-se o terreno de maneira uniforme permanecendo a água tempo suficiente para infiltrar até a profundidade explorada pelas raízes ou até a profundidade da camada impermeável do solo. Adapta-se à culturas que cubram toda a superfície do solo, como o arroz, forrageiras e alfafa. Para cultura do arroz, que a água deve ser

mantida por vários dias, deve existir uma camada de solo impermeável próximo a superfície, ou o lençol freático deve estar localizado próximo a superfície do solo para evitar perdas por percolação. O tamanho dos tabuleiros pode variar de 1 m², para hortaliças, até 5 ha em solos planos e argilosos, pois retém mais a água no solo. Quanto maior a capacidade de infiltração de água no solo, menor devem ser os tabuleiros, para facilitar a reposição de água de forma rápida e eficiente. Os diques obstruem o caminho das máquinas agrícolas. Este método não é aplicado à culturas sensíveis à saturação do solo.

2.1.3 Faixas

As faixas são semelhantes aos tabuleiros, porém são menores. Elas medem de 50 a 400 m de comprimento por 4 a 20 m de largura. A água é aplicada em faixas do terreno compreendidas entre diques paralelos com declividade zero. A declividade longitudinal é em geral menor que 2%.

2.2 Irrigação sob pressão

Existem dois tipos de irrigação sob pressão, o sistema de aspersão e o de gotejamento.

2.2.1 Aspersão

A aspersão destaca-se pela possibilidade de aplicação em terrenos com declividade maior que os métodos superficiais. Os componentes de um sistema de aspersão além dos mesmos para irrigação superficial (tomada d'água, canais adutor, principal e secundário) são: aspersores, acessórios (registros, curvas, redução, etc), bomba, tubulações. A água após ser captada da fonte de suprimento, passa por uma bomba que a liga a um canal adutor com um registro e manômetro para controle da pressão e da vazão, depois é ligada às tubulações que a transportam até as estruturas com aspersores na lavoura. Os aspersores molham as plantas sob a forma de chuva artificial. O diâmetro da gota deve ser tal que não cause prejuízo ao solo, não provocando erosão e que não cause prejuízo à cultura. Os aspersores podem ser estacionários ou rotativos, estes últimos podem ter giros parciais ou completos (360°).

O vento pode afetar consideravelmente o sistema de irrigação por aspersão, pois este interfere na distribuição da água que cai no solo, podendo deixar o solo mais úmido em alguns lugares e mais secos em outros. Uma alternativa é irrigar em horários que os ventos são menos intensos, a noite, por exemplo. O vento também aumenta a evaporação da água antes mesmo de atingir o solo, ocasionando uma perda de água e maior custo. A microaspersão é menos afetada pelo vento.

Os tipos de irrigação por aspersão são:

aspersão convencional móvel: os componentes (bomba, tubulação principal e secundária, e aspersores) podem ser mudados de local após a aplicação da água. Investimento inicial menor, mas maior mão de obra. Exige de 20 minutos a 1 hora para a movimentação do sistema. Há também o sistema convencional semi-móvel ou semi-fixo, que movimenta apenas parte dos equipamentos, as linhas laterais e aspersores, por exemplo, ou somente os aspersores.

Aspersão convencional fixa: o equipamento deve cobrir toda a área irrigada a um só tempo, não havendo necessidade de mudanças. O investimento é mais caro, mas economiza mão de obra, além de haver maior uniformidade na irrigação.

Montagem direta: O conjunto de equipamentos é colocado sobre um trator e leva-se até a área irrigada. É formado por um aspersor do tipo canhão hidráulico, acoplado à bomba hidráulica. O conjunto deve estar estacionado ao lado de um reservatório de água, captando-a por mangotes flexíveis. Se a área irrigada não estiver suficientemente próxima da fonte d'água, o conjunto pode usar uma extensão de tubos rígidos com o canhão na extremidade.

Autopropelido: Os aspersores além do movimento de rotação, efetuam um movimento de translação deslocando-se ao longo do terreno para irrigar toda a extensão da área. Para isso utiliza-se um aspersor montado sobre um veículo que se movimenta em linha reta automaticamente ao longo do campo, ligado ao sistema de distribuição d'água. O movimento é feito através da movimentação hidráulica de um carretel que irá enrolar um cabo de aço de comprimento equivalente ao da faixa a ser irrigada, fixado em uma âncora.

Pivô central → Consiste em uma linha de aspersores montada sobre armações metálicas com rodas (torres), tendo uma extremidade fixa em uma estrutura (pivô) por onde entra a vazão e a outra movendo-se continuamente em torno do pivô durante a aplicação da água. Os aspersores mantêm-se a uma altura entre 2,70 e 3,70 m do chão. As torres tem espaçamento e comprimento variável, dependendo do projeto. A velocidade do movimento de cada torre e o alinhamento é comandado por uma caixa de controle existente em cada torre. Há também uma caixa central de controle. A propulsão do pivô central é geralmente acionada por energia elétrica. Pode ser aplicado em declividades de até 30%. As pressões de serviço podem ser em torno de 6 ou 7 atm, podendo atingir até 15 atm.

Lateral rolante: A linha lateral é montada sobre rodas metálicas ou com pneus que permitem o deslocamento lateral do equipamento. A tubulação principal é fixa com tomadas d'água com espaçamento fixo, onde as laterais são ligadas. O movimento de rotação das rodas é feito por um mecanismo de propulsão com motor a gasolina ou a diesel e de transmissão hidráulica. Os aspersores são montados sobre o eixo das rodas (rolão) ou em um plano superior no topo de torres que são suportadas por rodas (sistema linear).

Microaspersão: Irriga o solo através de aspersores, mas de maneira direcionada para cada planta. A vazão operada é entre 70 e 120 l/h. A pressão de serviço é até 4 atm. As culturas mais apropriadas são aquelas em que o espaçamento entre culturas é grande, como as frutíferas em geral e em menor escala utilizadas para a floricultura. A microaspersão é também utilizada para a formação de mudas em geral. Como os equipamentos permanecem no campo, não é utilizada em culturas anuais. A tubulação é flexível e pode ser enterrada, com uma saída vertical (espaguete) ligada a um microaspersor no local planejado. A aplicação da água é feita somente na área em que a planta necessita, evitando perdas de água por evaporação, escoamento e percolação, pois apenas a área ao redor das plantas é molhada. Diminui o crescimento de ervas daninhas pois as áreas entre as plantas não são molhadas.

2.2.2 Gotejamento

A aplicação da água nas plantas é feita de forma localizada, constante, lenta e a baixa pressão (até 1 atm) através de gotejadores. Os gotejadores umedecem o solo através de pequenos orifícios de forma a permitir que apenas um reduzido volume de água seja fornecido à planta irrigada. A diferença principal entre o sistema de gotejamento e a aspersão é que os gotejadores utilizam pressão de serviço menor que os aspersores. Operam com vazões entre 0,5 e 1,0 l/h. Tanto no sistema de gotejamento como de microaspersão, há a possibilidade de instalar-se reservatórios de fertilizantes com válvulas que regulam a vazão de aplicação e filtros para diminuir os problemas de entupimento dos gotejadores e aspersores com materiais minerais (areia e argila) e orgânicos (algas, plantas, microorganismos) dissolvidos na água de irrigação. O sistema de filtros pode ser de areia, tela metálica ou disco, ou uma composição de diferentes tipos de filtros.

Capítulo 3

Critérios para seleção do método de irrigação

3. Critérios para Seleção dos Métodos de Irrigação

Vários são os fatores que devem ser levados em conta para a decisão de irrigar ou não e de qual método utilizar. A seguir veremos os fatores principais para a tomada de decisão:

- 3.1 Água
- 3.2 Solo
- 3.3 Cultura
- 3.4 Relevô
- 3.5 Mão-de-obra
- 3.6 Energia
- 3.7 Custo
- 3.8 Meio ambiente

3.1 ÁGUA

Quantidade de água

Para realizar a irrigação a água pode ser captada superficialmente ou do subsolo. Em ambos os casos é necessário estimar-se a vazão disponível para a irrigação. A fonte de captação d'água deve estar localizada o mais próximo possível da lavoura.

A água da superfície pode ser retirada de rios, lagos, reservatórios ou açudes. Existem alguns órgãos governamentais que são responsáveis pelas medições de vazão e crítica dos dados de vazão dos rios no Brasil (CPRM, ANEEL, Conselho Recursos Hídricos). Mas, em geral os dados referem-se a grandes rios. Para os rios menores é necessário medir-se a vazão ao longo do ano para conhecer a distribuição, mas são necessários alguns anos de coleta de dados, para trabalhar-se com uma série histórica e não recair no erro de trabalhar com um ano atípico muito seco ou muito úmido. Outra opção é trabalhar-se com regionalização de vazões. Através de estudos hidrológicos as bacias de comportamento semelhante são separadas e tem-se equações de vazão para cada bacia em função de características da bacia e da precipitação anual ou mensal.

O Rio Jacuí possui uma vazão média de $350\text{m}^3/\text{s}$ na época de irrigação (verão). Atualmente retira-se do Jacuí para irrigação do arroz $149\text{ m}^3/\text{s}$.

Em Araranguá, bacia hidrográfica de Mãe Luzia, cultivava-se 32.000 ha de arroz irrigado. Cinco anos depois, com o incentivo do PROVÁRZEA passou-se a cultivar 36.000 ha. O potencial de lavoura irrigável é de 67.000 ha. A água disponível possibilitaria irrigar somente 44.000 ha. Seria necessário fazer obras de regularização de vazões construindo reservatórios, seria inviável economicamente. Decidiu-se não irrigar o restante da lavoura potencialmente irrigável.

A quantidade de água disponível no sub-solo depende do substrato rochoso. No Rio Grande do Sul temos a presença do basalto em toda a bacia do rio Uruguai e do arenito no Atlântico Sul (litoral gaúcho). A água retirada do basalto tem uma vazão média de $10\text{ m}^3/\text{h}$, podendo atingir no máximo $40\text{ m}^3/\text{h}$. Já no arenito, a vazão é bem maior, $200\text{ m}^3/\text{h}$. O custo da captação de água do sub-solo (US\$ 20 a 30/m) é bem mais caro que a captação d'água superficial. Quanto mais profunda é a zona de captação, mais profundo deverá ser o poço e maior deve ser a potência da bomba. Existem aquíferos confinados (água sob pressão) e não confinados. Nos aquíferos confinados, o poço deve ter uma válvula para controlar a vazão. Nos aquíferos não confinados, a água é retirada com auxílio de moto-bombas.

Uma vez conhecida a vazão disponível compara-se com a vazão necessária para a irrigação. Se o balanço hídrico indicar que em determinada época é necessária a irrigação e se a vazão disponível for maior que a vazão necessária para irrigar determinada cultura em determinada região, então do ponto de vista do primeiro parâmetro, água, pode-se utilizar a irrigação. Se há pouca água disponível,

A seguir os assuntos consumo de água na irrigação e aproveitamento de água para irrigação serão abordados.

Consumo de água na Irrigação

A água consumida em irrigação no mundo representa cerca de 70 a 80% da água destinada para usos consuntivos (consumo doméstico, animal, industrial e irrigação), podendo chegar a quase 99% quando trata-se de arroz irrigado.

Um exemplo disto é ilustrado na tabela 3, que apresenta os consumos d'água nas diferentes sub-bacias da bacia do Rio Uruguai nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (figura 2). As sub-bacias G e F são as únicas que praticam irrigação em área significativa. O cultivo é o arroz. Nos meses de verão, quando inunda-se a lavoura, o consumo de água representa de 95 a 99% do consumo total de água nestas bacias. O consumo humano é entre 150 e 200 l/dias/pessoa enquanto 1 ha irrigado na lavoura de arroz é de 50.000 l/dia (tabela 3).

No Brasil atualmente os Estados estão se organizando para definirem critérios para outorga de água, ou seja, para decidir quanto de água cada usuário poderá captar de um rio.

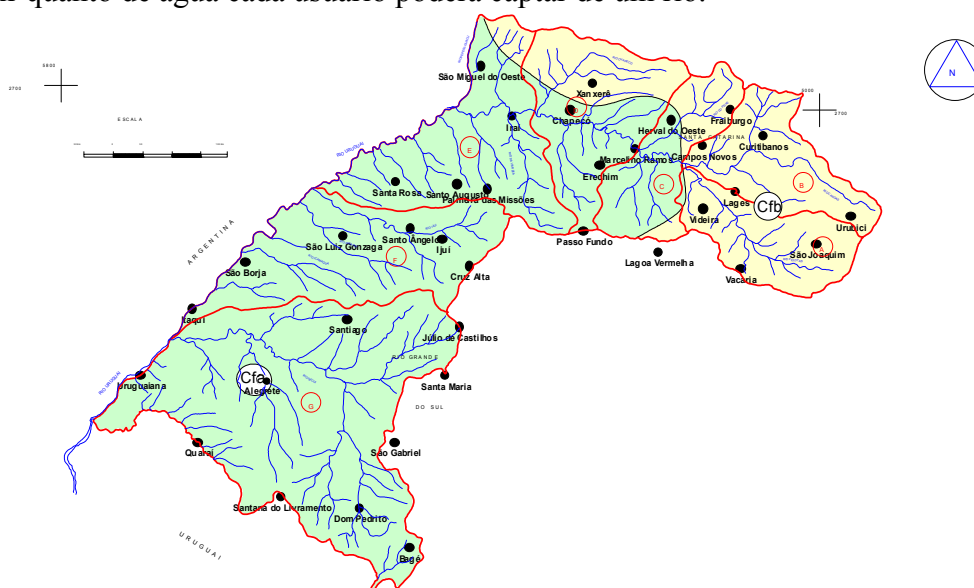


Figura 2. Sub-bacias da bacia do Rio Uruguai (Rio-Grande do Sul e Santa Catarina).

Tabela 3. Consumo de água total em hm^3 (humano + animal + industrial + irrigação) e percentagem da água consumida pela irrigação em relação ao total (sub-bacias G e F)

	A	B	C	D	E	F	G
Jan	0,8	4,5	6,3	13,6	24,4	528,2 (98,1 %)	1384,3 (98,8 %)
Fev	0,7	4,4	6,2	13,5	24,0	441,9 (97,7 %)	1155,9 (98,6 %)
Mar	0,7	4,6	6,1	13,1	23,4	182,5 (94,6 %)	471,0 (96,8 %)
Abr	0,7	4,4	6,0	13,0	23,2	9,6	14,2
Mai	0,7	4,4	6,0	13,0	22,9	9,4	13,6
Jun	0,7	4,1	5,9	12,7	22,3	9,1	12,9
Jul	0,6	4,0	5,8	12,8	22,0	8,9	12,3
Ago	0,7	4,0	5,9	12,8	22,4	9,0	12,9
Set	0,7	4,0	6,0	13,0	22,6	9,3	13,3
Out	0,7	4,1	6,1	13,2	22,8	9,5	14,0
nov	0,7	4,2	6,2	13,5	23,4	182,5 (94,6 %)	470,8 (96,8 %)
dez	0,7	4,4	6,2	13,5	23,6	441,7 (97,7 %)	1155,7 (98,6 %)

Aproveitamento de água para irrigação:

Como a água é cada vez mais valorizada no mundo em vários países a água começa a ser cobrada devido a escassez. Para uma economia de água pode-se aproveitar a água da chuva de telhados para pequenas lavouras ou para jardins. A água do telhado de uma estufa pode ser toda reaproveitada para suprir a irrigação das culturas cultivadas dentro da estufa.

Outra forma de aproveitamento de água, é a utilização de águas de esgoto doméstico ou pluvial previamente tratado. Há diversos casos no mundo com uma ótima eficiência. No Rio Grande do Sul, no município de Horizontina há um projeto em andamento desenvolvido pela CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento) e prefeitura de Horizontina para a canalização e tratamento do esgoto da cidade e disposição da água tratada para a irrigação. Além de permitir uma economia de água, há um aporte de nutrientes como fósforo e nitrogênio que beneficiam as culturas. O esgoto não mais será jogado ao rio beneficiando também o meio ambiente.

Qualidade d água

A qualidade de água é importante para a irrigação. Alguns fatores que devem ser considerados quanto a qualidade da água para irrigação são:

- Salinidade
- Toxidade
- Sedimentos
- Coliformes fecais

Salinidade:

O maior problema enfrentado pelos irrigantes é a salinização da água. A água salina é aquela que tem elevada concentração de sais, como o potássio, sulfato e cloro. Estes sais infiltram-se com a água e ficam armazenados no solo. Quando ocorre um movimento ascendente de água no solo, os sais são levados até a superfície do solo e causam problemas de salinização do solo. A planta desenvolvida em solo salino tem dificuldade de absorver os nutrientes. No Brasil, em regiões áridas e semi-áridas, a cada 100 ha novos irrigados, abandona-se 20 ha devido a este problema. No Rio Grande do Sul praticamente não há problemas de salinização. As áreas que eventualmente podem apresentar problemas são aquelas próximas ao litoral, onde a captação da água é feita da lagoa dos Patos e Mirim. Quando estas lagoas estão salinizadas, podem ocorrer problemas de salinização (IRGA, 1999). Uma maneira de minimizar o problema de solos salinos é de lixiviá-los através de aplicação de lâminas d'água sucessivas no solo. Desta maneira os sais infiltram com a água até maiores profundidades do solo. Mede-se a salinização da água através da condutividade elétrica da água. Quanto maior a condutividade elétrica da água, mais sais esta água contém.

Toxidade:

Os íons da água (cloreto, sódio, boro) são absorvidos pelas plantas e acumulados em seus tecidos causando danos, como queimaduras nas bordas das folhas reduzindo seu rendimento.

Sedimentos:

Os sedimentos também podem atrapalhar a irrigação, principalmente quando for irrigação por aspersão, por problemas de entupimento dos bicos aspersores. Deve-se procurar fontes de água sem muitos sedimentos. Se não houver outra alternativa, pode ser feita uma filtragem da água no momento da sua captação através de equipamento especializado (filtros acoplados às bombas).

Coliformes fecais:

A Organização Mundial da Saúde estipula para fins de irrigação e lazer: menos de 1000 organismos de cloriformes fecais para cada 100 ml de amostra.

3.2 SOLO

O tipo de solo é decisivo na escolha do método de irrigação. Existem dois critérios que devem ser levados em conta na escolha do método de irrigação:

Capacidade de infiltração da água no solo: É a capacidade que o solo tem de infiltrar mais ou menos quantidade d'água em um determinado intervalo de tempo (figura 3). Solos arenosos tem maior capacidade de infiltração que os argilosos. A curva de infiltração de água no solo é feita a partir de ensaios de campo através do método dos cilindros concêntricos (foto 1) ou de simulações de chuva. A infiltração do solo começa com uma taxa alta e vai diminuindo ao longo do tempo, conforme o solo vai ficando saturado até atingir uma taxa de infiltração constante, chamada também de taxa de infiltração básica. Trabalha-se com estes valores em irrigação. Se a capacidade de infiltração da água no solo for menor que a taxa de água aplicada, haverá escoamento superficial e consequentemente erosão. *Então utiliza-se sempre uma taxa de aplicação de água no solo (irrigação) igual ou menor à taxa de infiltração básica deste solo(tib).* Por outro lado, se a capacidade de infiltração for alta, poderá haver uma perda d'água por percolação, que se espalha além das zonas das raízes, fora do alcance das plantas, desperdiçando água. A variação dos valores da taxa básica de infiltração dos solos é enorme. Para o mesmo solo “Pelotas”, foi determinado pelo IPH 112 ensaios com 3 repetições. Os valores variaram de 0,7 a 25,1 mm/h. A média foi de 3,2 mm/h. 50% dos valores situaram-se entre 1,22 e 2,97 mm/h. 25% acima de 2,97 mm/h. Esta variação é devido a própria variação espacial do solo, mas também devido a imprecisão do método.

Os métodos recomendados segundo a capacidade de infiltração são:

acima de 25 mm/h → aspersão, gotejamento ou microaspersão. Irrigação por sulcos ou inundação seria inviável pois necessitaria de muita quantidade de água devido as perdas por percolação.

Entre 12,5 e 25 mm/h → qualquer tipo de irrigação. Restrições para valores próximos a 12,5 mm/h para aspersão e acima de 20 mm/h para inundação.

Abaixo de 12,5 mm/h → irrigação de superfície (inundação e sulcos) são recomendados pois estes solos “gastam” pouca água. Aspersão e gotejamento também podem ser usados.

Capacidade de retenção da água no solo: É a capacidade que o solo possui de armazenar água no seu interior (figura 4). É determinado principalmente pela textura do solo e teor de matéria orgânica nele presente. Após uma chuva, parte da água que infiltrou-se fica retida nos poros do solo, outra parte é ou pode ser percolada. Esta parte que fica retida nos poros e está localizada ao alcance da zona das raízes é aos poucos consumida pelas plantas, até um estágio onde as plantas não mais conseguem absorvê-la, pois toda a água restante permanece firmemente presa nos poros do solo. A partir daí, se não ocorrer outra chuva a planta começa a murchar (ponto de murcha). Solos de textura argilosa possuem maior capacidade de reter água que os solos arenosos. A água fica mais facilmente retida e armazenada entre os poros menores (argila) que entre os poros maiores (areia). A irrigação deve ser mais frequente em solos arenosos pois estes possuem menos água armazenada e disponível para as plantas. A curva de retenção de água no solo é feita através de coleta de solo indeformado e ensaio com as placas de pressão em laboratório (foto 2). Essa curva tem 3 pontos característicos, limite hídrico inferior (**LHI**), capacidade de campo (**CC**) e a umidade de saturação (**SAT**). O LHI, limite hídrico inferior, é obtido com tensões altas de solo. Estas tensões variam para cada cultura. Este é o limite em que as raízes conseguem absorver a água do solo. A CC, capacidade de campo, é obtida com tensões baixas, de 0,3 atm para solos argilosos e 0,1 atm para solos arenosos. É quando após uma chuva, toda a água do solo foi drenada por gravidade. Para retirar água do solo para tensões superiores a este ponto, é necessário a raiz aplicar uma sucção no solo. A SAT, umidade de saturação é atingida quando o solo está saturado, com todos os poros preenchidos pela água. A água disponível (**AD**) para a planta é a diferença de umidade do solo correspondente aos pontos CC e LHI. Há mais água disponível para a planta nos solos argilosos que nos arenosos.

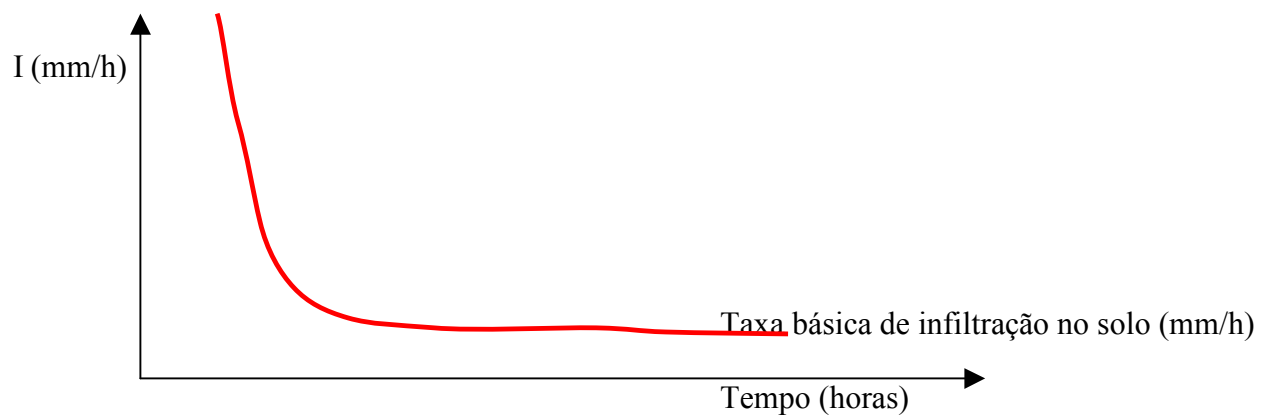


Figura 3 – Curva de infiltração

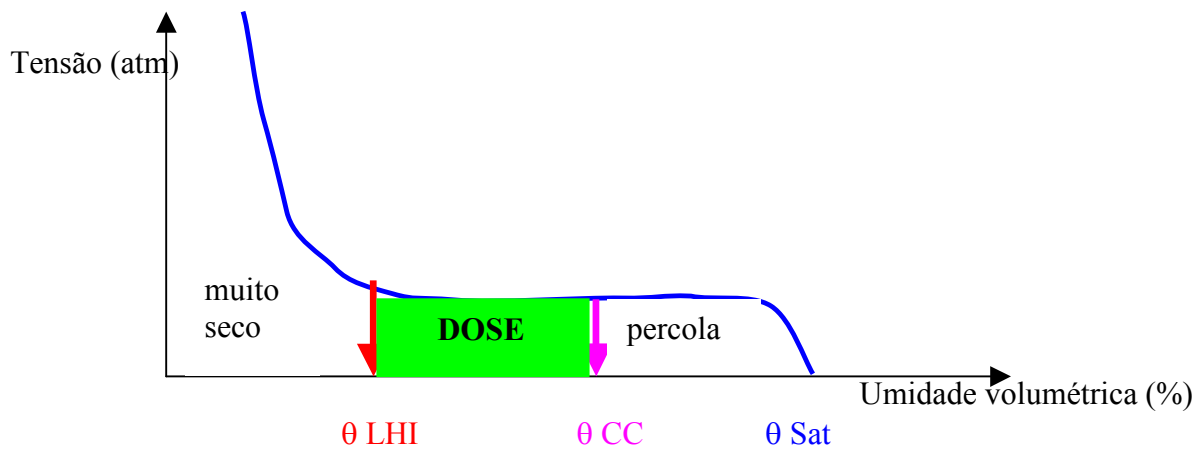


Figura 4 – Curva de retenção de água no solo



Foto 1 – ensaio dos cilindros concêntricos
(para obtenção curva infiltração – fig. 3)



Foto 2 – Ensaio das placas de pressão
(para obtenção curva armazenamento – fig. 4)

Cálculo da dose e turno de irrigação

A partir da curva de retenção de água no solo e de dados da granulometria do solo e do limite hídrico inferior da cultura calcula-se a dose de irrigação líquida. A dose bruta será calculada em função da eficiência do método de irrigação utilizado. O turno de irrigação é a frequência que deve-se irrigar e é calculado em função da dose líquida e da evapotranspiração real da cultura.

$$\text{Dose líquida} = (\theta_{cc} - \theta_{lhi}) \times p$$

onde, θ_{cc} = umidade volumétrica correspondente a capacidade de campo

θ_{lhi} = umidade volumétrica correspondente ao Limite Hídrico Inferior da Cultura

p = profundidade do sistema radicular (mm)

$$\text{Dose bruta} = \text{Dose líquida} / \text{Eficiência do método de irrigação}$$

$$\text{Turno} = \text{Dose líquida} / ET_{\text{real diária}}$$

$$ET_{\text{real diária}} = ETP \times Kc$$

ETP = Evapotranspiração potencial (mm/dia)

Kc = coeficiente de cultivo

Sendo que ETP varia de acordo com o clima da região a longo do desenvolvimento da cultura e k_c também varia ao longo do ciclo da cultura.

3.3 CULTURA

O manejo da irrigação deve considerar a fase de crescimento da cultura, o calendário de tratamento fitossanitário, a qualidade da cultura. Um controle ótimo do açúcar pode ser obtido em função da maior ou menor irrigação na época adequada. A irrigação também favorece o cultivo de uma planta na época de seca que permite a cultura de determinado produto fora de época garantindo melhor preço no mercado.

O método de irrigação deve levar em conta a tolerância da cultura à água e à seca.

O método de inundação, por exemplo, adapta-se muito bem para a cultura do arroz que suporta bem a presença de uma lâmina d'água, além de evitar invasoras. As outras culturas, não suportam uma lâmina d'água por muito tempo.

O método de aspersão, espalha a água no solo simulando uma chuva natural. As condições de umidade são constantemente mantidas, favorecendo o aparecimento de fungos e pragas. Culturas delicadas como plantas ornamentais, flores e frutíferas, não suportam os respingos da água em suas folhas. Neste caso poderia ser utilizada a micro-aspersão ou gotejamento. Esta também evita o aparecimento de pragas e fungos devido a umidade excessiva no caule das plantas provocada pelos respingos da aspersão convencional.

O método de sulcos é muito utilizado para culturas de grande porte, como a bananeira e o coqueiro.

3.4 RELEVO

Relevos planos (0 a 1%): é possível aplicar qualquer tipo de irrigação.

Relevos com declividade entre 2 e 6% - sulcos e aspersão

Relevo com declividade acentuada em uma ou várias direções: irrigação por aspersão ou gotejamento. Cuidados devem ser tomados para não causar erosão. O pivô central pode ser aplicado em declividades até 30%.

Pode ser feito o aplainamento do solo. As máquinas fazem cortes e jogam o aterro em outros locais previamente planejados. Para aplainar 1 ha, movimentando-se 6 cm de terra, movimenta-se no total 600 m³ de terra. O custo da terraplanagem é de U\$ 0,7/m³, o que resulta em U\$ 420/ha.

3.5 MÃO DE OBRA

A quantidade e qualidade da mão de obra disponível no local que deseja-se fazer irrigação é muito importante na escolha do método. Quanto mais mecanizado o método, menos quantidade de mão de obra é necessário e menos experiência pode ter o operador. Por exemplo, o método de irrigação por aspersão fixa necessita de poucos operadores, somente para ligar e desligar as bombas nos momentos certos e para manutenção. Um homem opera até 15 ha de aspersão convencional e até 1000 ha de microaspersão ou pivô central. Já para operar um sistema de irrigação por sulcos, é necessário o operador ter sensibilidade, prática e rapidez. Teoricamente é necessário 1 homem para 10 ha (com 100 sulcos por ha), mas é necessário ter muita prática para sifonar rapidamente os vários sulcos existentes na lavoura e para fazer o controle da vazão em cada sulco. Para operar um sistema de irrigação com o método de inundação é necessário 1 homem para 50 ha.

3.6 ENERGIA

A disponibilidade de energia também é importante na escolha do método. A maioria dos sistemas utiliza a energia elétrica. Os métodos superficiais consomem menos energia que os pressurizados. Por isso, sempre deve-se tomar cuidado para ligar as bombas a noite, no período em que a energia elétrica é mais barata. Em regiões muito distantes das regiões centrais pode não haver energia elétrica e deve-se optar por energia alternativa, como o diesel. O motor diesel é bem mais caro que o motor elétrico correspondente. O motor elétrico tem maior vida útil que o diesel, funcionando 15 anos contra 5 ou 6 anos para o motor diesel. Por outro lado, o motor diesel tem uma maior mobilidade que o motor elétrico, permitindo que ele seja deslocado facilmente a vários pontos da tomada d'água.

Uma comparação dos custos para bombeamento de água para irrigação utilizando motor elétrico e a diesel foi feita para vários Estados do Brasil por Rocha et al. (2001). Os autores concluíram que o motor elétrico é mais econômico de 37 a 42% que o motor a diesel.

O cata-vento pode retirar água de um poço recalcando-a até reservatórios situados em cotas superiores, depois a água é distribuída para irrigação, por efeito da gravidade.

O aerogerador é um dispositivo que gera energia elétrica através de uma turbina eólica e um gerador. Para este dispositivo são necessários ventos de 25 a 30 km/h.

3.7 CUSTO

O custo total da irrigação é alto para o investimento inicial. Uma vez instalados os equipamentos, o custo de manutenção não é muito elevado. Gasta-se mais com a energia para manter o sistema em funcionamento. O consumo médio mensal de energia elétrica para pequenos e médios irrigantes (motores de até 100 cv) é de 1.359 kwh enquanto que para os grandes irrigantes é de 9.816 kwh. De maneira geral, o custo da irrigação representa de 12 a 21% do valor total gasto com o cultivo de uma lavoura. Uma pesquisa realizada no IRGA em dezembro de 1999 indica que a Irrigação na cultura de arroz no Rio Grande do Sul é o item de maior custo (R\$ 178,72 /ha – **13 % do custo total**). Nesta pesquisa, o segundo maior gasto é com a terra arrendada, que é (R\$145,23 /ha - 10,6 %). O custo total é de R\$1372,26/ha.

Em geral, os métodos superficiais têm custo entre 400 e 1235 US\$/ha. Os métodos pressurizados têm um custo entre 450 a 1500 US\$/ha, sendo que de 450 a 860 US\$/ha para montagem direta ou auto-propelido, 1000 a 3000 US\$/ha aspersão fixa e aproximadamente 1000 US\$/ha para pivô central.

Os custos de manutenção dos métodos superficiais são mais elevados que os de manutenção dos métodos pressurizados.

3.8 MEIO AMBIENTE

A primeira coisa que deve-se levar em conta é se a área que deseja-se irrigar não é uma área de preservação ambiental (APA) ou que não prejudique uma reserva próxima à área irrigada. É o caso da

reserva ecológica do Taim no Rio Grande do Sul. A irrigação nos municípios de Rio Grande e Santa Vitória do Palmar é realizada retirando água da lagoa Mirim. Esta lagoa interfere na quantidade de água do banhado, que é uma área de preservação. Logo, em épocas de seca, a água retirada para irrigação pode afetar o banhado e toda a fauna e flora que deveriam ser preservadas. O IPH realizou um trabalho para avaliar o impacto causado pela irrigação no banhado do Taim. Algumas recomendações foram feitas aos agricultores recomendando a suspensão da irrigação quando o banhado atingisse um determinado nível que prejudicaria a fauna e flora do banhado. Atualmente (ano de 2003) vem sendo realizadas discussões entre o IBAMA e a associação dos irrigantes desta região para definirem uma estratégia que não prejudique o banhado nem os irrigantes.

A irrigação mal feita pode causar ainda erosão no solo com problemas de perda de solo fértil, nutrientes, e assoreamento de rios e reservatórios.

Outro impacto da irrigação é a salinização dos solos causada pela utilização de água salina. A salinização causa degradação do solo e abandono da área irrigada.

Capítulo 4

Critérios para seleção do método de irrigação²

² baseado em Gomes, H.P. (1997).

4. Irrigação por aspersão

4.1. Vantagens e Desvantagens do sistema de irrigação por Aspersão

Vantagens:

- não exige sistematização do terreno : economia
- mantém a fertilidade natural do solo: não lixivia
- pode ser empregada em qualquer tipo de solo, mesmo os com altas taxas de infiltração
- terrenos com qualquer declividade (até 30%)
- permite a aplicação de defensivos e de fertilizantes
- permite uma maior economia de água : eficiência de 70 a 95%
- elimina (praticamente) as perdas por condução
- permite a irrigação durante à noite : economia energia elétrica
- praticamente não prejudica a aeração do solo, resultando em melhor desenvolvimento radicular
- é fácil de ser implantada em plantações permanentes já estabelecidas

Desvantagens:

- requer mão de obra habilitada
- exige bombeamento para atingir a pressão de serviço: gastos de energia
- propicia uma evaporação mais intensa. Minorado com irrigação noturna (menor temperatura e menos vento)
- impacto das gotas nas flores e frutos pode :
 - propagar doenças
 - prejudicar polinização
 - queda flores e frutos no início desenvolvimento
 - causar erosão no solo
 - pode lavar os defensivos aplicados na parte aérea
- chuvas desuniformes (vento > 4 m/s), minimiza com irrigação a noite
- custo inicial elevado
- entupimento dos aspersores. Minimiza com filtros

4.2. Componentes do sistema

Bomba: motor elétrico, diesel ou gasolina

Tubulações: tubulação de adução, tubulação de distribuição (linhas principais e laterais). Comprimentos fixos de 6m. Para sistemas convencionais móveis utiliza-se encaixes com engates rápidos e boa vedação (sem roscas nem colas). Para sistemas convencionais fixos utiliza-se juntas para união dos tubos. Estas juntas podem ser flexíveis ou rígidas (soldas, cola ou parafusos).

Os tipos de materiais mais utilizados nas tubulações são: PVC (cloreto de polivinil), polietileno, cimento amianto, aço galvanizado, alumínio.

- PVC. Diâmetros menores que 300 mm. Baixo peso (economia em transporte e melhor manejo), baixa rugosidade das paredes do tubo. Os engates de PVC não têm grande resistência. Uma alternativa é usar tubos de PVC com engates de aço galvanizado.

- Polietileno. Tubulações flexíveis, uso limitado a diâmetros inferiores a 50 mm por questão econômica. Mais resistentes e fáceis de manejar que os de PVC. Empregados em microaspersão e gotejamento.
- Cimento amianto. Diâmetros entre 250 e 800 mm. Rompem-se com facilidade quando submetidos a impactos.
- Aço galvanizado e alumínio. Os de alumínio são mais leves que os de aço, mais resistentes à corrosão, mais caros e menos resistentes aos choques externos. Problema de esquentar muito com o sol, sendo necessário luvas para manejá-los.

Derivações: registros, curvas e cotovelos (mudança de direção das tubulações, podendo ter ângulos internos de 45°, 60° e 90°), Tê (une duas linhas de tubulação em forma de ‘T’, como a conexão da linha principal à lateral), redução (une um tubo de diâmetro maior com outro de diâmetro menor), cruzeta (une duas linhas de tubulação em forma de cruz), tampão (utilizado para tapar os trechos finais das linhas laterais e principais).

Aspersores: peças principais do sistema de irrigação por aspersão. Operam sob pressão, lançam o jato d’água no ar. Este é fracionado em gotas caindo no solo em forma de chuva. Eles podem ter giros completos (360°) ou parciais (90°, 180°). A velocidade de rotação é baixa (de 1 a 2 rotações por minuto). A pressão de serviço do aspersor varia de 0,2 a 15 atm. A pressão de serviço não é cumulativa na linha. A pressão no aspersor 1 será igual a pressão no aspersor 10 menos a perda de carga ao longo da linha. Diferente da vazão, que é cumulativa. Os aspersores podem ter 1 ou 2 bocais com diversos diâmetros. Quanto maior o diâmetro do bocal, maior o Raio de alcance do aspersor. A tabela 4 quadro abaixo mostra uma classificação dos aspersores quanto a sua pressão de serviço e algumas características.

Tabela 4 - Classificação dos aspersores quanto a pressão de serviço

Classe	Ps (m.c.a.)	No. bocais	Raio de Alcance (m)
Micro pressão	4 < Ps < 10	1	5 < R < 10
Baixa pressão	10 < Ps < 20	1	6 < R < 12
Média pressão	20 < Ps < 40	1 ou 2	12 < R < 36
Alta pressão	40 < Ps < 80	1 ou 2	36 < R < 60
Canhão	50 < Ps < 100	1 ou 2	40 < R < 140

4.3 Características dos aspersores

4.3.1 Vazão (Q)

$$Q = CdxS\sqrt{2gh}, \text{ onde:}$$

Q = vazão do aspersor (m³/s)

Cd = coeficiente de descarga do bocal do aspersor (0,65 a 0,95)

S = Área da seção transversal do bocal ($S = \pi d^2/4$, d = diâmetro do bocal em m)

G = 9,8 m/s²

h = pressão de serviço (m.c.a)

4.3.2 Raio de Alcance (R)

$$R = 1,35x\sqrt{dh}, \text{ onde:}$$

R = raio de alcance do aspersor (m)

d = diâmetro do bocal (mm)

h = pressão de serviço do aspersor (m.c.a.)

4.3.3 Pulverização (Pd, Ip)

Chuva normal tem gotas com diâmetros entre 0,1 e 1 mm

Tormentas têm gotas com diâmetros > 3 mm

Em irrigação por aspersão as gotas mais finas caem próximo ao aspersor.

65% R → $0,5 < d < 2$ onde, R = Raio de alcance, d = diâmetro das gotas de chuva

35% R → $d > 2$

Índice de Tanda (1957) (Pd)

$$Pd = \frac{h}{(10xQ)^{0,4}} \quad \text{onde, } h = \text{pressão de serviço do aspersor (m.c.a.)}$$

Q = vazão do aspersor (l/s)

Quanto maior o Pd menor o tamanho das gotas

$Pd > 4$ → pulverização excessiva (gotas muito finas)

$2 < Pd < 4$ → pulverização adequada

$Pd < 2$ → gotas muito grossas

Índice de pulverização (Ip)

$$Ip = \frac{d}{h} \quad \text{onde, } d = \text{diâmetro do bocal (mm)}$$

h = pressão de serviço do aspersor (m.c.a.)

Quanto maior o Ip maior o tamanho das gotas

Segundo Lozano (1965)

$Ip < 0,3$ gotas finas : flores, hortaliças, algodão, fumo

$0,3 < Ip < 0,5$ gotas médias: frutíferas

$Ip > 0,5$ gotas grossas: milho, forrageiras

4.3.4 Índice de eficiência (Oelher, 1964) (Ie)

$$Ie = \frac{R}{h} \quad \text{ou} \quad \text{onde: } R = \text{alcance do aspersor}$$

$$Ie = 1,35\sqrt{Ip} \quad \text{h = pressão de serviço do aspersor (m.c.a.)}$$

Ip = índice de pulverização

Em termos econômicos quanto maior R maior Ie para uma determinada Pressão de serviço do aspersor.

Mas, quanto maior Ie maior o Ip (gotas são mais grossas).

Uma alta eficiência do aspersor compromete a qualidade de irrigação devido a as gotas muito grossas.

Ie varia entre 0,4 e 1,0 .

Ideal Ie entre 0,7 e 0,8 (economia e qualidade de irrigação).

4.3.5 Índice de precipitação (I) (intensidade de precipitação, taxa de aplicação da dose)

Convencional - distribuição dos aspersores retangular

$$I = \frac{Q}{(S_1 \times S_2)}, \quad \text{onde: } I = \text{m/s}$$

Q = vazão do aspersor (m^3/s)

S_1 = espaço entre os aspersores (m)
 S_2 = espaço entre as linhas laterais (m)

Convencional - distribuição dos aspersores triangular

$$I = \frac{Q\sqrt{3}}{1,5 \times S_1^2}$$

Pivô central:

$$I = \frac{(D+1)^2 - D^2}{(L+Rc)^2} \times 985,25 \times Q, \quad \text{onde: } Q = \text{vazão do sistema}$$

D = distância entre aspersores

Di = diâmetro irrigado pelo aspersor

L = comprimento da barra

Rc = raio de alcance

4.3.6 Índice de erodibilidade (Romano, 1958) (I_d)

$$I_d = \frac{n}{I^2}, \quad \text{onde: } n = \text{número de rotações do aspersor por hora}$$

I = Intensidade precipitação (mm/h)

$I_d < 1 \rightarrow$ problemas de erosão

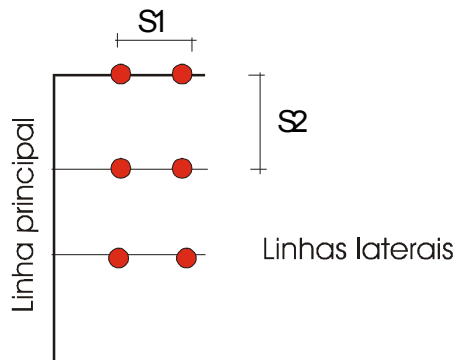
Define a intensidade máxima de precipitação para não causar erosão.

Para escolher um aspersor para um projeto de irrigação deve-se considerar algumas características:

- Índice de precipitação < tbi solo
- Índice de pulverização adequado a cultura
- Índice de eficiência ideal

4.4 Distribuição dos aspersores

A distribuição de um aspersor é desuniforme. A precipitação é mais concentrada no local do aspersor,



no centro da área molhada. Por isso, devemos superpor as áreas molhadas pelos aspersores, para uniformizar mais a precipitação que chega ao solo.

As disposições dos aspersores podem ser quadradas ($S_1 = S_2$), retangulares e triangulares. Dependendo do espaçamento entre aspersores (S_1) e linhas laterais (S_2), cada aspersor terá uma área molhada diferente.

Para uma uniformidade aceitável da precipitação os seguintes espaçamentos são recomendados:

Disposição	S_1 (distância entre aspersores, m)	S_2 (distância entre linhas, m)
Quadrada	$R\sqrt{2}$	$R\sqrt{2}$
Retangular	R	1,3 R
Triangular	$R\sqrt{3}$	1,5 R

A disposição retangular é usada para corrigir o efeito do vento. Dispõem-se as linhas laterais perpendiculares a direção predominante do vento. O vento tende a dar um formato elíptico à área molhada do aspersor. Diminui-se então o espaçamento entre os aspersores para compensar.

4.5 Espaçamentos convencionais dos aspersores

O comprimento dos tubos comercializados é de 6 metros. Por isso os espaçamentos utilizados são múltiplos de 6, para evitar o corte das tubulações.

Espaçamentos : $S_1 \times S_2$

Pequenos espaçamentos: 6x6, 6x12

Médios espaçamentos: 12x12, 24x24

Grandes espaçamentos: 24x30, 24x36, 30x30, 30x36, ...

Pequenos espaçamentos: boa uniformidade de precipitação, baixa pressão de serviço, baixo consumo de energia, em compensação mais mão de obra para deslocar as linhas laterais (convencional móvel) e maior investimento inicial em tubulações e aspersores.

Grandes espaçamentos: Menor uniformidade de precipitação, maior pressão de serviço, alto consumo em energia, em compensação necessita de menos mão de obra e menor gasto com tubulações.

Médios espaçamentos: São mais empregados na prática.

Espaçamentos recomendados em função da pressão de serviço do aspersor (Clément-Galant, 1986).

Espaçamento (m)	Pressão de serviço (m.c.a.)
6 x 6	15
12 x 12	20
18 x 18	25
24 x 24	30
30 x 30	35
42x42	40

Catálogo dos fabricantes

Os fabricantes de aspersores fornecem catálogos com características técnicas de cada tipo de aspersor. Em função do diâmetro do bocal e da pressão de serviço, as características se modificam (Q , R , P , $S_{1 \times S_2}$). Quanto maior a Pressão de serviço do aspersor (h), maior o alcance, maior a vazão.

4.6 Grau de uniformidade de Precipitação (Coeficiente de precipitação ou Coeficiente de Christiansen, 1942 – Cuc)

$$Cuc = 100x \left\{ 1 - \frac{\sum |xi - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right\} (\%) \quad \text{onde,}$$

Cuc = coeficiente de uniformidade de precipitação (%)

xi = altura das precipitações (mm)

$\bar{x}$ = média das alturas das precipitações (mm)

n = número de observações

$$xi = \frac{\text{volume}}{\text{área}} \quad \text{volume} = \text{volume de água captado no pluviômetro (mm}^3\text{)}$$

área = área do bocal do pluviômetro (mm²) = $A = \pi d^2/4$, sendo d = diâmetro do bocal do pluviômetro

Valores aceitáveis $85\% < Cuc < 95\%$ $Cuc < 80\%$: aceitáveis para culturas de raízes longas, com chuva no período de irrigação

Segundo Pillsbury e Degan (1968) o Cuc pode ser aceitável para diferentes espaçamentos das plantas:

Espaçamento entre plantas (m)	cuc (%) mínimo
0 – 2	85
2 – 4	80
4 – 6	75
6 – 8	65

4.7. Eficiência de Irrigação

Dose bruta: Precipitação que aplica-se na área.

Dose líquida: Precipitação que é armazenada no solo e pode ser aproveitada pelas plantas.

Dose bruta = Dose líquida + Perdas

Dose bruta = Dose líquida/eficiência do sistema

A dose bruta é sempre maior que a dose líquida pois ocorrem perdas

Perdas durante a aplicação: interceptação vegetal, evaporação direta das gotas da chuva antes de atingirem o solo, escoamento superficial, percolação, ...

Perdas por condução: vazamentos nas linhas

A eficiência do sistema de irrigação por aspersão varia entre 60 e 95%.

60% Irrigação durante o dia em regiões semi-áridas (alta evaporação)

75% Irrigação durante o dia em regiões de clima moderado

90% Irrigação a noite (minimiza perdas por evaporação)

95% Irrigação por microaspersão e gotejamento

4.8 Distribuição das linhas laterais

A distribuição das laterais deve ser feita considerando vários fatores.

Topografia: condição principal. As linhas laterais devem ser paralelas as curvas de nível, para evitar diferença grande de pressão na linha, devido as perdas de carga, evitando assim desuniformidade de precipitação.

Comprimento máximo da linha lateral: Ajusta-se o comprimento das linhas laterais de modo a obter-se as menores perdas de carga.

declividade descendente: O ganho de energia por diferença de cota tende a compensar as perdas de carga ao longo da linha. Em geral podem ser linhas mais compridas que as de declividade ascendente.

declividade ascendente: Laterais menores pois haverá uma perda de energia por diferença de cota que será somada as perdas de carga ao longo da linha.

Critério de projeto: perda de carga máxima em uma linha menor ou igual a 20% da pressão de serviço requerida pela linha.

Para uma distribuição uniforme das Pressões ao longo da linha, adota-se o critério de aumentar a pressão (+ 25%) no início da linha e diminui-se no final da linha (-25%). Desta forma a linha terá pressão ideal no meio.

Geometria da parcela: Preferencialmente adotar parcelas retangulares para facilitar o manejo da irrigação.

Direção predominante do vento: As linhas laterais devem estar dispostas na direção perpendicular ao vento, para favorecer a uniformidade de irrigação.

Direção das fileiras das plantas: As plantas devem ser cultivadas na direção paralela as laterais para facilitar o deslocamento dos condutos portáteis.

Ponto de tomada d'água: O ponto de tomada d'água deve ser preferencialmente no interior da parcela quando a irrigação é feita somente nesta parcela, ou fora das parcelas, em posição intermediária quando a irrigação é feita em várias parcelas.

4.9 Dimensionamento das laterais e linhas principais

As tubulações (linhas) têm a função de transportar e abastecer em cada tomada d'água a vazão de projeto à pressão adequada para irrigação em cada aspersor, já posicionado.

4.9.1 Conceitos básicos:

Duas equações básicas de hidráulica sem condutos fechados são necessárias para o dimensionamento das linhas laterais e principal: equação da continuidade e equação de Energia.

Equação da continuidade: $Q = A_x V = \text{cte}$ ao longo do conduto, onde:

Q = vazão (m^3/s)

A = área da seção transversal do conduto ($A = \pi d^2/4$), d = diâmetro do

Conduto (m^2)

V = Velocidade da água dentro do conduto (m/s)

Utiliza-se o critério da velocidade máxima da água dentro da tubulação igual a 2,5 m/s.

Equação de energia em um ponto 1 na tubulação: $H_1 = P_1/\delta + z_1 + v_1^2/2g$, onde:

H_1 = energia total em um ponto no conduto = (m.c.a)

z_1 = energia potencial (altura “ z ” do ponto 1 até um plano de referência)

$v_1^2/2g$ = energia cinética (v = velocidade da água em m/s)

4.9.3 Cálculo da perda de carga (hp 1-2)

Existem perdas lineares e localizadas ao longo da tubulação.

Perda de carga linear: Várias equações são utilizadas para o cálculo da perda de carga linear em tubulações. Vamos utilizar aqui a equação de Hazen-Willians:

Equação de Hazen-Willians (Jlinear) (utiliza-se para $D > 75$ mm e $Q > 3$ l/s)

$$J_{\text{linear}} = 10,66 \times 1/(D)^{4,87} \times (Q/C)^{1,852}, \text{ onde: } J_{\text{linear}} = \text{perda de carga linear (m/m)}$$

D = diâmetro da tubulação (m)

C = coef. atrito função tipo material

D é obtido pela equação da continuidade e o critério da velocidade máxima de 2,5 m/s.

Q é a vazão que passa na tubulação.

Tabela dos coeficientes de atrito, segundo fórmulas de Hazen, Manning e Scobey

Material da tubulação	C
Polietileno	150
PVC	145
Cimento amianto	140
Alumínio	130
Aço galvanizado	125
Concreto liso	130
Concreto comum	120
Ferro fundido novo	130
Ferro fundido 15 anos	100

Critério f de correção da perda de carga linear.

Sabe-se que a vazão ao longo da linha lateral varia. No início ela é maior (igual a vazão do aspersor vezes o número de aspersores na linha) e vai diminuindo ao longo da linha pois a vazão vai sendo utilizada por cada aspersor. Como a perda de carga é diretamente proporcional à vazão e por consequência, à velocidade que passa na tubulação (ver equações de perda de carga), a perda de carga também varia ao longo da linha lateral. Quanto menor a vazão ou a velocidade, menor a perda de carga. Com base nisso, deveria-se calcular uma perda de carga para cada trecho da tubulação entre dois aspersores, considerando-se vazões diferentes. A perda de carga total seria o somatório da perda de carga de cada trecho. Para simplificar, calcula-se somente uma perda de carga entre o início e o final da linha e corrige-se com um coeficiente “f” em função do número de aspersores ao longo da linha. Este coeficiente é tabelado para cada fórmula (Hazen, Manning e Scobey). A perda de carga linear corrigida na linha lateral será:

$$hp_{\text{linearLateral}} = J_{\text{linear}} \times L \times f, \quad \text{onde: } L = \text{comprimento da tubulação (m)}$$

f = coef. de correção da perda de carga (tabelado em função do número de aspersores na linha lateral)

Para a linha principal utiliza-se o f, porém com o número de linhas laterais irrigadas simultaneamente.

Perda de carga localizada ou singular (hplocalizada)

$h_p \text{ localizada} = \theta k_{1x} (v^2/2g)$, onde k_1 = coef. de perda de carga correspondente a peça considerada (tabelado)

v = velocidade média do fluxo a jusante da peça (m/s)

Quando a irrigação é móvel, coloca-se mais 25% para considerar a perda dos engates.

Perda de carga total (hpt):

$$h_{pt} = h_p \text{ linear} + h_p \text{ localizada}$$

CRITÉRIO 2 DE PROJETO: Para garantir uma boa uniformidade de precipitação na área irrigada, a perda de carga total + o desnível geométrico ΔZ não podem exceder a 20% da pressão de serviço do aspersor.

$$(h_{p1-2} + \Delta Z) < 20\% \text{ Os}$$

4.9.4 Cálculo da pressão na linha principal (PLP)

Utilizando-se o mesmo raciocínio do cálculo da pressão na linha lateral, calcula-se a pressão na linha principal pela mesma fórmula anterior, porém não considera-se a altura do aspersor pois já foi considerada no cálculo da PIL

$$PLP = PIL + (h_{p1-2} \pm \Delta h)$$
, onde PLP = pressão na linha principal (m.c.a)

PIL = pressão no início da lateral (m.c.a)

h_{p1-2} = perda de carga total na tubulação principal entre dois trechos

(pontos 1 e 2).

Δh = desnível da tubulação principal(m)

Capítulo 5

Irrigação por Sulcos³

³ baseado em Salassier, (1989)

5 Irrigação por sulcos

5.1 Introdução

A irrigação por sulcos conduz a água na quantidade necessária às plantas, através de canais paralelos às fileiras das plantas, durante o tempo necessário para que a dose estabelecida seja armazenada na zona radicular ao longo de todo o sulco. O movimento da água não é constante, pois a água vai se infiltrando ao longo do sulco. A vazão no início do sulco é maior que no final do sulco. Nesse método há necessariamente uma perda de água por percolação no início do sulco para que a água chegue ao final do sulco e então a dose seja aplicada.

A água pode ser conduzida até a lavoura através de canais revestidos ou não, ou tubulações. Durante a condução da água ocorrem perdas por percolação, se o canal não for revestido, ou por evaporação direta quando a água está exposta as condições atmosféricas.

Uma vez a água na lavoura, a irrigação é feita através de sulcos paralelos às fileiras das plantas. Estes sulcos podem ter diversas características: forma da seção transversal, espaçamento, declividade e comprimento, em função da textura e estrutura do solo, da cultura e dos equipamentos disponíveis. Os sulcos em culturas anuais são refeitos a cada ano. Em culturas permanentes é feita uma manutenção nestes sulcos para restabelecer suas condições iniciais de forma, declividade, rugosidade, permitindo assim uma boa uniformidade de irrigação ao longo do sulco.

Este sistema é praticado intensamente nos Estados Unidos da América (EUA). 65% da área irrigada deste país utiliza irrigação superficial. Destes 65%, 70% é irrigação por sulcos. Já no Brasil, que irriga uma área de 3.169.000 ha (FAO, 1998), um terço desta área (1.000.000 ha) encontra-se no RS com irrigação do arroz por inundação contínua e menos de 20% da irrigação no Brasil utiliza o método de sulcos. Os Estados que mais utilizam sulcos são Bahia, Norte de Minas Gerais, com frutíferas (banana, côco) totalizando uma área entre 300 e 400.000 ha. Culturas em linha, como soja, milho, feijão, sorgo são também indicadas para este método de irrigação.

5.2 Vantagens e Desvantagens do sistema de irrigação por Sulcos

Vantagens:

- menor custo de implantação (US\$ 100 a US\$ 200/ha) que o método de aspersão (US\$ 750 a 1000/ha),
- operação não é afetada pelo regime de ventos,
- utiliza menos energia que irrigação pressurizada ,
- não interfere nos tratamentos fitossanitários (não molha as folhas evitando problemas de doenças),
- menor perdas por evaporação em relação a irrigação por inundação. Os sulcos têm uma área molhada superficial de 30 a 80% da lavoura, enquanto que o método de inundação molha 100% oferecendo uma área maior para a evaporação,
- não tem problemas de formação de crostas na superfície do solo devido ao impacto das gotas de chuva, como o método de aspersão,
- os sedimentos na água não causam problemas de entupimento como no caso de aspersão.

Desvantagens:

- requer mais mão de obra,
- é limitado pela declividade do terreno,
 - sulcos retos – declividade do terreno < 2%
 - sulcos em contorno – declividade do terreno < 8%
 - sulcos corrugados – declividade do terreno < 15%

- variabilidade das condições de infiltração ao longo do sulco: infiltra mais no início que no final do sulco,
- problemas com solos com elevadas taxas de infiltração: a água demora muito para chegar ao final do sulco pois vai infiltrando no início. Muita perda por percolação
- excesso de sedimentos na água pode causar assoreamento nos sulcos, exige maior manutenção. Os sedimentos quando finos podem causar um selamento nos sulcos diminuindo a infiltração.

5.3 Características dos sulcos

5.3.1 Forma dos sulcos:

A forma dos sulcos depende da textura e estrutura do solo, vazões a serem transportadas, cultura e equipamentos disponíveis.

Solos de textura argilosa e com estrutura bem arranjada tem uma seção transversal mais uniforme pois ela não se deforma com facilidade. Já solos de textura arenosa e estrutura não arranjada, apresentam maiores problemas de deformações da seção ao longo do sulco. A seção pode passar de triangular para parabólica, por exemplo.

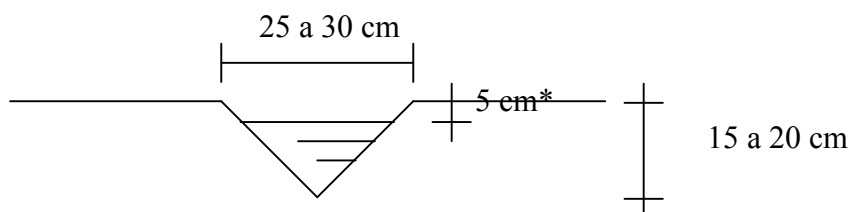
Solos com baixas taxas de infiltração exigem sulcos com base mais larga e menos profundos (parabólico ou trapezoidal), aumentando o perímetro molhado do sulco e a área de infiltração.

Vazões maiores a serem transportadas exigem sulcos de seção transversal também maiores, como a seção trapezoidal e a parabólica.

Culturas de sistema radicular profundo exigem solos com sulcos mais profundos permitindo assim que a água umedeça o solo em toda a zona das raízes.

Os sulcos podem ter três formas: triangulares, parabólicos ou trapezoidais. Eles podem ter diversas dimensões em função do solo e da cultura. Algumas dimensões são abaixo referenciadas (Salassier, B. 1989).

a) sulcos triangulares: São os mais comuns e os mais fáceis de serem mantidos.

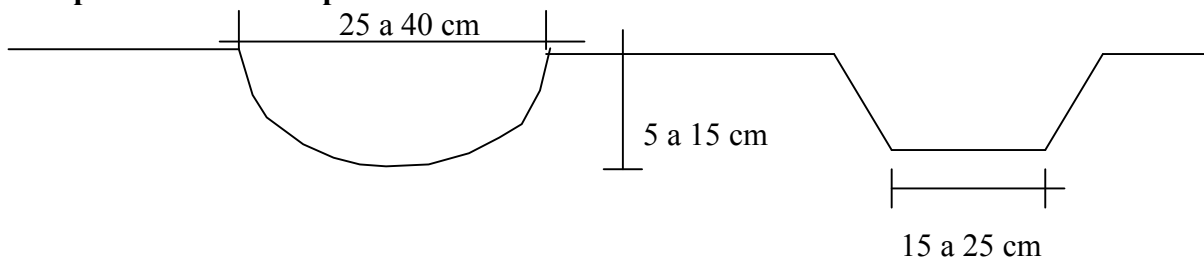


*5 cm de bordo livre para evitar transbordamento da água

Este tipo de sulcos podem conduzir vazões até 3 l/s

sistema radicular raso: profundidade dos sulcos de 10 a 15 cm

b) sulcos parabólicos ou trapezoidais :



Este tipo de sulcos pode conduzir vazões superiores a 3 l/s

Pomares: largura da base em torno de 60 cm

5.3.2 Espaçamento dos sulcos:

O espaçamento dos sulcos depende da cultura, do tipo de equipamento nos tratos culturais, do perfil de umedecimento do solo e da largura do sulco. O movimento lateral da água entre os sulcos adjacentes deve umedecer toda a zona radicular antes de umedecer abaixo desta zona (percolar). Para definir um espaçamento ideal observa-se o umedecimento do solo através de trincheiras após a infiltração. Mantém-se a vazão por diferentes tempos até estabelecer o melhor espaçamento entre os sulcos e o melhor tempo de aplicação da vazão.

5.3.3 Declividade dos sulcos:

Sulcos com grande declividade promovem grande velocidade da água no sulco, conseqüentemente podem provocar erosão no sulco. Em sulcos sem declividade, a água infiltra mais no início do sulco, as perdas por percolação são maiores. A escolha da declividade mais adequada depende do tipo de solo e regime de precipitações. Solos argilosos são menos erodíveis que os arenosos, por isso permitem declividades maiores. Em regiões com chuvas intensas os sulcos devem ter menor declividade para evitar erosão.

5.3.4 Comprimento dos sulcos:

Os sulcos muito longos ou muito curtos têm inconvenientes. Os sulcos longos têm maior perda por percolação, menor uniformidade de irrigação, maior a possibilidade da água das chuvas acumular-se causando erosão. Os sulcos curtos requerem maior mão de obra, maior custo de manutenção, maior perda de área de cultivo com a construção de canais de condução, maior a dificuldade de mecanização. Alguns fatores devem ser considerados na escolha do comprimento do sulco:

- *forma e tamanho da área:* Para facilitar o manejo o comprimento dos sulcos deve ser igual em toda a área, desta maneira a vazão e o tempo de aplicação da vazão serão os mesmos para todos os sulcos. Se a área é pequena, o comprimento do sulco deve ser igual ao comprimento de um dos lados da lavoura. Se a área é grande, o comprimento dos sulcos deve ser submúltiplo do comprimento total da área. Exemplo área de 800 metros, 4 sulcos de 200 metros.
- *tipo de solo:* solos argilosos → sulcos podem ser mais longos pois a taxa de infiltração é menor resultando em menor perda por percolação,
- solos arenosos → sulcos mais curtos devido a maior percolação.
- *declividade:* terrenos com grande declividade devem ter sulcos mais curtos para evitar erosão.
- *cultura:* culturas com sistema radicular profundo podem ter sulcos mais longos pois a maior quantidade de água que está infiltrando no início do sulco será aproveitada pelo sistema radicular da cultura.

Comprimento máximo do sulco:

Método de Criddle – O comprimento máximo do sulco deve ser um comprimento tal que permita um tempo de avanço da água até o final do sulco igual a $\frac{1}{4}$ do tempo necessário para aplicar a lâmina d'água desejada no sulco.

Booher recomenda comprimentos dos sulcos segundo a textura, lâmina média de irrigação aplicada e declividade do sulco (tabela 5).

Tabela 5. Comprimento máximo dos sulcos em metros, segundo Booher (Salassier, B. 1989)

Declividade (%)	Textura fina				Textura média				Textura grossa			
	Lâmina de irrigação aplicada (mm)											
	7,5	15	22,5	30	5	10	15	20	5	7,5	10	12,5
0,05	300	400	400	400	120	270	400	400	60	90	150	190
0,1	340	440	470	500	180	340	440	470	90	120	190	200
0,2	370	470	530	620	220	370	470	530	120	190	250	300
0,3	400	500	620	800	280	400	500	600	150	220	280	400
0,5	400	500	560	750	280	370	470	530	120	190	250	300
1,0	280	400	500	600	250	300	370	470	90	150	220	250
1,5	250	340	430	500	220	280	340	400	80	120	190	220
2,0	220	270	340	400	180	250	300	340	60	90	150	190

Estes são métodos para estimar o comprimento do sulco. O ideal seria determinar o comprimento do sulco através de testes realizados no terreno que deseja-se irrigar, fazendo sulcos de diversos comprimentos e testando a distribuição da água no sulco e o perfil de umedecimento do solo através de trincheiras ao longo do sulco.

5.3.5 Recomendações de forma, declividade e comprimento de sulcos segundo alguns autores.

Tabela 6. Recomendações segundo Salassier, B. (1989).

tipo	reto	em contorno	corrugados
forma	triangular	triangular ou parabólico	triangular ou parabólico
declividade usável	0,02 a 15		até 15%
declividade aconselhável	0,05 a 0,5%	0,5 a 2%	0,5 a 12%
declividade ideal	0,1%	1%	1 a 2%
comprimento	100 a 500 m	70 a 150 m	30 a 180 m
uso	cultivo em fileiras	plantio em curvas de nível	culturas de alta densidade: pastagem, trigo, aveia
observação		+ profundos que os retos devido a maior declividade	pequenos sulcos de 10 cm profundidade, espaçados de 40 a 75 cm no sentido do declive. Q máx=0,5 l/s

Tabela 7. Recomendações segundo Grassi

culturas	textura	declividade do terreno (%)	declividade do sulco (%)	profundidade do sulco (m)	Comprimento do sulco (m)
	argilosa	até 8	0,5 a 2,0	15 a 20	180 a 250
anuais	franco	5	0,3 a 1,5	10 a 15	120 a 180
	arenosa	3	0,2 a 1,0	7 a 10	60 a 120
perenes	argilosa	15	0,3 a 1,5	15 a 20	120 a 180
	arenosa	10	0,2 a 1,0	10 a 15	60 a 120

5.4 Infiltração da água nos sulcos

Quando o solo está seco o potencial matricial de água no solo é máximo e o movimento da água no solo se dá igual em todas as direções, em forma de semi-círculo. Conforme o solo vai ficando úmido, o potencial matricial vai diminuindo até tornar-se zero quando o solo está saturado. Nestas condições de solo saturado, o movimento da água dá-se principalmente na direção vertical de cima para baixo, pois como o potencial matricial torna-se nulo, o potencial gravitacional é o que governa o movimento.

O movimento da água no solo diferencia-se segundo a textura do solo (tabela 8). Em solos arenosos o potencial matricial de água no solo é menor que em solos argilosos, o solo é saturado mais rápido, o movimento dá-se preferencialmente na direção vertical bem mais rápido que nos solos argilosos, onde o movimento da água é em todas as direções.

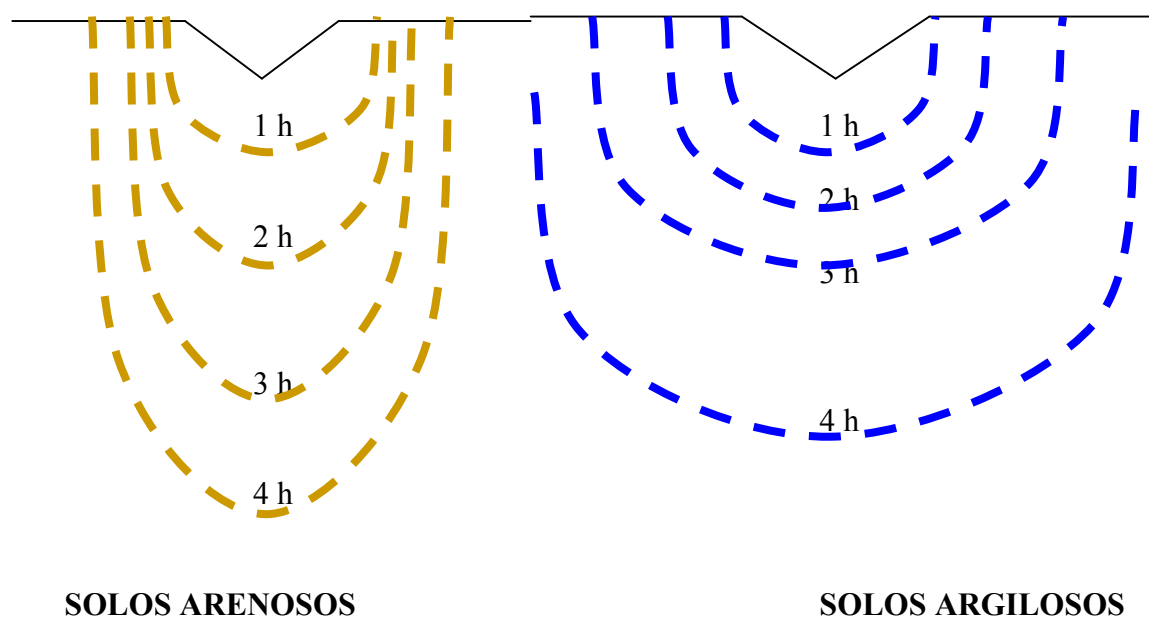


Figura 8. Infiltração da água nos sulcos segundo a textura do solo

5.5 Vazões e velocidades nos sulcos

A vazão aplicada nos sulcos pode ser de dois tipos: constante ou com redução de vazão. Neste último caso são aplicadas duas vazões: uma máxima não erosiva e uma vazão reduzida. Aplica-se inicialmente

a vazão máxima não erosiva no sulco até a frente de avanço da água chegar ao fim do sulco, quando corta-se esta vazão e aplica-se a vazão reduzida até o final da irrigação. Este tempo de aplicação da vazão reduzida deve ser tal que permita que a lâmina final infiltrada no fim do sulco seja igual a dose que foi calculada.

- Vazão máxima não erosiva: vazão máxima que o sulco pode transportar sem transbordar e sem causar erosão no sulco.
- Vazão reduzida: a vazão mínima capaz de manter todo o comprimento do sulco com água, durante o tempo necessário para aplicar a dose desejada, no final do sulco, sem que haja escoamento superficial no final do sulco.

Vazões maiores que a máxima não erosiva → causam erosão no solo

Vazões menores que a reduzida → não chegam ao final do sulco, infiltram antes.

Há duas velocidades da água no sulco:

- Velocidade de deslocamento lateral da água no sulco (Vla-figura 1): É a velocidade com que a água avança superficialmente ao longo do sulco. Esta velocidade depende da vazão aplicada no sulco, da capacidade de infiltração do solo, da declividade, rugosidade e comprimento do sulco.
- Velocidade de deslocamento vertical no sulco (Vva – figura 1). É a velocidade de infiltração da água no sulco. Esta velocidade depende basicamente das características do solo (textura e estrutura) e ela pode ser estimada por diferentes métodos à campo. Uma das maneiras mais utilizadas é o método dos cilindros, mas não é o mais indicado para avaliar a velocidade de infiltração no sulco. O método mais eficiente para estimar este valor é medindo-o diretamente no sulco. Mede-se a vazão no início e no final do trecho através de calhas previamente calibradas em laboratório, com um valor de altura de água encontra-se a vazão correspondente. A diferença entre a vazão no início e no final do trecho corresponde exatamente a vazão que infiltrou neste trecho. Dividindo-se esta vazão pela área molhada superficial do trecho considerado encontra-se a velocidade de infiltração no trecho. Utiliza-se esta velocidade para determinação da vazão reduzida.

5.5.1 Cálculo da vazão máxima não erosiva (Qmáx.) segundo Gardner em função da textura do solo e da declividade.

$$Q_{máx} = \frac{C}{S^a} \quad \text{onde,}$$

C, a = coeficientes em função da textura

S = declividade do solo em %

Qmáx= vazão máxima não erosiva em l/s

Tabela 9. Coeficientes da equação de Gardner (Hamad, fonte Salassier, 1989)

textura	C	a
Muito fina	0,892	0,937
Fina	0,988	0,550
Média	0,613	0,733
Grossa	0,644	0,704
Muito grossa	0,665	0,548

Em geral, deriva-se a vazão máxima não erosiva para o sulco através de sifões. Para derivar a vazão a campo, utiliza-se sifões de diâmetros conhecidos. Através das equações de hidráulica de orifícios, estima-se a altura “h”, que é a altura da lâmina d’água (carga hidráulica) acima da saída d’água no sifão (figura 1)

$$Q_{\max} = CA\sqrt{2gh}$$

Elevando-se os dois termos da equação ao quadrado, para eliminar-se a raiz quadrada, obtém-se:

$$(Q_{\max})^2 = (CA\sqrt{2gh})^2 \rightarrow \left(\frac{Q_{\max}}{CA}\right)^2 = 2gh \rightarrow h = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q_{\max}}{CA}\right)^2 \text{ onde,}$$

Q = vazão (m³/s)

h = carga hidráulica em m

A = área da seção transversal do sifão = $\pi d^2/4$, d = diâmetro do bocal do sifão em m

C = coeficiente de descarga

g=9,8 m/s²

5.5.2 Cálculo da vazão reduzida (Qred.)

O cálculo da vazão reduzida se faz a partir de dois ensaios de campo: a curva de avanço da água no sulco aplicando-se a vazão máxima não erosiva, e o ensaio de infiltração da água no solo obtido através dos cilindros concêntricos. Com os dados desses ensaios, calcula-se a vazão infiltrada em cada trecho do sulco. A soma da vazão infiltrada em cada trecho é a vazão reduzida. No item 5.6 todas as etapas para o cálculo são descritas.

Através da carga hidráulica “h” e do diâmetro do sifão “d” (figura 5) regula-se a vazão desejada para ser aplicada ao sulco (vazão máxima não erosiva ou a vazão reduzida).

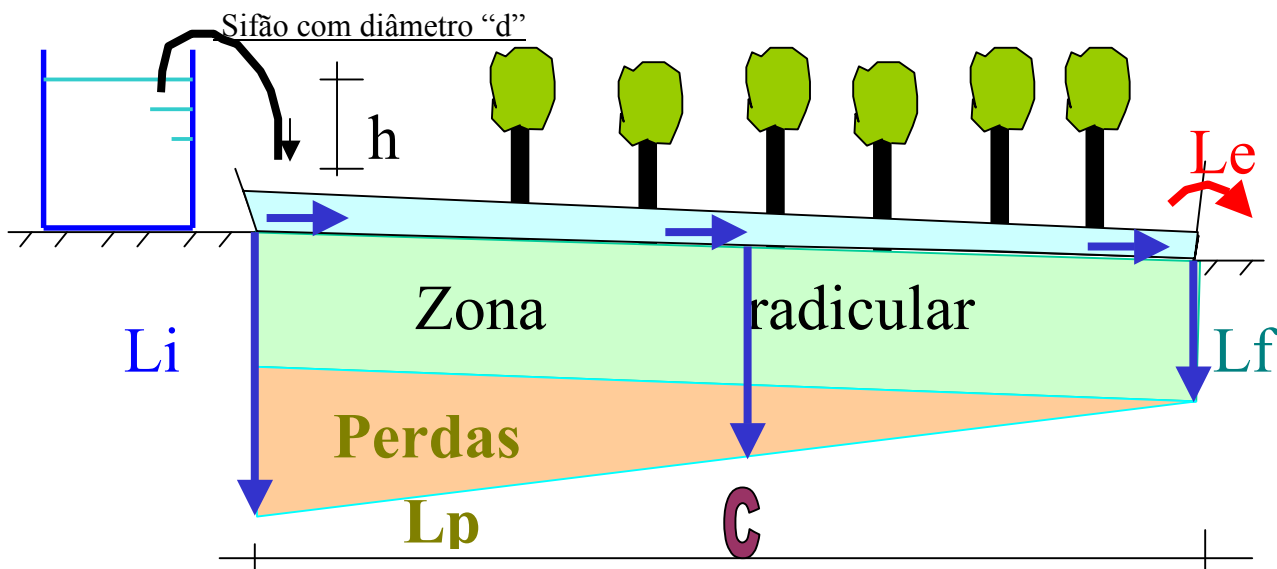


Figura 5. Corte longitudinal de um sulco

5.6 Curva de Avanço da água no sulco e cálculo da vazão reduzida

A curva de avanço da água no sulco é determinada à campo e relaciona o tempo que a água leva para percorrer uma determinada distância no sulco.

Etapas da determinação da curva de avanço da água no sulco e da vazão reduzida.

- No campo, construir o sulco com as características determinadas no projeto (forma, declividade, comprimento, rugosidade),
- colocar estacas para marcar o avanço da água a cada 10, 20, 30 ou 40 metros
- aplicar a vazão máxima não erosiva na cabeceira do sulco, proposta por Gardner,
- anotar o tempo que a frente de avanço leva para chegar em cada estaca ao longo do sulco, até o final do sulco,
- com os dados de distância entre as estacas e tempo que a água leva para atingir estas estacas, construir a curva de avanço da água no sulco,
- calcular a velocidade de infiltração da água no sulco ($V_i = nt^m$), onde n e m são parâmetros do solo que podem ser estimados a campo através de ensaios de infiltração (método dos cilindros ou pela medição de vazão no sulco com calhas), t é o tempo de oportunidade que a água tem de infiltrar no sulco (cada trecho do sulco terá um tempo diferente, logo uma velocidade diferente) e V_i é a velocidade de infiltração.
- multiplicar esta velocidade de infiltração de cada trecho pela área superficial de cada trecho obtendo-se assim a vazão que infiltrou em cada trecho. O somatório da vazão infiltrada em cada trecho do sulco corresponde a vazão reduzida que deve ser aplicada ao sulco.

Este método prevê que toda a vazão aplicada infiltre ao longo do sulco de maneira que não ocorra escoamento superficial no final do sulco. Esta vazão reduzida é aquela que garante que não haja escoamento superficial no fim do sulco, pois a água será totalmente infiltrada ao longo do trecho, mas garantindo que a água chegue no final do sulco. Aplica-se esta vazão por tempo suficiente para que toda a dose desejada seja aplicada no final do sulco.

5.7 Curva de Recessão da água no sulco

A curva de recessão da água no sulco é o acompanhamento do tempo de desaparecimento da água ao longo do sulco após a vazão aplicada (vazão reduzida) ter sido cortada. Imediatamente após o corte de água no início do sulco, parte da água que ainda está dentro do sulco infiltra-se e outra parte movimenta-se em direção ao fim do sulco. O tempo que a água leva para desaparecer (infiltrar) no início do sulco é zero na cabeceira e máximo no fim do sulco. Desde o momento em que a água é cortada no início do sulco até o tempo que a água leva para desaparecer, a água ainda está sendo infiltrada no final do sulco.

Para o cálculo do tempo de aplicação da vazão reduzida este tempo de recessão deveria ser considerado no final do sulco, mas na prática não é feito pois além de ser mais difícil visualmente sua determinação, é um tempo relativamente curto se comparado com o tempo de avanço da água no sulco.

5.8 Lâminas nos sulcos

A lâmina infiltrada ao longo do sulco depende do tempo que a lâmina aplicada tem para se infiltrar ao longo do sulco (tempo de oportunidade de infiltração-to, figura 1) e da quantidade de lâmina aplicada no sulco (dose bruta). Este tempo depende por sua vez da declividade, comprimento e rugosidade do sulco.

A lâmina infiltrada em qualquer posição ao longo do sulco obedecerá a seguinte equação:

$$Li = at^b \quad \text{onde,}$$

a e b são coeficientes em função do solo
 T = tempo de oportunidade de infiltração no ponto considerado
 Li = lâmina infiltrada acumulada

Como o tempo de oportunidade de infiltração varia ao longo do sulco a lâmina infiltrada também varia. Esta lâmina será máxima no início do sulco e mínima no final do sulco. Para evitar perdas por escoamento superficial e para garantir que a cultura no final do sulco obtenha a quantidade ideal de água, a lâmina infiltrada no final do sulco deve ser equivalente a dose de irrigação, nem mais nem menos. A figura 5 representa as lâminas ao longo do sulco.

5.8.1 Lâmina infiltrada no início do sulco (L_i):

$L_i = at^b$ sendo "t", o tempo de oportunidade de infiltração. "t" = tempo de aplicação da vazão máxima não erosiva (ou tempo de avanço da água no sulco = t_a) + o tempo de aplicação da vazão reduzida (t_{red}).
 $t = t_a + t_{red}$

5.8.2 Lâmina infiltrada no fim do sulco (L_f).

A lâmina infiltrada no fim do sulco também pode ser calculada com a equação anterior, bem como a lâmina infiltrada em qualquer ponto ao longo do sulco, a única diferença será o tempo de oportunidade de infiltração "t" para cada ponto considerado ao longo do sulco. Mas esta lâmina infiltrada no fim do sulco deve ser igual a dose calculada em função do tipo de solo e da cultura, então considera-se $L_f = \text{Dose}$

5.8.3 Lâmina Total aplicada no sulco (L_t).

Multiplicando-se a vazão aplicada no sulco (m^3/s) pelo tempo de aplicação desta vazão (s) obtém-se o volume de água aplicada no sulco (m^3). Dividindo-se este volume aplicado no sulco (m^3) pela área molhada superficialmente do sulco ($C_x L$ em m^2) obtém-se uma altura de água (m) que é a lâmina média de água aplicada no sulco.

Há duas maneiras de calcular esta lâmina: para vazão constante ao longo do sulco e para vazão reduzida.

Lâmina total aplicada no sulco para vazão constante: Considera-se a vazão constante (q_c) e o tempo total (T_t) de aplicação da lâmina.

$$L_t = \frac{T_t q_c}{C_x L} \quad \text{onde:}$$

L_t = Lâmina total aplicada no sulco (m)

q_c = vazão constante aplicada (m^3/s)

C = comprimento do sulco (m)

L = largura da faixa umedecida pelo sulco = espaçamento entre os sulcos (m)

T_t = tempo total de aplicação da vazão constante (s)

Lâmina total aplicada no sulco para vazão reduzida: considera-se as duas vazões, a máxima não erosiva (Q_{max}) e a reduzida (Q_{red}) e dois tempos de aplicação dessas vazões, o tempo de avanço (t_a) da água no sulco quando foi aplicada a vazão máxima não erosiva e o tempo em que foi aplicada a vazão reduzida (t_r).

$$\text{com redução de vazão: } L_t = \frac{((T_a \times Q_{max}) + (T_r \times Q_{red}))}{C_x L} \quad \text{onde,}$$

L_t = lâmina total aplicada no sulco (m)

Q_{max} = vazão máxima não erosiva (m^3/s)

Q_{red} = vazão reduzida (m^3/s)

T_a = tempo de aplicação da vazão máxima não erosiva = tempo de avanço (s)

T_r = tempo de aplicação da vazão reduzida (s)

$T_t = T_a + T_r$

5.8.4 Lâmina percolada (Lp).

A lâmina percolada corresponde aquela água que foi perdida por percolação. Entende-se por percolação toda a água que infiltrou, mas não foi armazenada pelo solo pois este atingiu sua capacidade de campo. Esta água pode contribuir para a recarga dos aquíferos ou para o escoamento de base dos rios. A percolação é máxima no início do sulco, pois neste ponto há maior tempo de oportunidade de infiltração e mínima ou nula no final do sulco. Se admitirmos uma distribuição uniforme ao longo do

sulco, a lâmina percolada será:
$$Lp = \frac{Li - Lf}{2}$$

Percentagem percolada (Pp) :
$$Pp = \frac{Lp}{Lt} \times 100$$

5.8.5 Lâmina escoada (Le).

A lâmina escoada, se houver, corresponde aquela água que foi perdida por escoamento superficial no final do sulco e é igual a:

$$Le = Lt - (Lf + Lp)$$

Percentagem escoada (Pe):
$$Pe = \frac{Le}{Lt} \times 100$$

5.9 Eficiência do sistema de irrigação por sulcos

O método de irrigação por sulcos gera perdas de água através de percolação no início do sulco e de escoamento no final do sulco.

Se em um sulco projeta-se vazões muito pequenas para serem transportadas, o tempo para a água chegar até o final do sulco será grande, aumentando o tempo de oportunidade de infiltração no início do sulco, gerando percolação e desuniformidade de irrigação ao longo do sulco (muita água no início do sulco e pouca no final).

Se as vazões projetadas são muito grandes, pode ocorrer escoamento superficial no final do sulco, causando erosão e perdas de água.

Quanto menores forem as perdas por percolação e escoamento, maior será a eficiência do sistema. Existem três tipos de eficiência no sistema de irrigação: eficiência de condução, de distribuição e de aplicação.

5.9.1 Eficiência de condução (Ec).

As perdas de água ocorrem entre a captação d'água (bomba) e a entrada na parcela de irrigação. As perdas podem ocorrer de diferentes fontes: vazamentos nos condutos, evaporação direta se a água é transportada através de canais abertos, percolação se os canais não forem revestidos.

$$Ec = \frac{Va}{Vd} \times 100$$
, onde: Ec = eficiência de condução (%)

Va = volume d'água aplicado na área de irrigação (m³)

Vd = volume d'água derivada para irrigação (m³)

Esta eficiência é importante em projetos onde a distância da captação d'água até a parcela de irrigação é grande, principalmente em regiões quentes e com solos de alta taxa de infiltração, se os canais não forem cobertos nem revestidos.

A menor eficiência admitida é de 90%.

5.9.2 Eficiência de distribuição (Ed).

Refere-se a uniformidade de infiltração ao longo do sulco. Não considera perdas de água, mas sim uniformidade de distribuição de irrigação. Esta eficiência deve ser superior a 70%, exceto para solos muito permeáveis.

$$Ed = \frac{Lf}{\frac{(Li + Lf)}{2}} \times 100, \text{ onde: } Ed = \text{eficiência de distribuição (\%)}$$

Li = Lâmina infiltrada no início do sulco (mm)

Lf = Lâmina infiltrada no final do sulco (mm)

5.9.3 Eficiência de aplicação (Ea).

É a percentagem do total da água aplicada na irrigação que é útil às culturas. A eficiência de aplicação mínima admitida é de 60%. O ideal é de 70%.

$$Ea = \frac{Lf}{Lt} \times 100, \text{ onde: } Ea = \text{eficiência de aplicação (\%)}$$

Lf = Lâmina infiltrada no final do sulco (mm)

Lt = Lâmina total aplicada no sulco (mm)

Para calcular a eficiência do sistema de irrigação em termos de perdas de água, considera-se somente a eficiência de condução e a de aplicação, visto que a eficiência de distribuição não considera perdas de água e sim uniformidade de distribuição da água.

Eficiência sistema = $E_c \times E_a$

$$Dose\ Bruta = \frac{Dose\ Líquida}{E_c \times E_a}$$

Capítulo 6

Irrigação por Inundação

6. Irrigação por Inundação

A irrigação por inundação proporciona a aplicação de água às plantas utilizando-se da superfície do solo e da energia potencial como meio de condução e distribuição da água. Solos de textura média a fina, terrenos com declividade uniforme inferior a 2% e culturas tolerantes ao excesso hídrico são propícios a esse tipo de irrigação. Dentre as culturas destacam-se: algodão, feijão, cebola, pomares, milho, pastagens, aveia, forrageira e arroz.

6.1 Vantagens e Desvantagens

Vantagens da irrigação por inundação:

- economia de energia
- economia de mão de obra
- controle de ervas daninhas
- aproveitamento máximo da água da chuva

Desvantagens da irrigação por inundação:

- método com maior gasto de água
- terrenos com declividade uniforme menor de 2%, pode haver necessidade de sistematização da lavoura, o que encarece a instalação
- restrito para culturas resistentes ao encharcamento
- perda de área de cultivo para construção das taipas e canais
- facilita a incidência de mosquitos

6.2 Tipos de Irrigação por Inundação

A irrigação por inundação pode ser intermitente ou contínua.

- irrigação intermitente. É aquela em que a água é aplicada à lavoura por um tempo suficiente para o solo na profundidade das raízes atingir a umidade correspondente a capacidade de campo. A dose é aplicada novamente quando o solo atingir a umidade correspondente ao limite hídrico inferior da cultura. Este tipo de manejo também é chamado de “dar banho na cultura”.
- Irrigação contínua. É aquela em que a água é aplicada à lavoura alguns dias depois do plantio e é mantida na lavoura durante o desenvolvimento da cultura até alguns dias antes da colheita. Esse tipo de irrigação só é viável para a cultura do arroz, que é uma cultura tolerante ao encharcamento das raízes. A irrigação contínua pode ser feita com ou sem circulação de água.
 - Com circulação de água é quando há uma entrada de água permanente na lavoura com o objetivo de manter a lâmina de irrigação dentro dos quadros de irrigação e há também uma saída de água para o canal de drenagem também permanente.
 - Sem circulação de água é quando a entrada de água na lavoura é controlada para que toda a água fique dentro dos quadros, não havendo saída da água.
 -

6.3 Componentes do sistema de irrigação por inundação

Para aplicar a irrigação por inundação é necessário que uma lâmina de água permaneça na lavoura. Para isso é necessário construir os quadros de irrigação que são delimitados por taipas. Há também os canais de irrigação e de drenagem. Se o reservatório de água estiver localizado em uma cota inferior a dos tabuleiros, é necessário também uma bomba para levar a água do reservatório para os canais de irrigação. Então os componentes do sistema são: reservatório com bomba, quadros, taipas, canais de irrigação e drenagem, sifões ou comportas para a entrada de água na lavoura (figura 6).

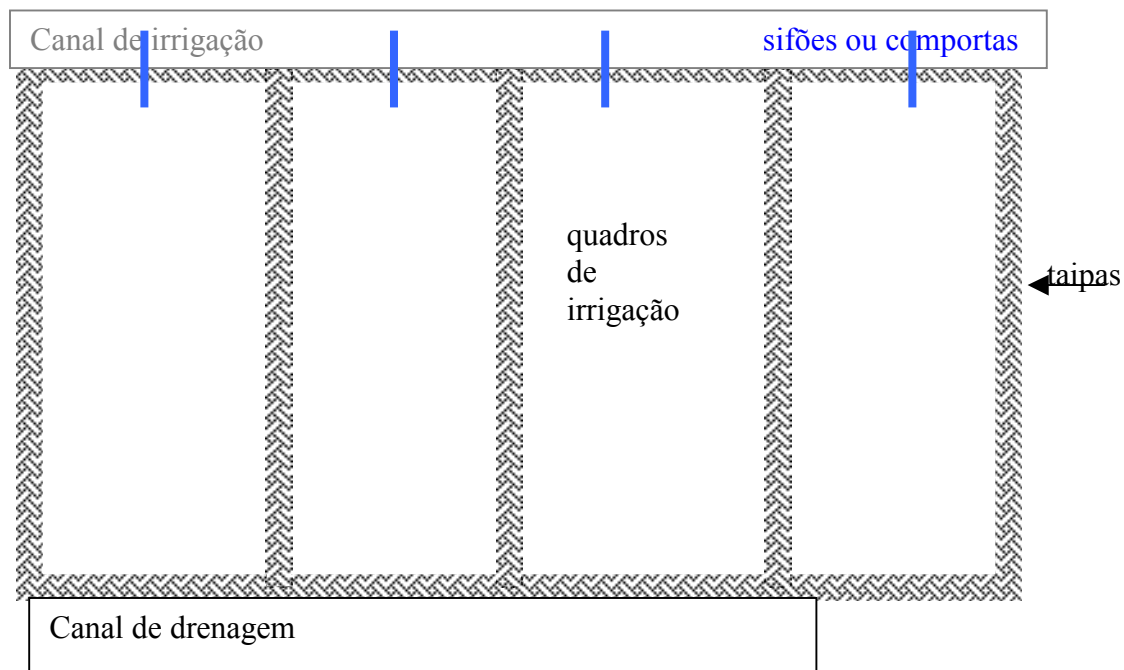


Figura 6. Esquema de um sistema de irrigação por inundação

6.4 Características dos quadros (tabuleiros) e taipas

6.4.1 Tamanho e dimensões dos quadros:

O tamanho dos tabuleiros pode ser de alguns metros quadrados até vários hectares. Depende basicamente da declividade do terreno. A diferença de cota entre a taipa a montante e a taipa a jusante do quadro de irrigação deve ser inferior a $2/3$ da lâmina média de irrigação.

A base das taipas tem em média 120 cm de largura, podendo variar entre 60 e 180 cm (figura 7). A altura mede normalmente 60 cm, podendo chegar a 80 cm. É aconselhável deixar um bordo livre a montante da taipa de 5 a 20 cm para evitar perdas por escoamento superficial quando houver ventos e para armazenar a água da chuva.

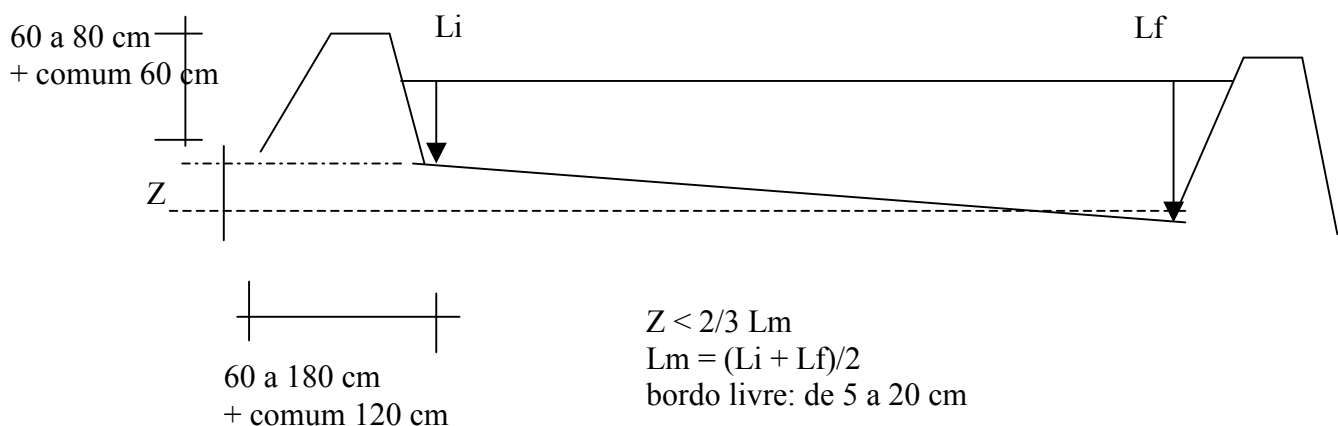


Figura 7. Tamanho e declividade das taipas

6.4.2 Forma dos quadros

Os tabuleiros podem ser retangulares ou em contorno. Os retangulares são usados em áreas planas com terrenos sistematizados com pequena declividade e com taipas retilíneas. Os tabuleiros em curva de nível acompanham as curvas do terreno e possuem um conjunto de taipas paralelas às curvas de níveis e outras perpendiculares a elas.

6.4.3 Distribuição da água

A distribuição da água é feita através de sifões, tubos pvc, comportas ou simplesmente abre-se a taipa com a pá para a água passar. A água pode ser distribuída por circulação de um tabuleiro para outro, ou pode ser distribuída individualmente com entrada em cada tabuleiro. No último caso deve haver um sistema mais elaborado de distribuição da água.

6.5 Tipos de preparo de solo em um sistema de irrigação por inundação

Existem vários tipos de preparo de solo no cultivo do arroz irrigado. Alguns deles serão apresentados de maneira resumida abaixo. O ideal que seja feita sempre a sistematização do terreno para qualquer um dos preparos de solo pois há um menor consumo de água, a cultura fica mais uniforme e a qualidade dos grãos é muito melhor.

preparo convencional. O solo é preparado com aração, é feito o plantio e depois de alguns dias a água é aplicada na lavoura.

plantio direto ou cultivo mínimo. O plantio é feito por cima dos restos da cultura anterior após ter sido passado um produto químico para secar esses restos. Não é feita aração no solo. A irrigação é iniciada depois de alguns dias.

pré-germinado. O preparo de solo é feito normalmente e depois o plantio é feito dentro dos tabuleiros com água com sementes pré-germinadas. A água deve ser drenada de preferência de 2 a 3 dias após o preparo de solo e depois de alguns dias a irrigação é iniciada.

6.6 Manejo da irrigação por inundação

O manejo da irrigação aqui será abordado para o preparo convencional ou direto. Ele consiste em definir o início da irrigação, o fim da irrigação e a altura da lâmina d'água. A época ideal da semeadura do arroz no Rio Grande do Sul é de 15 de outubro a 15 de novembro para garantir a quantidade ideal de luz solar para a cultura.

6.6.1 Início da irrigação

O início da irrigação se dá normalmente no Rio Grande do Sul de 10 a 20 dias após a emergência de 80% das plantas. Gomes (1985) citado por Marcolin e Mussó (2003) concluiu que começando a irrigação 42 dias após emergência das plantas foi observado um aumento no rendimento dos grãos. Ramirez (1999) citado por Marcolin e Mussó (2003) pesquisou o início da irrigação em 12, 28 e 38 dias após emergência das plantas e concluiu que quando a irrigação começou no 12º dia, houve uma melhor eficiência. Os autores recomendam começar a irrigação de 10 a 15 dias após a emergência das plantas devido aos benefícios da água para o arroz (combate de erva daninhas e uma maior eficiência dos herbicidas quando a água entra cedo na lavoura). Essa recomendação é também dada por Ferreira da Silva (2005) que preconiza que no Rio Grande do Sul a irrigação deve começar quando houver 3 folhas de arroz expandidas, que corresponde a 10 a 15 dias após a emergência da cultura quando essa é semeada de 15 de outubro a 15 de novembro que é o período ideal.

6.6.2 Fim da irrigação

No Rio Grande do Sul costuma-se parar a irrigação de 10 a 15 dias antes da colheita do arroz. Tascon (1985) citado por Marcolin e Mussó (2003) concluiu que parando a irrigação 30 dias antes da colheita houve rendimento similares aos obtidos com a manutenção da irrigação até mais próximo da colheita.

Counce (1999) citado por Marcolin e Mussó (2003) pesquisou a retirada da água 7 dias após o florescimento (38 dias antes colheita), 14 dias após o florescimento (31 dias antes colheita), 28 dias após o florescimento (24 dias antes colheita). O autor conclui que os rendimentos são praticamente idênticos e recomenda retirar a água 38 dias antes da colheita para uma economia de água. Marcolin e Mussó (2003) com base nesses resultados recomendam a retirada da água 7 dias após o florescimento (38 dias antes da colheita). Ferreira da Silva (2005) recomenda para o Rio Grande do Sul a retirada da água de irrigação 20 a 25 após o florescimento o que corresponde a 15 a 20 dias antes da colheita.

6.6.3 Manutenção da Lâmina de irrigação

A lâmina de irrigação no Rio Grande do Sul já foi em torno de 20 cm, hoje é em torno de 10 cm. Vários pesquisadores vêm estudando se lâminas menores de irrigação não prejudicam o rendimento dos grãos. Sachet (1981) citado por Marcolin e Mussó (2003) concluiu que com uma lâmina de 2,5 cm o rendimento do arroz foi o mesmo que com lâminas maiores. Alves e Machado (1991) citado por Marcolin e Mussó (2003) observaram que com lâminas de 5 e 10 cm o rendimento foi o mesmo. Os autores recomendam lâminas entre 5 e 10 cm pois apesar de os rendimentos serem semelhantes com lâminas menores, essas lâminas exigiriam uma sistematização do terreno perfeita, o que nem sempre ocorre. Com lâminas muito pequenas uma pequena rugosidade no solo poderia deixar uma área sem água, prejudicando a cultura. Na fase vegetativa as lâminas devem ser menores que 10 cm e na fase reprodutiva quando as temperaturas são inferiores a 16°C, a lâmina deve ser superior a 15 cm agindo como termoregulador.

6.7 Consumo de água em uma lavoura de arroz

A figura 8 representa a entrada e saída da água em uma lavoura de arroz.

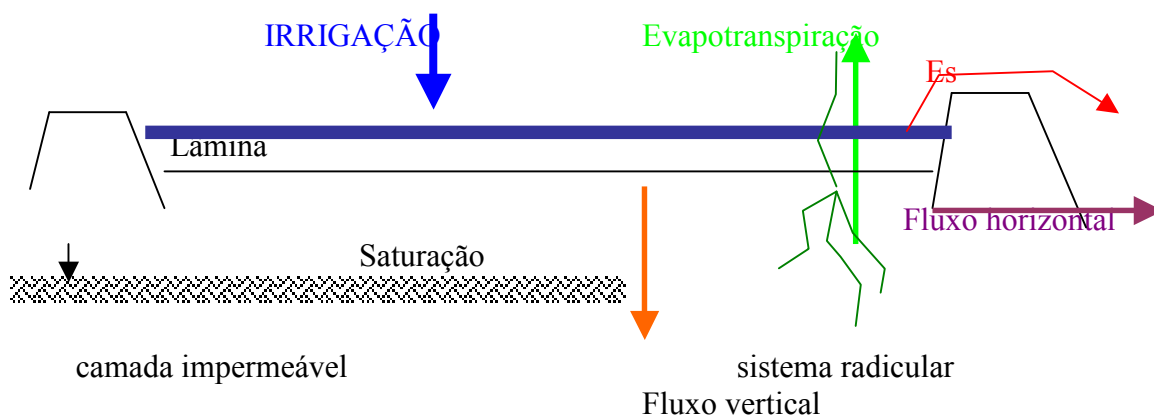


Figura 8. Representação do consumo de água em uma lavoura de arroz

Supondo que toda a água que entre na lavoura seja por irrigação, o consumo de água em uma lavoura de arroz deve ser tal que ao colocar a água na lavoura haja uma saturação do solo e uma formação da lâmina de inundação dentro dos quadros em uma primeira etapa (figura 9). Durante essa etapa as perdas de fluxo vertical, fluxo horizontal e evapotranspiração devem ser repostas. Em uma segunda etapa, etapa de manutenção da lâmina, as perdas de água por fluxo vertical, fluxo horizontal e evapotranspiração também devem ser repostas. Iremos supor que não haja perdas por escoamento superficial. A seguir o cálculo do consumo de água para cada etapa é detalhado.

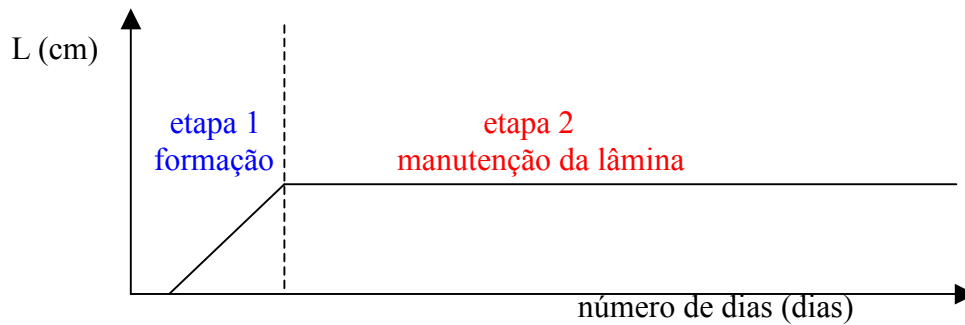


Figura 9. Etapas de irrigação por inundação em uma lavoura de arroz

6.7.1 Consumo de água para uma lavoura de 1 ha de arroz – ETAPA 1

Volume etapa 1 (m^3/ha) = vol saturação + vol lâmina + vol evapotranspiração + Vol fluxo vertical + vol fluxo horizontal

Vazão etapa 1 (l/s/ha) = Volume etapa 1 / número de dias da etapa 1

Volume de saturação do solo

Vol saturação (m^3/ha) = $(\phi - \theta_i) \times A \text{ (m}^2\text{)} \times \text{prof. sat (m)}$ onde,

ϕ = porosidade total do solo

θ_i = umidade inicial do solo

A = área de 1 ha = 10.000 m^2

prof. sat = profundidade de saturação do solo (ou profundidade da camada impermeável ou profundidade das raízes)

Volume de formação da lâmina

Vol lâmina (m^3/ha) = $L \text{ (m)} \times A \text{ (m}^2\text{)}$ onde,

L = lâmina de irrigação

A = área de 1 ha = 10.000 m^2

Volume de evapotranspiração

Vol evapotranspiração (m^3/ha) = $ET \text{ (m/dia)} \times A \text{ (m}^2\text{)} \times nd_{e1} \text{ (dias)}$ onde,

$ET = ETP \times Kc$

ETP = evapotranspiração potencial (m/dia). Varia conforme fatores climáticos.

Kc = coeficiente de cultivo do arroz. Varia conforme o desenvolvimento do ciclo

A = área de 1 ha = 10.000 m^2

nd_{e1} = número de dias da etapa 1

Volume do fluxo vertical

Volume F_v (m^3/ha) = $F_v \text{ (m/dia)} \times A \text{ (m}^2\text{)} \times nd_{e1} \text{ (dias)}$ onde,

$$F_v = K_{sat_v} \times (\Delta H/d) \quad \text{onde,}$$

K_{sat_v} = condutividade hidráulica saturada vertical (m/dia)

$(\Delta H/d)$ = gradiente de potencial hidráulico entre a superfície do solo e a profundidade de saturação do solo

$$\Delta H/d = (H_1 - H_2)/d \quad (\text{figura 10})$$

H_1 = potencial de pressão = $L/2$ (m)

Potencial gravitacional = profundidade de saturação do solo = d (m)

H_2 = potencial de pressão = medido com piezômetro = h_2

Potencial gravitacional = zero

Logo,

$$\Delta H/d = (L/2 + d - h_2)/d$$

Considera-se a metade da lâmina pois no início da etapa 1 a lâmina é zero e no final a lâmina é inteira (figura 9).

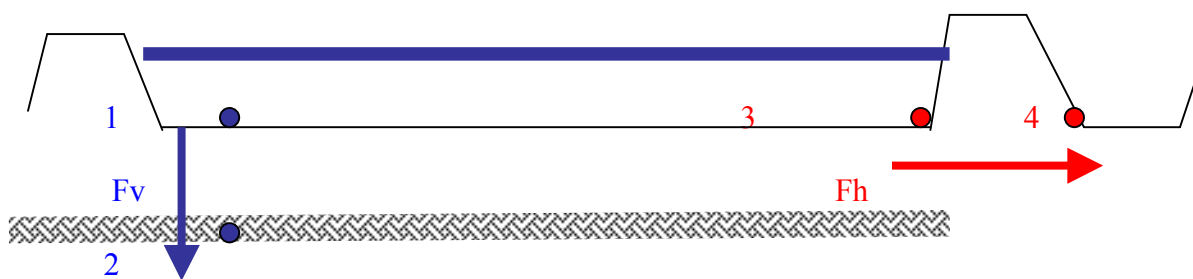


Figura 10. Esquema dos fluxos verticais e horizontais

Volume do fluxo horizontal

$$\text{Volume } F_h \text{ (m}^3\text{/ha)} = F_h \text{ (m/dia)} \times P/A \text{ (m/ha)} \times \text{prof. sat. (m)} \times n_{el} \text{ (dias)} \quad \text{onde,}$$

$$F_h = K_{sat_h} \times (\Delta H/b) \quad \text{onde,}$$

K_{sat_h} = condutividade hidráulica saturada horizontal (m/dia)

$(\Delta H/b)$ = gradiente de potencial hidráulico entre o ponto a montante da taipa e o ponto a jusante da taipa do lado de fora da lavoura (figura 10)

$$\Delta H/d = (H_3 - H_4)/b$$

b = largura da base da taipa (m)

H_3 = potencial de pressão = $L/2$ (m)

Potencial gravitacional = profundidade de saturação do solo = 0

H_4 = potencial de pressão = medido com piezômetro = 0

Potencial gravitacional = 0

Logo, $\Delta H/d = (L/2)/b$

Considera-se a metade da lâmina pois no início da etapa 1 a lâmina é zero e no final a lâmina é inteira (figura 9).

6.7.2 - Consumo de água para uma lavoura de 1 ha de arroz – ETAPA 2

Volume etapa 2 (m³/ha) = vol saturação + vol lâmina + vol evapotranspiração + Vol fluxo vertical + vol fluxo horizontal

Vazão etapa 2 = Volume etapa 2 / número de dias da etapa 2 (l/s/ha)

Volume de saturação do solo. Esse volume é zero pois o solo só é saturado na etapa 1.

Volume de formação da lâmina. Esse volume é zero pois a lâmina já é formada na etapa 1.

Volume de evapotranspiração

Vol evapotranspiração (m^3/ha) = $ET (\text{m}/\text{dia}) \times A (\text{m}^2) \times nd_{e2} (\text{dias})$ onde,

$$ET = ETP \times Kc$$

ETP = evapotranspiração potencial (m/dia). Varia ao conforme fatores climáticos.

Kc = coeficiente de cultivo do arroz. Varia conforme o desenvolvimento do ciclo.

A = área de 1 ha = 10.000 m^2

nd_{e2} = número de dias da etapa 2

Volume do fluxo vertical

Volume Fv (m^3/ha) = $Fv (\text{m}/\text{dia}) \times A (\text{m}^2) \times nd_{e2} (\text{dias})$ onde,

$$Fv = Ksat_v \times (\Delta H/d) \quad \text{onde,}$$

$Ksat_v$ = condutividade hidráulica saturada vertical (m/dia)

$(\Delta H/d)$ = gradiente de potencial hidráulico entre a superfície do solo e a profundidade de saturação do solo

$$\Delta H/d = (H1 - H2)/d \quad (\text{figura 10})$$

H1 = potencial de pressão = L (m)

Potencial gravitacional = profundidade de saturação do solo = d (m)

H2 = potencial de pressão = medido com piezômetro = h_2

Potencial gravitacional = zero

Logo,

$$\Delta H/d = (L + d - h_2)/d$$

Considera-se a lâmina inteira.

j) Volume do fluxo horizontal

Volume Fh (m^3/ha) = $Fh (\text{m}/\text{dia}) \times P/A (\text{m}/\text{ha}) \times \text{prof. sat. (m)} \times nd_{e2} (\text{dias})$ onde,

$$Fh = Ksat_h \times (\Delta H/b) \quad \text{onde,}$$

$Ksat_h$ = condutividade hidráulica saturada horizontal (m/dia)

$(\Delta H/b)$ = gradiente de potencial hidráulico entre o ponto a montante da taipa e o ponto a jusante da taipa do lado de fora da lavoura (figura 10)

$$\Delta H/d = (H3 - H4)/b$$

b = largura da base da taipa (m)

H3 = potencial de pressão = L (m)

Potencial gravitacional = profundidade de saturação do solo = 0

H4 = potencial de pressão = medido com piezômetro = 0

Potencial gravitacional = 0

Logo,

$$\Delta H/d = L/b$$

Considera-se a lâmina inteira.

6.7.3 Consumo de água para as duas etapas

Volume água = Volume total etapa 1 + volume total etapa 2

Vazão média das duas etapas = $(Q_{e1} \times nd_{e1} + Q_{e2} \times nd_{e2}) / (nd_{e1} + nd_{e2})$ onde,

Q_{e1} – Vazão da etapa 1 (l/s/ha) nd_{e1} – Número de dias da etapa 1

Q_{e2} – Vazão da etapa 2 (l/s/ha) nd_{e2} – Número de dias da etapa 2

7. Referências bibliográficas

- ARNILLAS P. (1961). Land use in pre-Columbian America. In: L. Dudley Stamp (ed.). A history of land use in arid regions. U.N. Educ., Sci., e Cult. Organ. UNESCO Arid Zone Res. 17, Paris, p. 255-276.
- BELTRAME L., TAYLOR J.C., CAUDURO F.A. (1979). Probabilidade de ocorrência de deficits e excessos hídricos em solos do Rio Grande do Sul. UFRGS, Porto Alegre, 79f.
- CHRISTOFIDIS, D. (1999). Situação das áreas irrigadas: Métodos e equipamentos de irrigação, Brasília.
- CUNHA G., BERGAMASCHI H. (1992). Efeitos da disponibilidade hídrica sobre o rendimento das culturas. In: Agrometeorologia aplicada à irrigação. UFRGS, Porto Alegre, 85-97p.
- FAO yearbook production, (1984).
- FAO yearbook production, (1998).
- FERREIRA DA SILVA, P.R. (2005). Comunicação oral.
- FUKUDA H. (1976). Irrigation in the world. University of Tokyo Press. Japão. 329 p.
- GOMES, H.P. (1997). Engenharia de Irrigação. Hidráulica dos sistemas pressurizados aspersão e gotejamento. 2^a ed. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 390 p.
- HAGAN R. M., RAISE R. H. E EDMISTER T. W. (1967). Irrigation of agricultural lands. American Society of Agronomy, N. 11, Série Agronomy. Masison. 1179 p.
- LEINZ V., AMARAL S. E. (1978). Geologia geral. (7 ed.). Com. Editora Nacional. São Paulo, 397p.
- LIMA, J.E.F.W., FERREIRA, R.S.A., CHRISTOFIDIS, D. (2000). O uso da irrigação no Brasil. In: O Estado das Águas.
- MARCOLIN E., MUSSÓI V.R.M. (2003). Manejo da Irrigação por Inundação. In: Irrigação. Volume 2.
- PIRES, E.T. (1982). Irrigação por aspersão – Dimensionamento. Emater, Belo Horizonte, 51 p.
- PRONI (1987). Tempo de irrigar: manual do irrigante/Programa Nacional de Irrigação (Proni). São Paulo: Mater, 160p.
- ROCHA P.K., PEREIRA E.R., COELHO R.D. (2001). Custo de bombeamento de água para irrigação no Brasil. In: Irriga. V.6 – N. 03. Botucatu. p. 190 – 203.
- SALASSIER, B. (1989). Manual de Irrigação. 5^a edição Universidade Federal de Viçosa., Imprensa Universitária, Viçosa, 596 p.