

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

LEONARDO KENJI MAEDA

ANÁLISE DE SISTEMAS ALTERNATIVOS DE BOMBEAMENTO,
CONDUÇÃO DE ÁGUA E IRRIGAÇÃO: ESTUDO DE CASO A
HORTA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS

SÃO CARLOS
2010

LEONARDO KENJI MAEDA

**ANÁLISE DE SISTEMAS ALTERNATIVOS DE BOMBEAMENTO,
CONDUÇÃO DE ÁGUA E IRRIGAÇÃO: ESTUDO DE CASO A
HORTA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Ambiental
da Escola de Engenharia de São Carlos
da Universidade de São Paulo.

SÃO CARLOS – 2010

Resumo

Este trabalho, norteado pela busca de maneiras mais ambiental, econômica e socialmente equilibradas de se realizar as atividades humanas e ocupar o espaço, procurou alternativas ao sistema de irrigação atualmente utilizado na Horta Municipal de São Carlos. Para tal, foram levantadas materiais e alternativas tecnológicas para a elevação e condução de água e sistemas de irrigação.

Foram encontradas diversas alternativas que requerem menos energia, menos recursos econômicos, menos horas de trabalho e matérias ambientalmente mais sustentáveis. Dentre as quais, a conjuntura mais interessante proposta foi a utilização de bomba carneiro hidráulico construído com garrafa PET, tubulação constituída com bambu e sistema de irrigação de gotejamento, aspersão e sulcos construídos com materiais alternativos.

O desenvolvimento e divulgação de práticas e opções tecnológicas que ocasionem economia de recursos naturais e econômicos, energia e horas de trabalho devem ser sempre estimuladas, assim como a busca por alternativas ao sistema utilizado, visando sempre a melhoria constante. O meio ao redor muitas vezes oferece condições de ocupá-lo mais equilibradamente, sendo vital que se atente às características peculiares de cada local.

Palavras-chave: Irrigação, elevação de água, condução de água, sistemas alternativos

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 - INTRODUÇÃO | 9 |
| 2 - OBJETIVOS | 12 |
| 3 - A CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUPERFICIAL | 13 |
| 3.1 – Derivação simples ou direta | 13 |
| 3.2 – Derivação por meios de diques (diques derivadores) | 14 |
| 3.3 – Represamento ou açudagem | 16 |
| 3.4 – Derivação por meio de derivação de diques subterrâneos | 18 |
| 3.5 – Derivação por elevação mecânica | 19 |
| 3.5.1 Máquinas elevadoras por transporte físico | 20 |
| 3.5.2 Sistemas de Elevação de água por pressurização | 26 |
| 3.5.2.1 Bomba de Pistão Acionada por Roda d'Água | 26 |
| 3.5.2.2 MOINHO DE VENTO | 30 |
| 3.5.2.3 MOTOR STIRLING | 33 |
| 3.5.2.4 BOMBA CARNEIRO | 36 |
| 3.5.2.4.1 O Carneiro Hidráulico | 36 |
| 3.5.2.4.2 Funcionamento do carneiro hidráulico | 39 |
| 3.5.2.4.3 CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS | 40 |
| 3.5.2.4.4 DIMENSÃO DO CARNEIRO HIDRÁULICO | 41 |
| 3.5.2.4.5 CARNEIRO HIDRÁULICO COM GARRAFA PET | 44 |
| 3.5.2.4.6 CARNEIRO DE DUPLA AÇÃO | 47 |
| 4 - TRATAMENTO DA AGUA | 50 |
| 4.1 Filtros Lentos | 51 |
| 4.1.1 Efeitos da filtração | 52 |
| 4.1.2 Construção dos filtros lentos | 54 |
| 5-TUBULAÇÃO DE BAMBU | 57 |
| 5.1 Introdução | 57 |
| 5.2 -Construção dos tubos | 58 |
| 5.3 - Características hidráulicas | 61 |
| 6 – IRRIGAÇÃO | 65 |
| 6.1 - FORMAS DE IRRIGAÇÃO | 66 |

| | |
|---|-----------|
| 6.1.1 - Gotejamento | 66 |
| 6.1.1.1 COMPONENTES DO SISTEMA | 69 |
| 6.1.1.2 BENEFÍCIOS E PROBLEMAS NA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO | 71 |
| 6.1.1.3 RESPOSTA DAS PLANTAS | 72 |
| 6.1.1.4 SISTEMAS ALTERNATIVOS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO | 72 |
| 6.2 - Irrigação por sulcos | 73 |
| 6.2.1 - BENEFÍCIOS E PROBLEMAS NA IRRIGAÇÃO POR SULCOS | 75 |
| 6.2.2 - Parâmetros do sistema de irrigação por sulco | 76 |
| 6.3 Sistemas alternativos de irrigação por aspersão | 79 |
| 6.3.1 - Aspersão com “espaguete” | 79 |
| 6.3.2 - MICROASPERSAO COM HASTE DE COTONETE..... | 80 |
| 7 - ESTUDO DE CASO..... | 82 |
| 8 – CONCLUSÃO | 98 |
| 9 – BIBLIOGRAFIA | 99 |

ANEXO 1 – Planilha de cálculo

ANEXO 2 – Bomba carneiro alternativa com garrafa PET

ANEXO 3 – Bomba rosário construída com bicicleta

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1- Derivação simples e esquema de irrigação. Fonte: DAKER, 1969..... | 14 |
| Figura 2 - Disposição dos diques derivadores. Fonte: DAKER, 1969..... | 15 |
| Figura 3- Dique de pedra e terra e enrocamento e cortina de concreto. Fonte: DAKER, 1969..... | 16 |
| Figura 4- Corte transversal a corrente de dique de terra. Fonte: DAKER, 1969 | 16 |
| Figura 5- Barragem mista de terra e enrocamento. Fonte: DAKER, 1969 | 17 |
| Figura 6- Galeria filtrante e secundária. Fonte: DAKER, 1969..... | 18 |
| Figura 7 – Tubos porosos. Fonte: DAKER, 1969 | 19 |
| Figura 8– Nora de balde e nora de rosário. Fonte: DAKER, 1969 | 20 |
| Figura 9– Nora rosário movida a bicicleta usada. Fonte: http://www.agenciamandalla.org.br/ | 22 |
| Figura 10– Roda de baldes Fonte: DAKER, 1969 | 22 |
| Figura 11– Roda de pás Fonte: DAKER, 1969 | 23 |
| Figura 12– Roda mista Fonte: DAKER, 1969..... | 24 |
| Figura 13– Parafuso de Arquimedes Fonte: DAKER, 1969 | 25 |
| Figura 14– Parafuso de Leonardo da Vinci e de mangueira..... | 25 |
| Figura 15 – Bomba com dois pistões acionada por roda d’água. Fonte: Barros, 2007..... | 27 |
| Figura 16- Roda d’água acionada por cima. Fonte: Barros, 2007..... | 28 |
| Figura 17- Roda d’água acionada por baixo. Fonte: Barros, 2007..... | 29 |
| Figura 18 - Roda d’água sobre flutuadores. Fonte: Barros, 2007..... | 29 |
| Figura 19– Catavento e detalhe da bomba pistão. Fonte: MME, 2007. | 31 |
| Figura 20– Foto de protótipo de motor Stirling. Fonte: EMBRAPA, 2010. | 33 |
| Figura 21– Esquema do motor Stirling. Fonte: EMBRAPA, 2010 | 34 |
| Figura 22– As quatro fases do motor Stirling. Fonte: EMBRAPA. 2010. | 35 |
| Figura 23– Carneiro hidráulico comercial | 37 |
| Figura 24 – Carneiro Hidráulico convencional. Fonte CERPCH, 2002. | 38 |
| Figura 25 – Esquema de instalação de um carneiro hidráulico. Fonte CERPCH, 2002. | 39 |
| Figura 26– Carneiro com garrafa PET. CERPCH, 2002..... | 45 |
| Figura 27 – Carneiro hidráulico de PET desmontado. CERPCH, 2002. | 46 |
| Figura 28– Corte esquemático do interior de um carneiro de dupla ação. Daker, 1969..... | 48 |
| Figura 29– Esquema de instalação de um carneiro de dupla ação. Fonte: Daker, 1969 | 49 |
| Figura 30– Filtro de tela metálico. Fonte: Olitta, 1988. | 51 |
| Figura 31– Exemplo de um meio filtrante. Fonte: Olitta, 1988. | 55 |
| Figura 32– Filtro lento simples para pequenos povoados Fonte: Olitta, 1988. | 55 |
| Figura 33– Exemplos de filtros lentos caseiros Fonte: Olitta, 1988. | 56 |
| Figura 34– Colmo do bambu e suas partes. Fonte: Van Lengen, 2008..... | 58 |
| Figura 35- Equipamento para tratamento do bambu pelo método boucherie modificado. Fonte: Neto, 1992..... | 59 |
| Figura 36– Tubo de bambu com junta de couro. Fonte: Van Lengen, 2008..... | 60 |
| Figura 37– Detalhes da ferramenta manual de remoção de nós de bambu | 63 |
| Figura 38–Ferramenta manual de remoção de nós de bambu..... | 64 |
| Figura 39– Distribuição da água no solo a partir de um gotejador. Fonte: Olitta, 1988. | 67 |
| Figura 40 – Distribuição do conteúdo de umidade em função da infiltração acumulada para duas vazões de gotejadores. Fonte: Olitta. 1988. | 68 |

| | |
|--|----|
| Figura 41 – Sistema convencional de irrigação por gotejamento..... | 70 |
| Figura 42 – Sulcos com dois sifões. Fonte: Barros, 2007. | 73 |
| Figura 42– Tubo utilizado para vazão em sulcos com redução proguessiva da vazão. Foto: Leonardo Maeda, agosto de 2010..... | 74 |
| Figura 43– Detalhe da caixa de recepção. Foto: Leonardo Maeda, agosto de 2010..... | 74 |
| Figura 45– Frente de avanço da água em irrigação por sulcos para solos arenosos e argilosos..... | 75 |
| Figura 46 – Irrigação por aspersão com “espaguete”. Fonte: Barros, 2007. | 79 |
| Figura 47– Irrigação por aspersão com hastes de cotonete. Fonte: Barros, 2007. | 80 |
| Figura 48 – Canteiros e estufa da horta municipal | 82 |
| Figura 49 – Sistema de irrigação atual com mangueiras..... | 83 |
| Figura 50 – Região de entorno da Horta Municipal de São Carlos | 84 |
| Figura 51– Planta da Horta Municipal com detalhe do reservatório e a caixa de água já existentes .. | 86 |
| Figura 52– Planta da Horta Municipal com detalhe do sistema de bombeamento proposto | 87 |
| Figura 53 – Desenvolvimento do sistema radicula e consumo de água. Fonte: MINISTÉRIO DA IRRIGAÇÃO, 1988 | 93 |
| Figura 54– Sistema radicular de algumas culturas. Fonte: MINISTÉRIO DA IRRIGAÇÃO, 1988 | 94 |
| Figura 55 – Exemplos de plantas da família das <i>Curcubitáceas</i> | 95 |
| Figura 56– Sulcos cincundando árvores frutíferas..... | 95 |
| Figura 57 – Filtro barril. Fonte: Van Lengen, 2008..... | 97 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Evolução da área irrigada no Brasil | 10 |
| Tabela 2 - Diâmetro do tubo para acionamento da roda | 28 |
| Tabela 3 – Tamanho e característica do carneiro hidráulico industrial. | 41 |
| Tabela 4 – Rendimento do carneiro hidráulico para diferentes valores de h/H | 43 |
| Tabela 5– Diâmetros de alimentação e de recalque para várias vazões de alimentação para Carneiro de PET..... | 45 |
| Tabela 6 – Material necessário para a construção de um carneiro hidráulico com diâmetro de entrada entre 1", 2" e 3"..... | 46 |
| Tabela 7– Espessuras das camadas do filtro lento..... | 54 |
| Tabela 8– Valores de C obtidos na literatura consultada | 62 |
| Tabela 9 – Valores de f para diferentes formas de remoção do nó..... | 63 |
| Tabela 10 - Valores dos coeficientes C e a em função da textura do solo..... | 78 |
| Tabela 11– Tempo necessário para obter 20 litros com a vazão do córrego | 85 |
| Tabela 12– Dimensões do bambu próximo da horta..... | 87 |
| Tabela 13– Valores de perda de carga para diferentes situações de tubulações e área irrigada | 90 |
| Tabela 14– Classificação de algumas culturas em função da profundidade das raízes..... | 93 |

1 - INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas cinco décadas o modelo agrícola do desenvolvimento rural mundial e brasileiro tem se baseado, predominantemente, e de forma crescente, em investimentos em tecnologia, no uso de energia fóssil, de agroquímicos, de técnicas de irrigação e da mecanização intensiva. Majoritariamente, a sua principal preocupação é a produtividade, em sua dimensão econômica, visando, nos casos de grandes produtores monocultores, a exportação. Para isso, tem sido reforçada a concentração da estrutura agrária e, por outro lado, dando-se pouco relevo à agricultura familiar.

Na agricultura moderna, a irrigação tem desempenhado papel indispensável ao incremento da produtividade de diversas culturas. Ela possibilitou o desenvolvimento econômico de muitas regiões, na medida em que permitiu incorporar novas áreas ao processo produtivo, garantindo o abastecimento interno e ampliando as exportações de produtos agrícolas. No Brasil, a irrigação tem sido uma resultante de demandas sociais e políticas, que, por sua vez, oscilam conforme as variações climáticas.

O Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio, que compreende a produção, a industrialização e a comercialização dos bens da agropecuária, participa com mais de uma quarta parte do PIB nacional. A despeito de sua evidente importância macroeconômica para a economia nacional (boas safras = garantia de abastecimento à população + ajuda no controle dos preços de alimentos + produção para exportar - redução da importação de alimentos + fortalecimento da balança comercial), trata-se de um modelo de agricultura que não leva em consideração a heterogeneidade das diferenças socioambientais entre as regiões do país.

Neste modelo agrícola, intensivo em capital e insumos, a predominância do agronegócio tem se caracterizado pela geração de passivos ambientais consideráveis (altas taxas de desmatamento, erosão dos solos, degradação das bacias e microbacias hidrográficas, perda da biodiversidade, entre outros), pela baixa geração de empregos, pelo êxodo rural e baixíssimo índice de acesso aos serviços de saneamento ambiental (água potável, esgotamento sanitário, lixo e drenagem) ofertados pelos poderes público municipal, estadual e federal.

Em termos quantitativos, algumas características do modelo agrícola produtivista brasileiro merecem destaque. Observa-se que houve uma multiplicação de aproximadamente 10 vezes das áreas irrigadas entre 1960 e 2001, passando, respectivamente, de 320 mil para 3.113 milhões de hectares. A tabela a seguir fornece os dados de área irrigada de 1960 a 2006 para as cinco regiões do Brasil (IBGE, 2010).

Tabela 1 - Evolução da área irrigada no Brasil

| Região | Área (ha) | | | | | | |
|--------------|----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | 1960 | 1970 | 1975 | 1980 | 1985 | 1995 | 2006 |
| Norte | 457 | 5.640 | 5.216 | 19.189 | 43.224 | 83.023 | 148.870 |
| Nordeste | 51.774 | 115.971 | 163.358 | 256.738 | 366.826 | 751.887 | 1.045.123 |
| Sudeste | 116.174 | 184.618 | 347.690 | 428.821 | 599.564 | 929.189 | 1.291.578 |
| Sul | 285.391 | 474.663 | 535.076 | 724.568 | 886.964 | 1.096.592 | 1.332.359 |
| Centro-Oeste | 1.637 | 14.385 | 35.490 | 47.216 | 63.221 | 260.952 | 503.714 |
| Total | 455.433 | 795.291 | 1.085.831 | 1.476.532 | 1.959.819 | 3.121.644 | 4.321.644 |

O uso potencial de irrigação em terras altas brasileiras é estimado em 14,6 milhões de hectares, sendo que, atualmente, estão sendo explorados aproximadamente 4,5 milhões de hectares. Esses dados somados aos demais das áreas disponíveis atingem um total de 29,6 milhões de hectares, representando, aproximadamente, 3,5% do território nacional, que necessita de uma quantidade para irrigação em torno de 33.777.297.000 m³/ano de água (EMBRAPA, 2010).

Da área cultivada no mundo, 1/6 é irrigada e responde por 1/3 da produção global de alimentos. Esse dado é bastante significativo, considerando que atualmente 840 milhões de pessoas tem dificuldade de encontrar alimentos para comer, e que, num futuro próximo (2025), serão mais de 2 bilhões, segundo recente publicação da Organização das Nações Unidas (ONU). Em contrapartida, ao nível global, a agricultura irrigada demanda em média 72% dos recursos hídricos disponíveis, enquanto os setores industrial e doméstico demandam em média 19 e 9%, respectivamente.

Portanto, o desafio que se apresenta é como garantir o necessário aporte de água para agricultura, em face da crescente competição com os outros setores da economia. Além da competição, a poluição e a degradação ambiental, como o assoreamento de rios e reservatórios, e o uso indiscriminado de pesticidas, se ainda não o fizeram, poderão futuramente inviabilizar o aproveitamento dos mananciais superficiais e subterrâneos, em toda a sua potencialidade.

Um outro grave problema é que os irrigantes, em sua grande maioria, não estão adequadamente instruídos para usar com eficiência a tecnologia da irrigação. Prevalece ainda a falsa idéia de que quanto mais água for aplicada, melhor para a planta. A ignorância com relação aos métodos de manejo da irrigação, às necessidades hídricas das culturas e à operação dos equipamentos tem levado a uma aplicação, ora excessiva, ora deficitária de água, contribuindo para o desperdício e o baixo rendimento das culturas.

Os dados do Censo Agropecuário de 1995/96 do IBGE indicam a existência de 4.139.369 estabelecimentos de agricultores familiares brasileiros, com uma área total de 107.768.450 hectares, ou seja, 85,2% do total de estabelecimentos e 30,5% da área total. O Valor Bruto da Produção da agricultura familiar nacional corresponde a 37,9% da produção agropecuária.

Das 17,3 milhões de pessoas ocupadas na agricultura brasileira, 13.780.201, ou seja, 76,9%, estão empregadas na agricultura familiar. No entanto, mesmo que a agricultura familiar represente o maior contingente de pequenos produtores do país, e mesmo sendo responsável pela produção da maior parte dos alimentos consumidos pelo brasileiros, ela foi sendo deslocada para as piores terras, ficando os trabalhadores rurais à margem das políticas sociais.

É sempre bom lembrar que as populações das áreas rurais, assim como das áreas urbanas, têm necessidades básicas que precisam ser atendidas para garantir a sua sobrevivência. Mas, infelizmente, as políticas públicas do estado sempre priorizaram o desenvolvimento de áreas urbanas, em detrimento das áreas rurais, ou quando direcionadas para o setor agropecuário, destinavam-se às oligarquias rurais, estimulando as desigualdades no eixo rural-urbano e inviabilizando a permanência no campo.

Os graus de liberdade para avançar na direção de um desenvolvimento sustentável que integre simultaneamente o rural, o urbano e a gestão sustentável dos recursos hídricos existem, e podem ser ampliados mediante políticas públicas, arranjos institucionais adequados e produção e divulgação de possibilidades tecnológicas menos impactantes e mais eficientes.

Assim, é fundamental que se incentivem e desenvolvam as práticas de produção agrícola mais equilibradas com o meio ambiente, desde práticas de plantio que não utilizem agrotóxicos químicos, práticas que privilegiam as interações benéficas entre os seres do solo e técnicas mais eficientes, ambientalmente, de uso dos recursos, sobretudo hídricos, energéticos e o solo.

2 - OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é realizar a análise de sistemas de baixo custo para irrigação, aplicáveis a pequenos produtores. Para tal, foram identificados e descritos diferentes possibilidades para elevação, condução, filtração e irrigação em pequenos sistemas produtores. O estudo de caso foi a Horta Municipal de São Carlos, para a qual foi realizado o levantamento da demanda e das possibilidades de solução.

Este trabalho tem a pretensão de servir a quem procure alternativas simples, econômicas e ambientalmente mais equilibrado a sistemas convencionais de bombeamento, condução e irrigação.

3 - A CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUPERFICIAL

A obtenção de água superficial, a partir de rios, lagos, córregos e nascentes entre outros, pode ser feita dos mais diversos modos, indo desde as grandiosas obras realizadas em grandes rios às simples captações sem obras especiais, ou com construções rudimentares de terra, pedra, rama, etc. Entre os dois extremos, há um número infinidável de recursos que se pode lançar mão para a obtenção, a partir de mananciais superficiais, da água de que se carece.

O presente trabalho tratará apenas de obras simples e modestas necessárias ao provimento de água à irrigação de pequenas áreas.

Segundo o **regime** do curso de água e o seu **nível** em relação aos terrenos a serem irrigados, pode-se distinguir cinco sistemas principais diferentes de obtenção de água superficial:

- 1 – Derivação simples ou direta;
- 2 – Derivação por meio de diques (diques derivadores);
- 3 – Represamento ou açudagem;
- 4 – Derivação por meio de diques subterrâneos;
- 5 – Derivação por elevação mecânica.

3.1 – Derivação simples ou direta

Usada em rios de regime normal e perene (constante ao longo do ano todo), quando a vazão durante todo o ano for superior à vazão desejada e quando não é necessário se elevar a massa de água para aproveitá-la. Nessas condições, não há necessidade de obras especiais, passando parte ou a totalidade do curso de água para o canal de derivação, que a levará, por gravidade, aos terrenos a serem irrigados. A figura 1 ilustra um esquema simples deste modo de derivação de água.

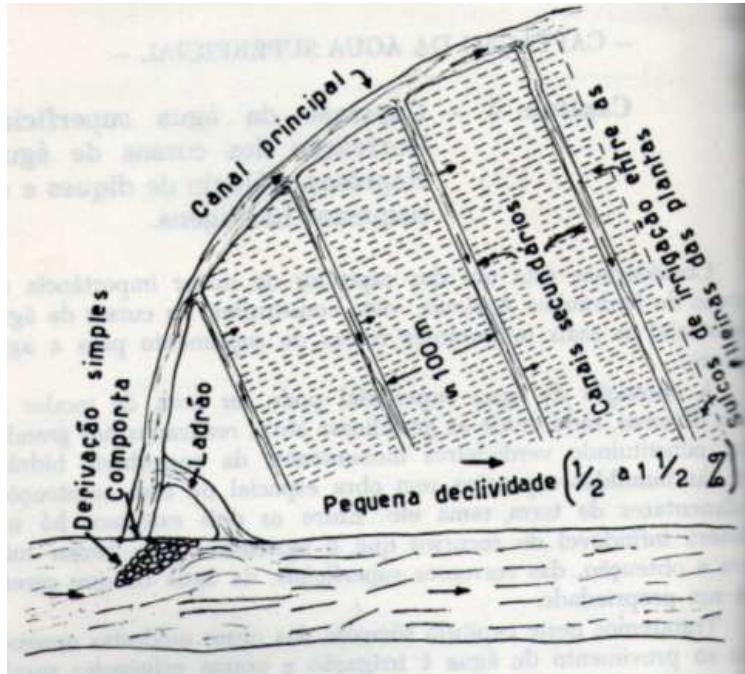


Figura 1- Derivação simples e esquema de irrigação. Fonte: DAKER, 1969

Para controlar a passagem da corrente do rio para o canal e para evitar o excesso de água por ocasião das enchentes (que poderia ocasionar o desmoronamento das paredes do canal) é recomendável o uso de uma comporta na entrada do canal. Após a entrada, é aconselhável colocar um ladrão no canal, para evitar que algum excesso que passe pela comporta prejudique todo o seu percurso.

Há casos mais simples deste processo de obtenção de água, realizadas em pequenos cursos nos quais toda a água é desviada para o canal, não sendo necessária a construção da comporta. Deve-se, de qualquer maneira, construir um ladrão para prevenir-se contra estragos ocasionados pelas enchentes (DAKER, 1969).

3.2 – Derivação por meios de diques (diques derivadores)

Usada quando a vazão do corpo d'água durante o ano inteiro for superior a vazão desejada e quando é necessária elevar a massa de água. A única finalidade do dique derivador é a de elevar a massa de água e, com isso, poder traçar-se um canal mais elevado (ganhando-se maior altura de queda numa instalação hidrelétrica; irrigando-se, por gravidade, terrenos situados a uma certa elevação, etc.). Eles não tem, portanto, a finalidade de acumular água no período de chuva para ser aproveitado no período de seca, objetivo este destinado ao represamento e à açudagem.

A construção de um dique derivador, também chamado dique nívelador ou barragem vertedora, implica a colocação de um obstáculo que modifique a livre circulação da água e dos sedimentos carreados pelo rio, ocasionando diversos efeitos que devem ser levados em consideração antes de se preceder a construção da obra.

Pode-se resumí-los nos seguintes:

- a** – Deposição de sedimentos arrastado pela corrente a montante do dique;
- b** – Queda de água a jusante do dique (que pode causar erosão no leito do rio e danificar a obra);
- c** – Maior corrosão das margens nas proximidades do dique;
- d** – Elevação do nível da água a montante, durante as cheias (que pode causar inundação nas margens).

A figura a seguir ilustra algumas disposições possíveis dos diques derivadores de água. Convém observar que deve haver uma **comporta** na entrada do canal, a fim de controlar ou interromper a vazão, e um **ladrão** logo no início deste, para evitar eventuais desmoronamento causado por vazões excessivas por ocasião das enchentes.

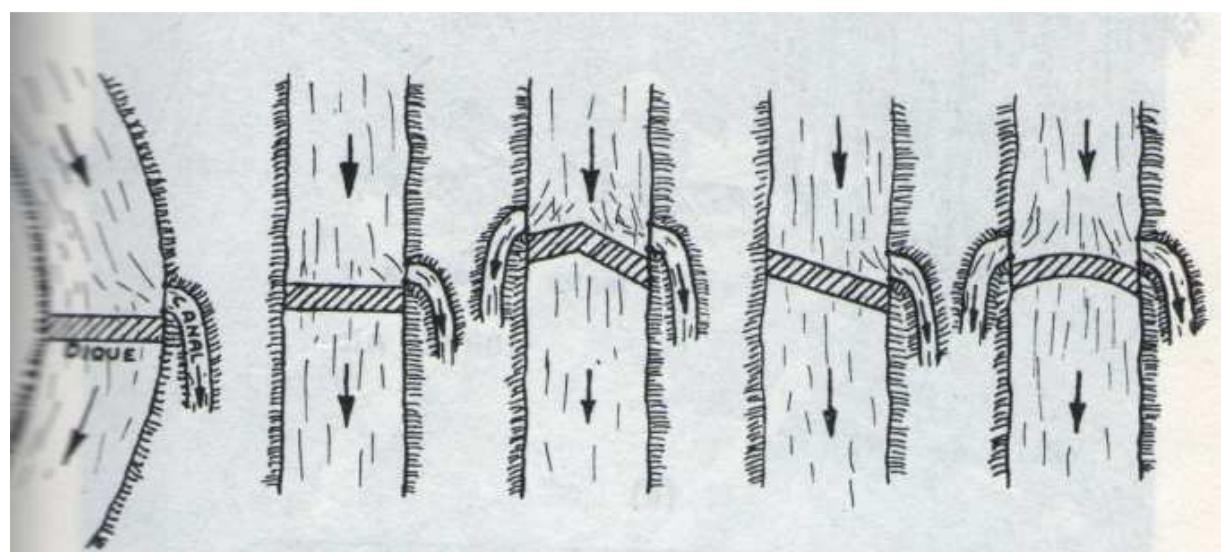


Figura 2 - Disposição dos diques derivadores. Fonte: DAKER, 1969.

Para cursos de água que carreiam muita areia e limo em suspensão, é conveniente prover o dique de **comporta de fundo**, a fim de, periodicamente, ser eliminado o material depositado, ou fazer uma **bacia de sedimentação** logo após a comporta de tomada, localizada antes ou conjuntamente com o ladrão.

A bacia de sedimentação, que também pode ser usada na derivação simples ou direta, pode ser formada por uma ampla escavação com paredes de terra ou alvenaria, permitindo o repouso da água para a deposição do material mais pesado, devendo haver, sempre que possível, descarregador de fundo para lavagens para assim aumentar a vida útil da barragem.

Os diques podem ser construídos com os mais diversos materiais, de terra a alvenaria, passando por madeira e pedra. Deve-se, sempre que possível utilizar o material disponível na região. Assim são apresentadas algumas opções a seguir:

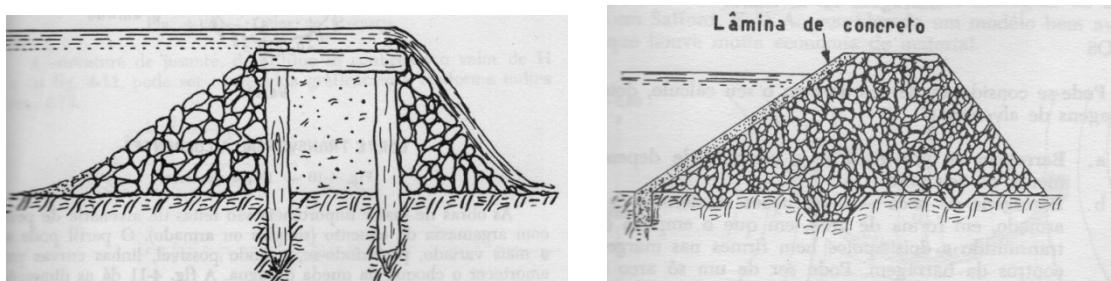


Figura 3- Dique de pedra e terra e enrocamento e cortina de concreto. Fonte: DAKER, 1969

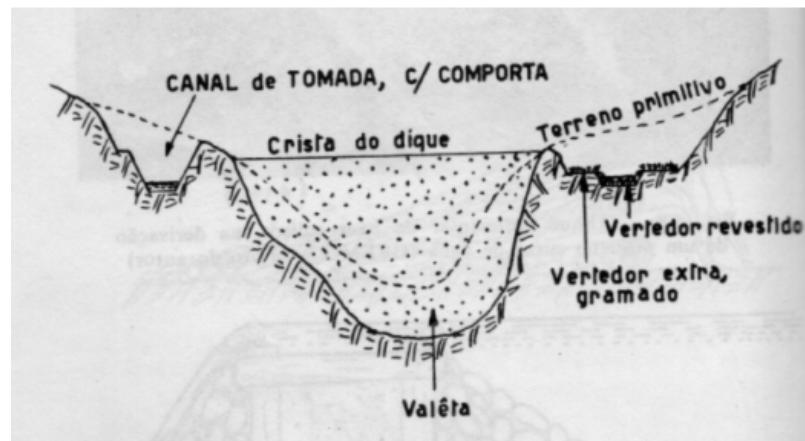


Figura 4- Corte transversal a corrente de dique de terra. Fonte: DAKER, 1969

3.3 – Represamento ou açudagem

Usado quando o curso de água oferece, em determinadas épocas do ano, vazão inferior à vazão desejada. Assim, torna-se necessário represar a água por meio de barragens especiais, acumulando-a nos períodos de chuva para ser aproveitada nos períodos de seca.

O termo represamento usualmente refere-se a obra em rios de regime perene, aqueles que durante todo o ano possui água em seu leito, ao passo que o termo açudagem refere-se a obras em rios de regime intermitente, aqueles que “secam” durante os períodos de maior estiagem. O represamento ou açudagem de um curso d’água pode ter uma, algumas ou todas as finalidades abaixo:

- Controle de inundação e regularização da vazão do rio a jusante da barragem;
- Obtenção de energia elétrica;
- Abastecimento de água para consumo animal e humano;
- Irrigação;
- Navegação;
- Criação de peixes;

- Recreação e embelezamento.

Nem todos os locais se prestam a um represamento ou açudagem, sendo necessário que detalhes topográficos e altimétricos, bem como a formação geológica do terreno, sejam favoráveis à construção da barragem e à formação do lago artificial. Preferencialmente, a barragem deve se localizar em um estreitamento ou uma garganta do curso, a fim de reduzir seu comprimento e custo.

A natureza geológica do local, que pode ser obtida através de sondagens, deve oferecer condições favoráveis à construção. Quando se trata de um afloramento de rocha, deve-se optar por barragens de alvenaria, uma vez que as de terra não se ligam bem a este tipo de material. No caso de se tratar de terrenos profundos, as barragens de terra normalmente têm preferência, em vista de seu baixo custo. Se o terreno for permeável até uma certa profundidade, torna-se necessário construir um núcleo central impermeável que atravesse toda a camada porosa até encontrar a camada ou rocha impermeável.

O local a ser submerso pelo futuro lago deve, preferivelmente, ter um alargamento suficiente para um maior armazenamento e uma declividade pequena para se ter mais volume com menos altura da barragem. Além disso, o local não deve apresentar acumulações ou estratificações salitrosas ou outras formações que sejam solúveis na água, tornando-a prejudicial à irrigação e outros usos.

As barragens podem ser constituídas de terra, pedra, alvenaria ou concreto armado. Observam-se na figura a seguir um exemplo de barragem constituída de terra e enrocamento:

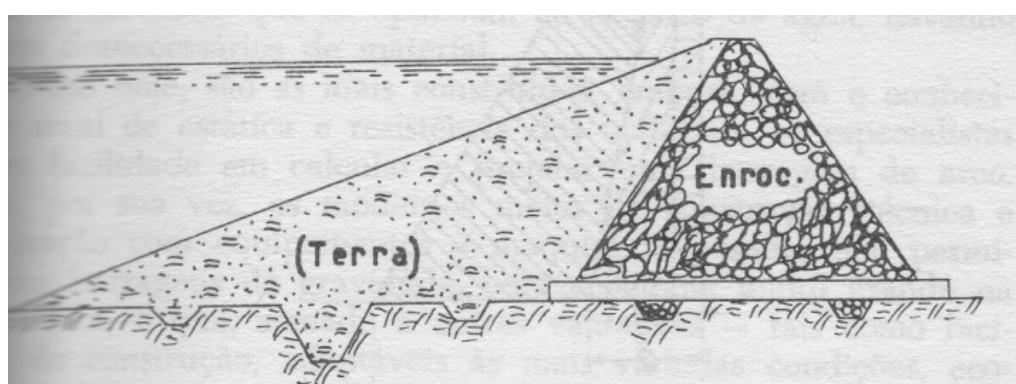


Figura 5- Barragem mista de terra e enrocamento. Fonte: DAKER, 1969

O represamento pode trazer algumas desvantagens quanto à qualidade da água, principalmente na questão que tange a proliferação de organismos na água. Algas tendem a se proliferar demasiadamente, o que pode ocasionar desequilíbrio no meio aquático.

Pode-se controlar o seu crescimento por meio de tratamentos químicos, mas em se tratando de pequenas captações, o simples cuidado de eliminar a matéria orgânica antes de entrar em decomposição pode dar resultados satisfatórios. A alga geralmente se acumula na

superfície do líquido e pode ser retirada manualmente com o auxílio, por exemplo, de uma peneira presa na extremidade de uma vara de bambu.

3.4 – Derivação por meio de derivação de diques subterrâneos

Este sistema é utilizado em rios de regime intermitente que, embora tendo o leito seco em determinadas épocas do ano, deixam passar apreciável quantidade de água no subleito permeável durante (quase) todo o ano.

No Brasil, este modo de derivação de água superficial tem um potencial maior de uso nos rios do nordeste (MINISTÉRIO DA IRRIGAÇÃO, 1988). Sendo os leitos constituídos de aluviões permeáveis, deixam passar grande quantidade de água no subleito, apesar de apresentarem a superfície seca. A obtenção destas águas se faz mediante a construção de diques subterrâneos em combinação com **galerias de captação** ou **galerias filtrantes**.

Os diques subterrâneos devem cortar o subleito do rio numa posição perpendicular à direção do rio. São constituídos por um muro vertical de alvenaria, que se apoia no fundo impermeável do subsolo, sendo a base projetada para montante, de onde é levantada um muro permeável de pedras soltas. Entre os dois muros fica constituída a galeria filtrante, que deriva a água do subsolo para uma ou ambas as margens do rio. A planta simplificada do dique e da galeria pode ser observada na Figura 6 a seguir.

Quando a vazão for muito pequena, pode-se aumentá-la um pouco, aumentando-se a superfície filtrante. Para isso, constroem-se uma ou mais **galerias secundárias** ou **longitudinais**, colocadas perpendicularmente à direção do dique subterrâneo. São constituídas por duas paredes de pedras soltas. Na figura a seguir observa-se o corte da estrutura.

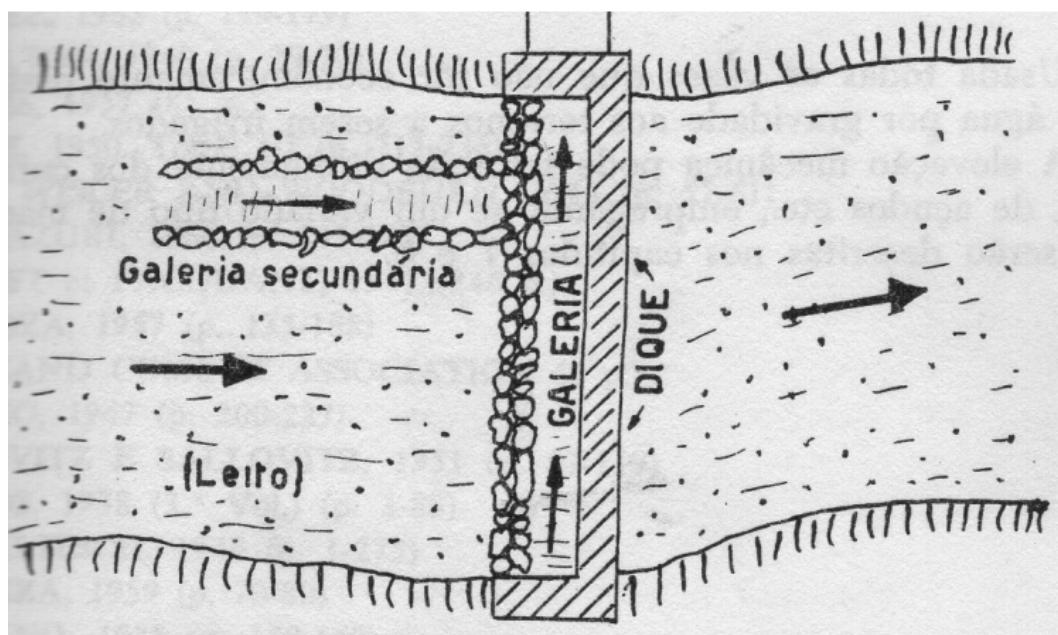


Figura 6- Galeria filtrante e secundária. Fonte: DAKER, 1969

O piso da galeria filtrante é inclinado para uma das margens ou para ambas. A parte superior pode ser coberta por uma lage. A água é recolhida em uma ou ambas as margens, podendo daí ter o destino conveniente.

Em vez de se construir diques subterrâneos para a obtenção das águas do subleito, pode-se, e muitas com vantagem econômica, utilizar **condutos** ou **tubos porosos subterrâneos**. Na figura 7, abaixo, tem-se a ilustração dos tubos porosos subterrâneos.

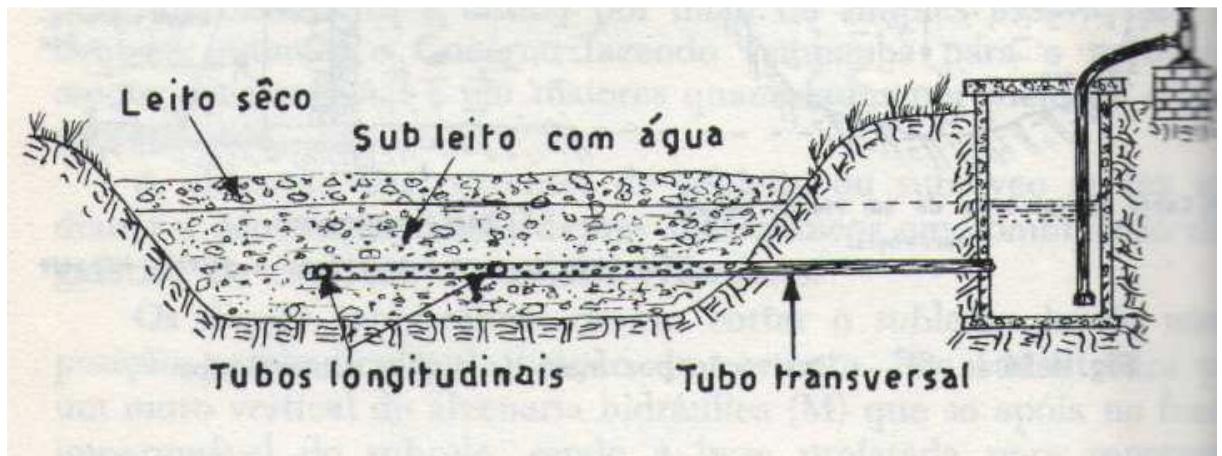


Figura 7 – Tubos porosos. Fonte: DAKER, 1969

3.5 – Derivação por elevação mecânica

Usada todas as vezes que não for tecnicamente viável levar água por gravidade aos terrenos a serem irrigados. A elevação pode ser feita diretamente dos cursos de água, de açudes, reservatórios, etc. empregando-se um tipo de máquina elevadora da água.

Há um grande e variado número de tipos de máquinas elevadoras e atualmente o acesso a inúmeros materiais e fontes de informação permitem a quem precisa desenvolver seu próprio sistema de elevação de água, utilizando o que tiver ao seu dispor.

Há diversas formas de classificar as máquinas elevadoras. Dentre elas, pode-se diferenciá-las quanto a forma pela qual é realizado o mecanismo de transporte da água. Assim, tem-se:

- Por transporte físico (sem pressurização da massa líquida);
- Por pressurização

3.5.1 Máquinas elevadoras por transporte físico

Neste grupo estão incluídas as máquinas mais simples e mais antigas, muitas das quais já tecnologicamente superadas e raramente utilizadas. Dentro desse grupo encontra-se baldes, noras, rodas d'água e parafuso de arquimedes, entre outros.

Amplamente utilizado durante muito tempo, o sistema de elevação por **balde**, do mais simples, puxados a mão livre ou por meio do sarrilho (cilindro horizontal usado para enrolar cordas ou cabos, para levantar pesos), até tipos mais aperfeiçoados, com dispositivos que permitem serem puxados por animais ainda é encontrado em uso em algumas regiões do país.

As **noras** ou **esteiras** foram muito usadas antigamente, antes do advento das bombas atuais, tendo seu uso diminuído nas últimas décadas. Tradicionalmente, existem duas maneiras principais de elevação de água por noras, a nora de balde e a nora de rosário.

A **nora de balde**, como mostra a figura 8, é constituída por um grande número de baldes montados numa cadeia sem fim que, recebendo o movimento de uma roldana colocada na parte superior, faz com que os baldes se enchem e elevem a água. Este movimento pode ser obtido com o emprego de um motor, com o auxílio de animais de tração, com a força do vento ou até com a força humana.

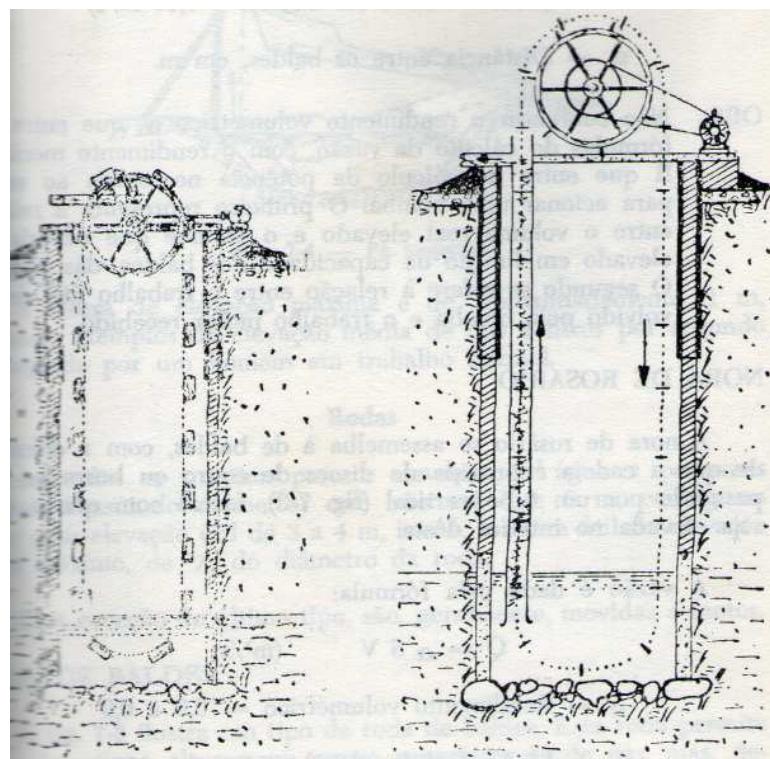


Figura 8– Nora de balde e nora de rosário. Fonte: DAKER, 1969

A vazão fornecida por essa máquina depende da capacidade dos baldes e da velocidade periférica da cadeia, isto é, do número de baldes que passam por segundo. Assim, tem-se a relação a seguir:

$$Q = \alpha \cdot c \cdot n$$

onde Q = Vazão [m^3/s];

α = Rendimento volumétrico = 0,7 a 0,8;

c = Capacidade de cada balde [m^3];

n = Número de balde por segundo.

A **nora de rosário** (figura 8) se assemelha a de baldes, com a diferença de que a cadeia é provida de discos de couro ou borracha que, passando por um tubo vertical, fazem com que a água seja elevada no interior deste.

A vazão é dada pela fórmula:

$$Q = \alpha \cdot S \cdot V$$

onde Q = Vazão [m^3/s];

α = Rendimento volumétrico = 0,8 a 0,9;

S = Seção do tubo de elevação [m^2];

V = velocidade da cadeia [m/s].

Ultimamente, tem-se desenvolvido sistema de elevação de água com a nora de rosário constituída materiais alternativos. Os discos podem provir de chinelos de borracha usados e a força motriz provém de um sistema de pedais de bicicleta usada. No **ANEXO 3**, são demonstrados os materiais necessários e os passos para a construção de um modelo deste tipo de máquina elevadora de água.



Figura 9– Nora rosário movida a bicicleta usada. Fonte: <http://www.agenciamandalla.org.br/>

As **rodas** se prestam a elevação de águas a pequenas alturas e normalmente funcionam acopladas em um motor. Possuindo diâmetros que normalmente vão de 5 a 6 metros, conseguem fazer uma elevação útil de 3 a 4 metros, isto é, a altura útil de elevação é, no máximo, de 2/3 do diâmetro da roda. A figura 10 ilustra um tipo de **roda de balde**.

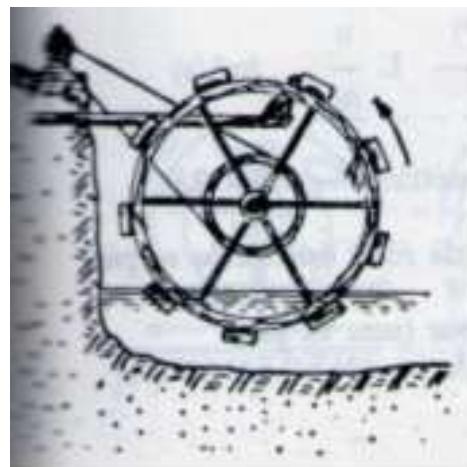


Figura 10– Roda de balde Fonte: DAKER, 1969

A vazão que pode dar uma **roda de balde** é determinada pela expressão;

$$Q = \propto \frac{ns}{60} c$$

onde Q = Vazão [m^3/s];

α = Rendimento volumétrico = 0,7 a 0,8;
 c = Capacidade de cada balde [m³];
 s = número de baldes da roda
 n = Número de rotações por minuto da roda.

Uma variação da roda de balde é a **roda de pás**, construída de madeira ou ferro, entretanto só consegue elevar a uma altura igual a metade do diâmetro da roda. Também funciona acoplada a um motor e pode dar um rendimento volumétrico de 70 a 90%, não devendo a velocidade tangencial ultrapassar 1 m/s (SMETT & WIJK, 2002). As rodas de pás foram muito utilizadas no passado, havendo muitos exemplos em vários países da Europa, especialmente na Holanda, na drenagem de campos baixos.

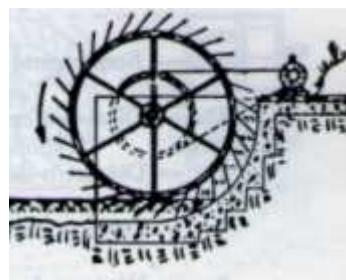


Figura 11– Roda de pás Fonte: DAKER, 1969

A vazão pode ser dada pela expressão:

$$Q = \alpha \frac{\pi(D_1^2 - D_2^2)}{4} L \frac{n}{60}$$

onde Q = Vazão [m³/s];
 α = Rendimento volumétrico = 0,7 a 0,9;
 D_1 = Diâmetro externo da roda (incluindo as pás) [m];
 D_2 = Diâmetro do tambor, sem as pás [m];
 L = Largura das pás [m];
 n = Número de revoluções por minuto.

Uma outra possibilidade de elevação de água utilizando-se rodas é a conhecida como **roda mista**, também conhecida como **Roda de Danúbio**, em referência ao largo uso deste tipo de mecanismo no rio Danúbio, importante rio europeu (DAKER, 1969). A roda mista é constituída por balde e por grandes pás, e utiliza a própria velocidade do corpo d'água na

elevação do líquido. É portanto, de uso mais conveniente do que os dois tipos anteriores, pois não necessita de motores ou outra energia externa para o seu funcionamento.

As pás são dispostas de tal maneira a receberem o movimento ocasionado pela velocidade da corrente, e os balde adaptados de modo a aproveitarem o movimento da roda para se encherem e elevarem o líquido até a canaleta superior, como ilustra a figura 12.

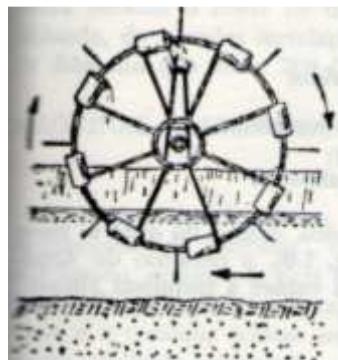


Figura 12– Roda mista Fonte: DAKER, 1969

Nos rios onde a variação do nível da água é pequena, pode-se instalar a roda mista nas margens, mas é mais comum instalá-las sobre flutuadores ou pequenas embarcações amarradas nas margens, a fim de acompanharem o nível da água, nas diversas épocas do ano. A vazão pode ser dada pela fórmula:

$$Q = \alpha N c$$

onde Q = Vazão [m^3/s];

α = Rendimento volumétrico = 0,7 a 0,9;

N = Número de recipientes por segundo;

c = Capacidade de cada recipiente [m^3].

Por fim, outro mecanismo de elevação de água por transporte físico é o **parafuso de arquimedes**, constituído por um tambor cilíndrico, dentro do qual se move um eixo provido de ampla hélice, o parafuso se presta à elevação de grandes vazões a pequenas alturas.

A sua invenção é atribuída a Arquimedes, apesar de existirem registros escritos sobre os jardins suspensos da Babilônia que descrevem um aparelho idêntico utilizado na Mesopotâmia cerca de 300 anos antes do seu nascimento.

Esta máquina originalmente era constituída por um parafuso colocado dentro de um tubo cilíndrico oco. Pode ser vista como um plano inclinado envolvido por um cilindro. A extremidade mais baixa é colocada na água e o parafuso é rodado (antigamente por um moinho de vento ou mesmo manualmente, atualmente por um motor elétrico). À medida que o tubo roda, a extremidade inferior arrasta um determinado volume de água que vai deslizando para cima ao longo do parafuso até sair pela extremidade superior do tubo (figura 13).

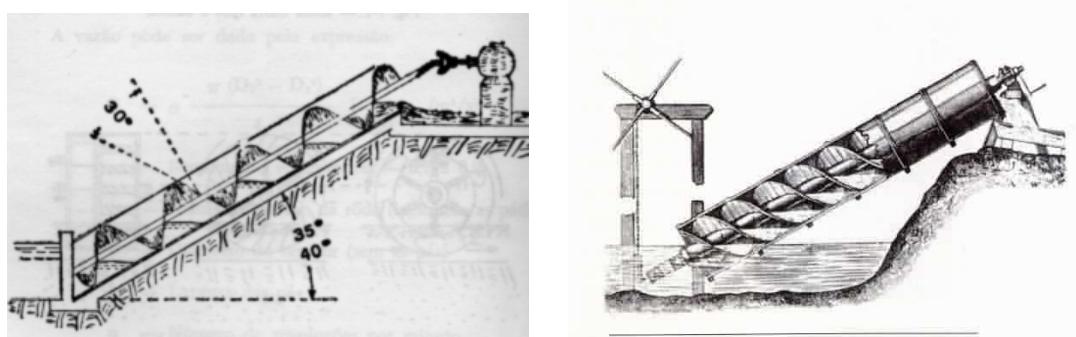


Figura 13– Parafuso de Arquimedes Fonte: DAKER, 1969

Na antiguidade foram utilizados em sistemas de irrigação pelos romanos para retirar água de minas e mais tarde nos países baixos europeus acoplados a moinhos de vento para drenar diversas regiões. Podem também ser utilizados para bombeamento de lamas, betão, esgotos e grãos de cereais, uma vez que os sólidos não causam grandes problemas de funcionamento.

Leonardo da Vinci concebeu um mecanismo parecido do de Arquimedes, no qual o parafuso foi substituído por um tubo helicoidal, como pode-se observar na figura 14. Inspirado neste, pode-se obter um aparelho semelhante de baixo custo utilizando-se uma mangueira grossa enrolada em forma de espiral em um corpo cilíndrico.

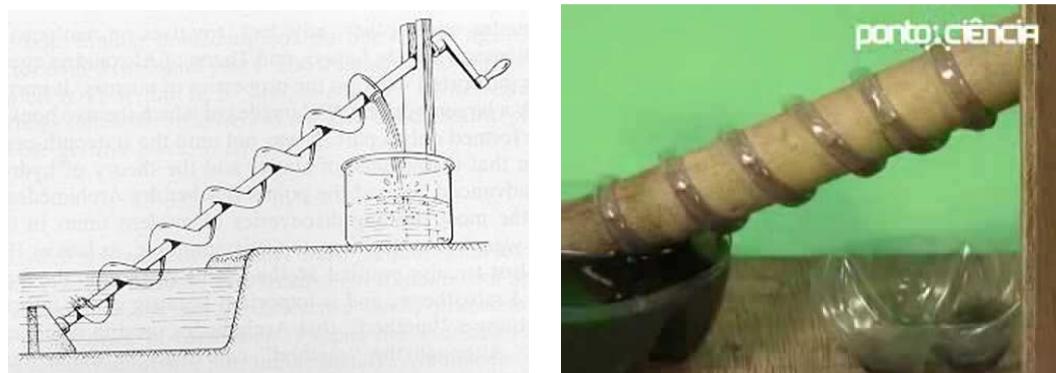


Figura 14– Parafuso de Leonardo da Vinci e de mangueira. Fonte: COTRIM, 2006

O comprimento do parafuso é de 10 a 15 vezes o seu diâmetro e o ângulo de inclinação em relação à horizontal deve ser maior que o da inclinação da hélice em relação ao seu eixo de rotação. Como este último tem, geralmente, o valor de 30 graus, a inclinação do aparelho deve ser de 35^0 a 40^0 (DAKER, 1969).

Um ser humano, trabalhando em boas condições, pode, com o auxílio de um parafuso de Arquimedes, elevar até 4 l/s a 1 m de altura durante 6 horas de trabalho consecutivo (SMETT & WIJK, 2002).

3.5.2 Sistemas de Elevação de água por pressurização

Através da pressurização da massa líquida, é possível realizar a sua elevação a alturas muito maiores que no sistema por transporte físico. A pressurização pode ser realizada de diversas formas, através do uso de motores elétricos, de combustíveis fósseis e de forças naturais, como o vento, o sol e a própria água. Sistemas de elevação com **bombas centrífugas** elétricas e a base de combustíveis fósseis como óleo diesel constituem a tecnologia atualmente mais utilizada. Portanto, em parte por causa da tecnologia já consolidada e em parte por não utilizar combustíveis e materiais sustentáveis e locais, esta tecnologia não será tratada neste trabalho.

É possível realizar a pressurização da água com as energias disponíveis no ambiente. Dentre as possibilidades tecnológicas, destacam-se o uso qualquer fonte de calor nos motores *Stirlings*; uso da energia eólica nos moinhos de vento e; da energia da própria água nas rodas d'água associada a bombas e carneiro hidráulico.

3.5.2.1 Bomba de Pistão Acionada por Roda d'Água

Este conjunto é formado por uma máquina motriz (roda) que aciona uma bomba alternativa (de pistão). É de muita utilidade em sítios, fazendas e locais onde existe um pequeno curso de água.

Constitui-se basicamente, de uma roda de chapas de aço dotada de caçambas, um eixo de transmissão, em aço, girando sobre mancal com rolamento de esferas, uma bomba alternativa dotada de conjunto de lubrificação, tubulação de sucção, câmara de ar, tubulação de recalque com válvula de retenção e um cavalete de sustentação do sistema (figura 15).

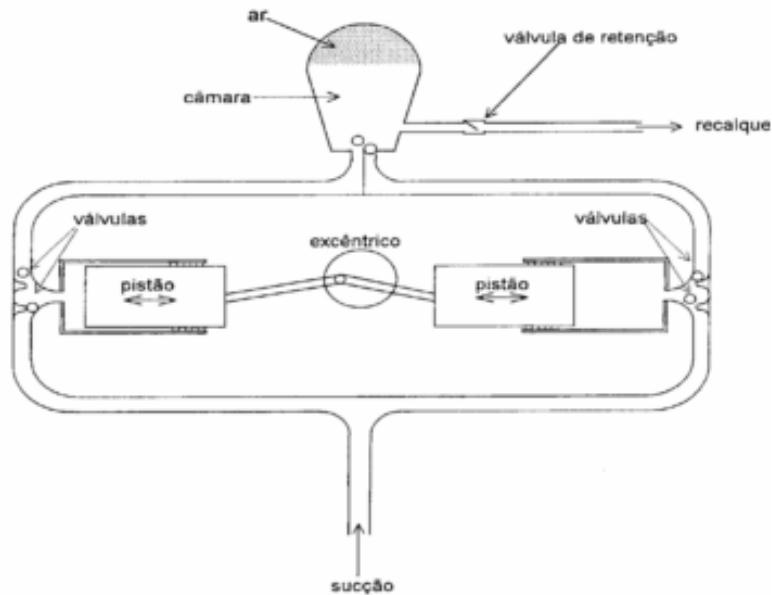


Figura 15 – Bomba com dois pistões acionada por roda d’água. Fonte: Barros, 2007.

Uma bomba alternativa pode ser caracterizada como aquela que possui movimento de vai e vem, de um pistão ou êmbolo, podendo ser para frente e para trás ou para cima e para baixo, diferindo do funcionamento das bombas centrífuga e rotativa que possuem movimento circular. O movimento circular da roda é transformado em movimento retilíneo, por meio de excêntricos instalados na extremidade do eixo de transmissão da roda d’água, cada um dos quais comanda uma biela e um pistão correspondente. Durante o movimento alternado de vai e vem, um dos pistões, pelo sentido do seu deslocamento, cria uma depressão (vácuo) abrindo a válvula de sucção, permitindo, assim, a entrada de água no cilindro devido à ação da pressão atmosférica reinante do reservatório de sucção.

Neste mesmo tempo, o outro pistão, pelo seu movimento, desloca ou força a abertura da válvula de descarga e a água escoa para fora do cilindro contra a pressão resultante da carga dinâmica. Um dos inconvenientes da bomba de pistão prende-se ao movimento intermitente da água recalculada. Esse inconveniente é atenuado com emprego câmaras de ar que funcionam como se fossem uma mola, tendendo a regularizar o jato d’água.

A bomba conjugada com roda d’água apresenta a característica de poder ser movimentada por águas superficiais sujas e contaminadas e bombear a água de boa qualidade de um poço raso, aberto nas proximidades, e elevá-la para o consumo a ser pretendido. Além disso, outras vantagens apresentadas com o uso desta bomba são: o nível da fonte de captação pode estar até a 6 m do eixo da bomba (recomenda-se utilizar valores

máximos de sucção menores que 6 m); as alturas de elevação e vazões recalcadas são, geralmente, maiores que aquelas obtidas pelos carneiros hidráulicos; à roda que aciona a bomba pode, também, ser acoplado um gerador de energia.

A seleção do tipo e tamanho da bomba e roda d'água depende da vazão de acionamento, altura total de recalque e vazão necessária. Os fabricantes fornecem dados relativos a instalação e produção de diferentes modelos de bombas e rodas, indicando ainda os diâmetros de tubulações a serem utilizados em cada situação.

Formas de acionamento da roda d'água

O acionamento da roda d'água pode ser feito de três formas:

a - Água impulsora caindo sobre a roda: Esta é a situação mais comum e mais eficiente. A água é levada até a roda através de um tubo PVC rígido ou de uma calha de madeira, alvenaria ou chapas de aço. A bica ou calha deve ter dimensão e inclinação adequadas para que água caia suavemente sobre a roda, atingindo as primeiras canecas situadas logo adiante do topo da roda. Pequenas ajustagens na posição da calha, para frente ou para trás, levarão à maior rotação e portanto, melhor rendimento. A calha ou bica deve ficar 5 a 10 cm acima do topo da roda. Os diâmetros do tubo para acionamento da roda podem ser obtidos pela tabela 2.

Tabela 2 - Diâmetro do tubo para acionamento da roda

| Vazão [L / s] | Diâmetro [pol] |
|-----------------|------------------|
| Até 2 | 2 |
| 2 a 4 | 3 |
| 4 a 8 | 4 |
| 8 a 15 | 6 |
| 15 a 30 | 8 |
| 30 a 50 | 10 |
| 50 a 70 | 12 |

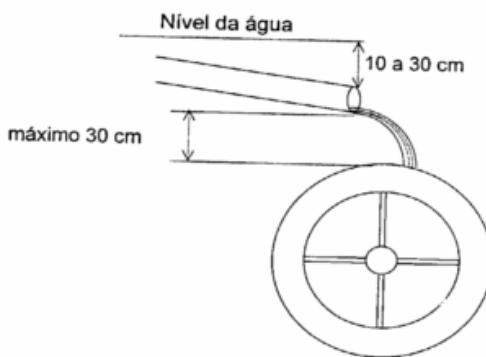


Figura 16- Roda d'água acionada por cima. Fonte: Barros, 2007.

b - Água impulsora passando sob roda de pás planas, em canaleta: É usado quando a queda do terreno for insuficiente para acionar a roda por cima. Nesse caso, a roda é instalada dentro de uma canaleta de alvenaria ou madeira com ligeira folga entre os lados e o fundo desta. A canaleta deve ser construída de maneira a aproveitar o máximo do desnível do terreno.

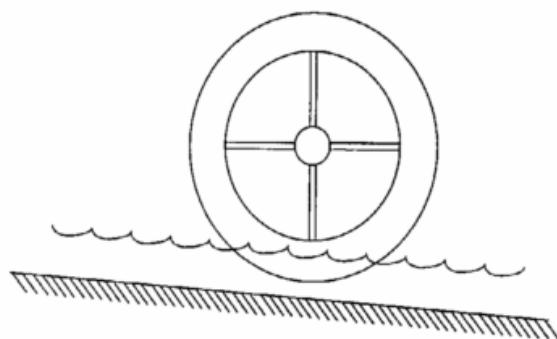


Figura 17 - Roda d'água acionada por baixo. Fonte: Barros, 2007.

c - Bomba sobre flutuadores: Trata-se de um conjunto projetado especialmente para ser usado em correnteza de rio ou ribeirão. É usado quando o terreno não dispõe de queda para acionamento normal (bica com água caindo sobre a roda) e nem desnível suficiente que permita o acionamento através de roda com pás planas em canaleta. Neste caso, a bomba é montada sobre flutuadores (dimensionados para perfeito equilíbrio e aproveitamento) e movida por roda especial de pás planas. A transmissão do movimento é feita por polias dentadas e corrente com opções de ajuste da rotação ao eixo da bomba. O conjunto poderá ser fixado às margens por cabos de aço ou com utilização de sistema de âncoras.

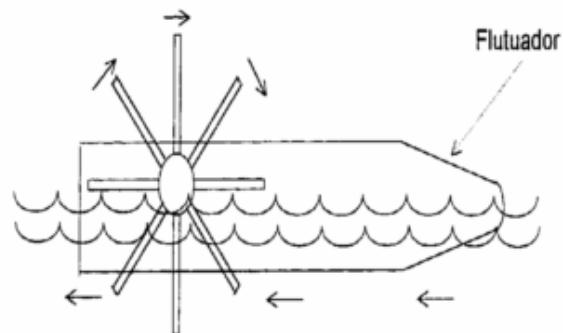


Figura 18 - Roda d'água sobre flutuadores. Fonte: Barros, 2007.

Instalação, operação e manutenção

O sistema deve ser montado sobre um suporte (cavalete) e instalado sobre uma base firme e nivelada, podendo ser de concreto ou alvenaria, de forma a evitar vibrações que poderiam afetar o bom funcionamento do sistema.

A tubulação de sucção é conectada à parte inferior da bomba sendo que a altura máxima de sucção não deve ultrapassar a 6m. É aconselhável trabalhar com máximas menores. Segundo recomendações de fabricantes deste tipo de bomba, a água deve entrar na bomba via sucção e não por gravidade. Deve-se ainda, revestir essa extremidade da tubulação com tela de malha fina a fim de evitar a passagem de detritos para o interior das válvulas da bomba, o que poderia causar falhas no rendimento da mesma.

A tubulação de recalque pode ser de tubos de ferro galvanizado, PVC rígido ou mesmo polietileno. Para tubulações de recalque longas e ou com grandes alturas de elevação, deve-se atentar para a escolha de um tubo que possa suportar a pressão que se desenvolverá no início da tubulação. Deve-se, no início da tubulação de recalque, instalar uma válvula de retenção.

Normalmente, este tipo de equipamento, se instalado, requer um mínimo de cuidado na manutenção. A manutenção periódica consiste da troca de óleo da bomba, regularmente, obedecendo critérios do fabricante e aperto e troca de gaxetas, também segundo as especificações para cada tamanho de bomba. A necessidade de aperto das gaxetas é identificada pelo excesso de vazamento de água entre o cilindro e o pistão.

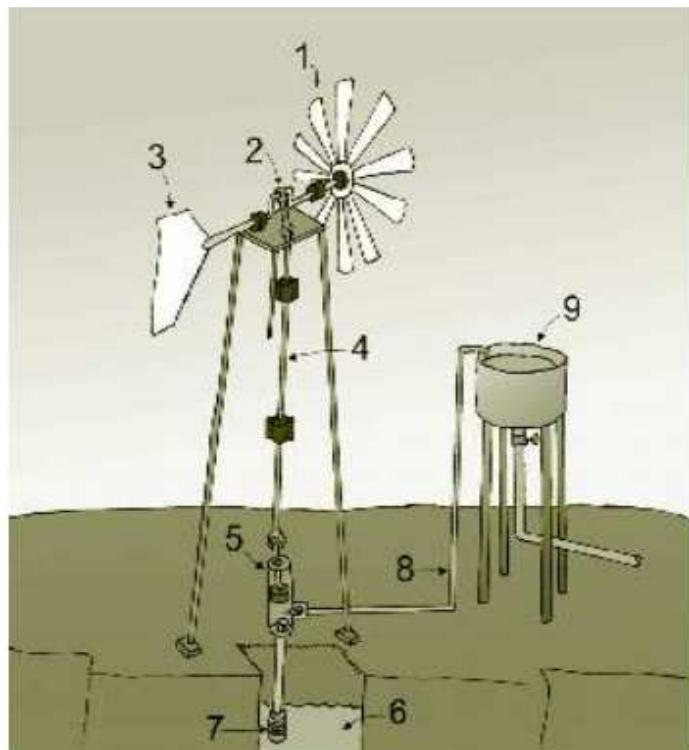
Este sistema permite uma regulagem do movimento excêntrico, podendo ser alterado o curso dos pistões (diminuindo ou aumentando o passo do excêntrico), adaptando-se assim, a diferentes valores de vazões disponíveis. Assim sendo, no período da seca, quando é comum a diminuição da vazão da água impulsora, ocorrerá uma queda de rotação da roda. Se esta queda de rotação for grande, a roda pode dar paradas, girando aos tombos. Neste caso, deve-se usar o recurso da redução do curso dos pistões.

Aumentando-se a água para acionar a roda, aumenta-se a rotação e portanto a produção da bomba. A relação entre a velocidade de rotação da roda e a produção da bomba é fornecida pelo fabricante.

3.5.2.2 MOINHO DE VENTO

O funcionamento de um moinho de vento ou catavento hidráulico baseia-se no aproveitamento do movimento da massa de ar, que ao passar pela hélice faz com que

suas pás girem. Com a transferência do torque, é possível utilizar vários tipos de bomba para a elevação da água. Usualmente, esta estrutura é instalada em conjunto com uma bomba do tipo pistão. Basicamente, este sistema de bombeamento é constituído por rotor eólico, bomba hidráulica, transmissão e dispositivo de controle. Como funcionam somente com a energia à disposição no momento, produzem potência variável ao longo do dia. Na figura a seguir, tem-se o esquema da estrutura de um catavento utilizado para bombear água.



1 – Rotor eólico 4 – Haste de acionamento da bomba 7 – Válvula de pé
 2 – Manivela 5 – Bomba a pistão 8 – Tubo de recalque
 3 – Mecanismo de controle 6 – Poço 9 – Caixa d'água

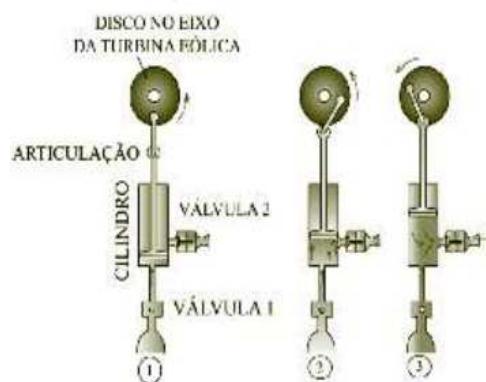


Figura 19– Catavento e detalhe da bomba pistão. Fonte: MME, 2007.

Geralmente é utilizado para bombear água para reservatórios posicionados a uma altitude elevada, muitas vezes na própria torre de sustentação do catavento. Do reservatório

a água pode então ser distribuída por gravidade a sistemas de irrigação por gotejamento, microaspersão ou superficial.

Existem vários modelos comerciais, variando-se o tipo escolhido conforme características próprias do local, como vazão requerida e ventos na região. A fonte de água que pode ser poço artesiano, poço semi-artesiano, açude, rio, represa, etc. e os tamanhos das torres de sustentação que podem ser de poucos a dezenas de metros. A escolha da bomba é em função do volume de água requerido, da capacidade e do tipo de poço ou da fonte de água.

Segundo Silva, Seraphim e Teixeira (2003), a vazão recalcada pode ser calculada de maneira aproximada pela relação a seguir:

$$Q = \frac{3600 \ P_{hidr}}{\rho \ g \ H}$$

Onde Q = vazão recalcada [m^3/s];

ρ = densidade da água [kg/m^3];

g = aceleração da gravidade [m/s^2];

H = Altura de elevação (desnível geométrico + perdas de carga) [m];

P_{hidr} = Potência hidráulica [W].

A potência hidráulica é obtida por:

$$P_{hidr} = 0,1 \ A \ V$$

Onde A = Área da pá [m^2];

V = Velocidade eólica média [m/s].

Para a escolha do sistema que atenda a vazão em função da altura manométrica, deve ser considerada a demanda diária de água em função da época do ano e da capacidade máxima de armazenamento deste volume.

É um sistema de alto custo de aquisição em comparação ao sistema de bombeamento elétrico convencional, mas de baixo custo de operação e manutenção. Uma necessidade básica para a instalação do sistema é que a região tenha ventos acima de 2,5 m/s (EMBRAPA CNPAT, 2010).

3.5.2.3 MOTOR STIRLING

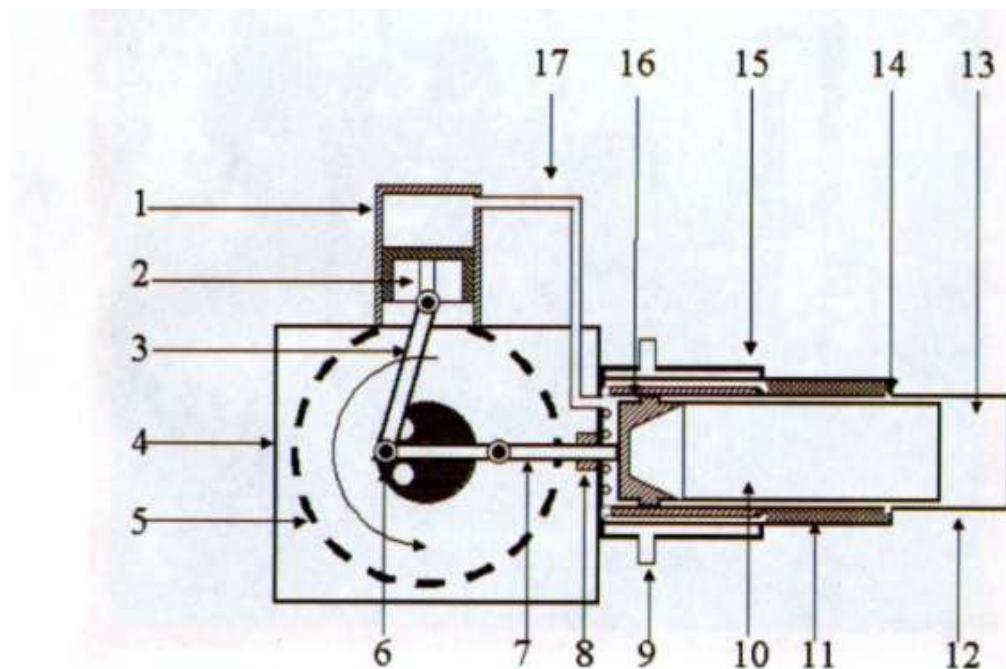
O motor Stirling, inventado por Robert Stirling em 1816, teve sua utilização abandonada em função da invenção de motores mais potentes, de combustão interna ou elétricos. Atualmente, essa tecnologia tem sido novamente pesquisada na Europa, Japão e EUA, devido à possibilidade de trabalhar com diferentes tipos de combustíveis. O equipamento é capaz de transformar qualquer fonte de calor em trabalho útil, usando todo tipo de combustível sólido, líquido ou gasoso que gere calor.



Figura 20– Foto de protótipo de motor Stirling. Fonte: EMBRAPA, 2010.

Esse motor não necessita de nenhum tipo de manutenção ou lubrificação e pode ser construído com baixo aporte de tecnologia. Combustíveis sólidos como restos de cultura, cavacos de madeira, gravetos, carvão, palha, papel, folhas secas etc, ou líquidos como álcool,

diesel, querosene, biodiesel, óleos vegetais (inclusive já usados para fritura) e também gases, como gás natural ou metano obtido a partir de biodigestores podem ser utilizados para o funcionamento do motor. Com sistemas de espelhos parabólicos, para concentração dos raios solares e do calor, é possível até o funcionamento do motor através da energia solar. Um esquema simples do interior do motor é apresentado na figura abaixo.



Legenda:

| | |
|--------------------------------------|---|
| 1 - Cilindro de potência | 10- Pistão deslocador de ar |
| 2 - Pistão de potência | 11- Filtro recuperador de calor |
| 3 - Biela do pistão | 12- Região de aquecimento do cilindro |
| 4 - Bloco de sustentação do motor | 13- Cilindro de expansão do ar |
| 5 - Volante de inércia | 14- Orifício para filtro recuperador de calor |
| 6 - Virabrequim | 15- Camisa do sistema de refrigeração |
| 7 - Haste do pistão deslocador de ar | 16- Anel de vedação do pistão |
| 8 - Gaxeta | 17- Tubulação de transferência de pressão |
| 9 - Sistema de refrigeração | |

Figura 21– Esquema do motor Stirling. Fonte: EMBRAPA, 2010

A EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) está conduzindo um projeto de pesquisa e desenvolvimento para construção de motores stirlings simples e de baixo custo, construído com materiais reaproveitados, como sucatas, latas de conserva e peças de computador. De acordo com o pesquisador da EMBRAPA Meio Ambiente, Aldemir Chaim, idealizador do invento, o motor apresenta várias utilidades para os agricultores, desde carregar pequenas baterias ou qualquer atividade que não necessite de motores muito potentes. Pode, por exemplo, ser aplicado nas bombas d'água em pequenos projetos de irrigação; retirada de água de poços para consumo humano; como gerador para

iluminação de emergência em residências; em atividades de lazer, como camping e pesca; carregador de celulares e baterias, e até na dessalinização da água.

Um protótipo desenvolvido na EMBRAPA Meio Ambiente, alimentado pelo calor de 300°C produzido por uma lamparina a álcool, com consumo de 100 mL/h, possui potência para acionar ao mesmo tempo uma bomba d'água com capacidade de 380 L/h e um pequeno gerador elétrico (dínamo de bicicleta) de 6 volts em 500mA (1,2 watts).

Aproveitando a atual tendência de queima de metano coletado por biodigestores que estão sendo montados por granjas de suínos e de aves e agroindústrias, na tentativa de minimizar as emissões de gases de efeito estufa, estuda-se ainda na EMBRAPA Meio Ambiente o aproveitamento do metano de um biodigestor como chama contínua, sem necessidade de pressurização ou engarrafamento, podendo o motor operar 24 horas por dia, sem necessidade de manutenção constante e sem custos adicionais de mão-de-obra, fazendo o aproveitamento nobre de uma energia que além de não estar sendo aproveitada ainda é um fator poluente importante.

O motor possui 4 fases de funcionamento, as quais são apresentadas na figura 21.

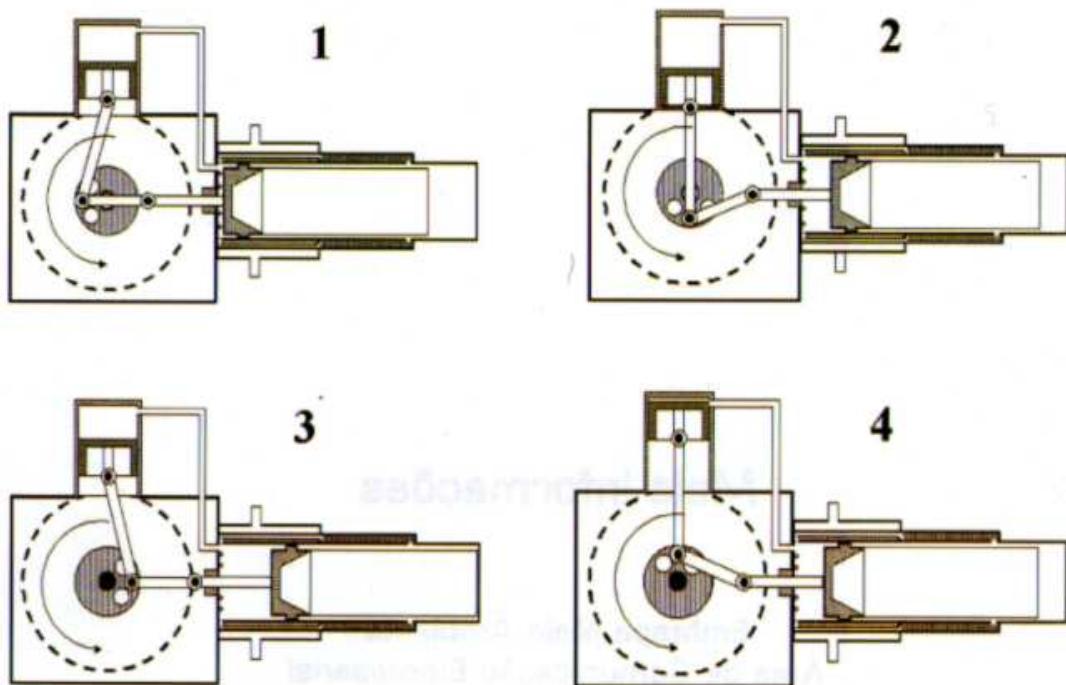


Figura 22– As quatro fases do motor Stirling. Fonte: EMBRAPA. 2010.

Na **fase 1** o pistão deslocado de ar se encontra no seu ponto de maior avanço, expondo maior volume de ar do interior do cilindro de expansão em aquecimento. Com o aquecimento do ar, a pressão se eleva forçando o pistão de potência a movimentar o virabrequim no sentido anti-horário.

O movimento do virabrequim força o pistão deslocador de ar a recuar na **fase 2**, bombeando o ar quente para o sistema recuperador de calor através de pequenos orifícios dispostos na parede do cilindro de expansão. O recuperador constituído de palha de aço filtra uma parte do calor do ar e a outra parte é resfriada ao atingir uma fresta anular existente entre a parede do cilindro de expansão e a camisa refrigerada pela água.

Na **fase 3** todo o ar se encontra na região fria do cilindro de expansão e a pressão fica negativa, forçando o pistão de potência a movimentar novamente o virabrequim no sentido anti-horário.

Na **fase 4** o pistão de potência atinge o seu máximo recuo, forçando o pistão deslocador a bombear o ar frio através de orifícios na base do cilindro e fresta anular para o espaço ocupado pelo recuperador. O ar frio, ao passar pela palha de aço do recuperador, se aquece parcialmente com o calor armazenado anteriormente, atingindo novamente o espaço do cilindro de expansão. Devido à inércia do volante, o virabrequim se movimenta no sentido anti-horário, puxando o pistão deslocador de ar para o seu maior avanço, retornando à **fase 1**.

3.5.2.4 BOMBA CARNEIRO

3.5.2.4.1 O Carneiro Hidráulico

A recente crise do fornecimento da energia elétrica convencional, principalmente em países subdesenvolvidos, tem ocasionado a exploração de fontes alternativas de energia (Abate & Botrel, 2002). Em muitos desses países não há, no setor rural, eletricidade, e os motores apresentam problemas atribuídos ao combustível e à manutenção; assim, o uso de carneiro hidráulico, equipamento amplamente empregado em propriedades rurais onde a energia é escassa ou inexistente, caracteriza-se como fonte alternativa ao bombeamento (Abate & Botrel, 2002).

A bomba carneiro hidráulico, também chamado bomba de aríete hidráulico, balão de ar, burrinho, etc, foi inventada pelo inglês John Whitehurst em 1772, porém necessitava de um operador para fazê-la funcionar. A partir desta invenção, os irmãos franceses Montgolfier tornaram o aparelho automático em 1796.

Trata-se de um aparelho muito simples e de grande utilidade para o abastecimento de água no meio rural, pois utiliza somente a energia da própria água em movimento. Para a realização do bombeamento com o carneiro hidráulico é necessário somente que haja uma queda mínima de cerca de 1m.



Figura 23– Carneiro hidráulico comercial

Dentre as vantagens do carneiro hidráulico, ABATE & BOTREL (2002) citam: custo de aquisição baixo, possibilidade de ser instalado ao ar livre, sem necessitar de casa de bombas, não utiliza energia externa para seu acionamento, pode ser utilizado 24 h por dia, bombeia sem emissão de poluentes ou gases, a energia de alimentação é livre e renovável, não utiliza motor e custos de operação são baixos. Como desvantagens: a eficiência é determinada pelas condições locais, o golpe de aríete é barulhento e somente uma fração da água que alimenta o sistema é bombeada, sendo o restante descartado. Podem ser usados carneiros hidráulicos associados em paralelo quando a quantidade de água não for suficiente (Lifewater International, 2000).

O carneiro hidráulico é uma máquina muito simples que pode ser adquirido pronto no mercado ou ser construído. Conforme mostra o esquema da figura 22, ele é constituído basicamente das seguintes partes:

- 1 - Tubulação de alimentação** (desempenha função de transportar a água da fonte à entrada do carneiro);
- 2 - Válvula de descarga** (serve para liberar a água não bombeada e também para gerar o golpe de aríete);
- 3 - Válvula de recalque** (controla a passagem da água da tubulação de alimentação para a câmara de ar);
- 4 - Câmara de ar** (armazena a pressão acumulada pelo golpe de aríete e impulsiona a água para a tubulação de recalque); e
- 5 – Tubulação de recalque** (conduz a água do carneiro ao reservatório superior).

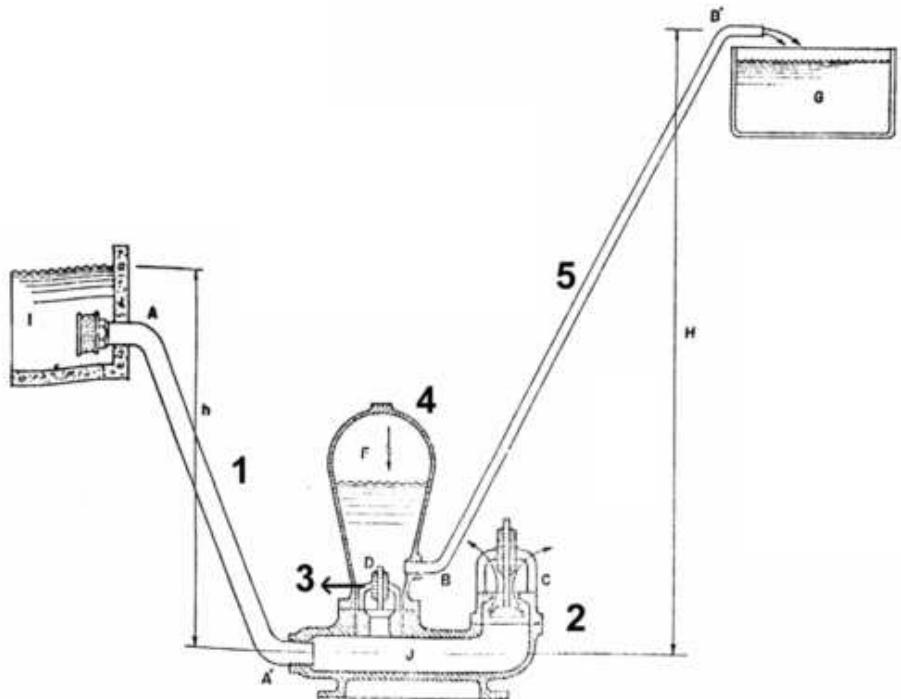


Figura 24 – Carneiro Hidráulico convencional. Fonte CERPCH, 2002.

O carneiro hidráulico é uma máquina capaz de aproveitar o efeito do “golpe de aríete” para bombear água. O “golpe de aríete” é um surto de pressão que ocorre em um tubo conduzindo água, cujo escoamento sofre uma interrupção abrupta. A água que chega ao carneiro hidráulico inicialmente sai por uma **válvula de descarga** (2), até o momento em que é atingida uma certa velocidade elevada. Neste momento, a válvula de descarga fecha-se repentinamente, gerando o golpe de Aríete, ocasionando uma sobrepressão em todo o sistema, que possibilita a elevação de uma parcela de água que nele penetra a uma altura superior à aquela de onde a água proveio, sem necessitar do auxílio de qualquer força motriz externa, bastando para isso que se tenha uma pequena queda hidráulica. Um esquema do carneiro hidráulico no campo pode ser observado a seguir.

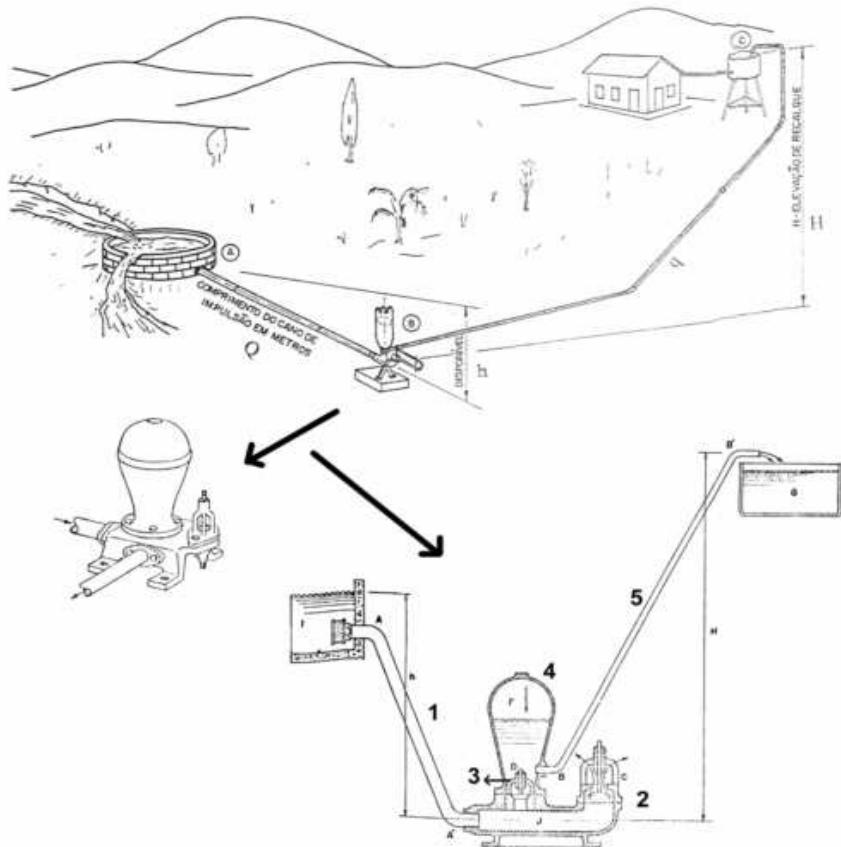


Figura 25 – Esquema de instalação de um carneiro hidráulico. Fonte CERPCH, 2002.

3.5.2.4.2 Funcionamento do carneiro hidráulico

Ao ser instalado o carneiro hidráulico tem a válvula de descarga (2) fechada pela ação da pressão da água do tubo de alimentação (1) para iniciar a operação do carneiro hidráulico basta abrir, com a mão a válvula de descarga. O funcionamento do carneiro hidráulico é automático. Para paralisar o carneiro, basta manter a válvula de descarga fechada.

Inicialmente esta mesma pressão força a abertura da válvula de recalque (3), que permite a entrada da água na câmara de ar (4). Desta forma o ar aí contido é comprimido até que as pressões se equalizem. Nesta situação o carneiro hidráulico está pronto para funcionar.

Para colocá-lo em funcionamento, basta acionar algumas vezes a válvula de descarga (2). Com a válvula de descarga aberta a água começa sair em pequenos esguichos até que, com o aumento da velocidade da água, ocorre o seu fechamento repentino.

A água que tinha uma velocidade crescente sofre uma interrupção brusca, causando um surto de pressão, o golpe de Aríete, que irá percorrer o carneiro e todo o tubo de alimentação (1). Este surto de pressão provoca a abertura da válvula de recalque (3), que por sua vez, permite a entrada da água na câmara de ar(4). A medida que o ar contido no interior da câmara vai sendo comprimido, uma resistência à entrada da água vai aumentando, até que a pressão no interior fique um pouco superior e provoque o

fechamento da válvula de recalque (3). A água contida no interior da câmara, impedida de retornar ao corpo do carneiro, só tem como saída o tubo de recalque (5).

Em momento posterior ocorre a formação de uma onda de pressão negativa que provoca a abertura da válvula de descarga(2), dando condições para a ocorrência de um novo ciclo. Com o desenrolar do ciclos sucessivos, a água começa encher o tubo de recalque (5) e sua elevação ocorre a medida que o ar da câmara (4) fica comprimido.

3.5.2.4.3 CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS

ABATE & BOTREL (2000) definem como características operacionais de um carneiro hidráulico: altura de recalque, desnível entre o reservatório de alimentação e o carneiro hidráulico, comprimento das tubulações, diâmetro das tubulações, material constituinte da tubulação de alimentação, quantidade de água desperdiçada, vazão, batidas por minuto e rendimento.

Para o funcionamento mais eficiente, deve-se assegurar um **constante fornecimento** de água ao sistema. Assim, se o nível da nascente ou córrego variar ao longo do ano, deve-se construir uma pequena represa ou reservatório, a fim de evitar a entrada de ar pelo tubo de captação e de normalizar a vazão.

A **altura de elevação** da água depende do carneiro hidráulico utilizado e das condições de instalação do mesmo. Corvalán & Gálvez (2000) encontraram 300 m de altura de recalque para o carneiro hidráulico que tem 0,51 m de diâmetro na tubulação de alimentação e eleva cerca de 0,06 m³/s. Jennings (1996) encontrou 120 m de altura de recalque para um carneiro hidráulico com vazão de 3,15 L/s.

O **comprimento da tubulação de alimentação** recebe diferentes recomendações: 5 a 10 vezes a altura de alimentação (BC Livestock Watering, 2000); 8 até 12 vezes a altura de alimentação para desníveis maiores que 3 m e 5 até 8 vezes a altura de alimentação para desníveis entre 3 e 7,5 m (Aqua Environment Co, 1997); pelo menos 5 vezes a altura de alimentação (Jennings, 1996); 4 a 6 vezes a altura de alimentação (Lifewater International 2000); e 6 a 12 vezes a altura de alimentação (Kitani & Willardson, 1984 e Krol, 1976).

Para um desempenho eficiente do carneiro hidráulico, ABATE & BOTREL (2000), indicam que a razão entre o comprimento e o diâmetro da tubulação de alimentação deve ser de 150 até 1000.

O **material da tubulação de alimentação** afeta o desempenho do carneiro. O módulo de elasticidade da tubulação causa significativas mudanças na elevação da pressão originada pelo golpe de aríete, decorrente da mudança de velocidade da onda de pressão na tubulação (Kitani & Willardson, 1984). Assim, Lifewater International (2000) afirma que a tubulação de alimentação deve ser constituída de material pouco flexível para a máxima eficiência; geralmente utiliza-se tubulação de aço galvanizado, ao invés de plástico, devido ao efeito do golpe de aríete.

CERPCH (2002) recomenda que deve-se evitar o uso de curvas e joelhos tanto na tubulação de alimentação quanto na de recalque. O mesmo aconselha que o tubo de alimentação deve estar mergulhado pelo menos 30 cm abaixo do nível da água para evitar a sucção de ar e deverá possuir uma tela para evitar entradas de objetos estranhos em seu interior e possivelmente causar um entupimento ou comprometimento da eficiência.

O **número de ciclos por minuto** difere entre carneiros hidráulicos. Jennings (1996) descreve que o ciclo se repete entre 20 e 100 por minuto, dependendo da razão entre as vazões de alimentação e de recalque. Já Kitani & Willardson (1984) descrevem que o ciclo se repete com uma freqüência de 30 a 100 por minuto, dependendo da construção do carneiro e dos ajustes.

Para menor número de batidas por minuto, desenvolve-se maior pressão, consequentemente recalca-se maior vazão por batida. É conveniente ensaiar, em cada instalação, vários números de batidas e selecionar aquela que proporciona o melhor rendimento ou a maior vazão de recalque.

3.5.2.4.4 DIMENSÃO DO CARNEIRO HIDRÁULICO

A capacidade ou tamanho do carneiro hidráulico refere-se à vazão de água de entrada, não levando em consideração a vazão de recalque; cada carneiro hidráulico necessita de uma vazão mínima e uma máxima para seu bom funcionamento. Fabricantes afirmam que vários fatores devem ser respondidos para a seleção do tamanho do carneiro hidráulico: vazão de alimentação, que deve ser verificada no período mais seco do ano; desnível entre o reservatório de alimentação e o carneiro hidráulico (m); altura de recalque (m); vazão de recalque (L/s) e comprimento da tubulação de recalque (m). A tabela 3, a seguir, permite escolher o tamanho comercial definido pelo número do carneiro hidráulico.

Tabela 3 – Tamanho e característica do carneiro hidráulico industrial.

Carneiros tipo Jordão

| Tamanho | Diâmetro dos tubos | | Vazão de alimentação Q [L/min] | Relação h/H máxima |
|---------|--------------------|--------|----------------------------------|--------------------|
| | Entrada | Saída | | |
| 0 | 3/4" | 1/2" | 10 | 1 : 30 |
| 0 0 | 1" | 1/2" | 3 a 20 | 1 : 30 |
| 0 0 0 | 1 1/2" | 1" | 7 a 45 | 1 : 30 |
| 1 | 2" | 1/2" | 3 a 20 | 1 : 40 |
| 2 | 1 1/2" | 1" | 7 a 45 | 1 : 40 |
| 3 | 2" | 1 1/4" | 20 a 90 | 1 : 40 |
| 4 | 3" | 2" | 40 a 200 | 1 : 40 |
| 5 | 4" | 2" | 80 a 360 | 1 : 40 |
| 6 | 6" | 3' | 200 a 800 | 1 : 40 |

Carneiros Cleverson, Queiroz Júnior e Marumby

| Tamanho | Diâmetro dos tubos | | Vazão de alimentação Q [L/min] | Queda Mínima [m] |
|---------|--------------------|--------|----------------------------------|------------------|
| | Entrada | Saída | | |
| 2 | 3/4" | 3/8" | 3 a 10 | 1,5 |
| 3 | 1" | 1/2" | 6 a 15 | 1,5 |
| 4 | 1 1/2" | 1/2" | 10 a 25 | 1,5 |
| 5 | 2" | 3/4" | 20 a 50 | 1,5 |
| 6 | 2 1/2" | 1" | 42 a 90 | 1,5 |
| 7 | 2 1/2" | 1 1/4" | 80 a 140 | 1,5 |

Carneiros tipo Rife

| Tamanho | Diâmetro dos tubos | | Vazão de alimentação Q [L/min] | Queda Mínima [m] |
|---------|--------------------|--------|----------------------------------|------------------|
| | Entrada | Saída | | |
| 10 | 1 1/4" | 3/4" | 8 a 24 | 1 |
| 15 | 1 1/2" | 3/4" | 24 a 45 | 1 |
| 20 | 2" | 1" | 30 a 70 | 1 |
| 25 | 2 1/2" | 1" | 45 a 100 | 1 |
| 30 | 3" | 1 1/4" | 80 a 150 | 1 |
| 40 | 4" | 2" | 120 a 280 | 1,2 |
| 60 | 6" | 3" | 280 a 570 | 1,2 |
| 80 | 8" | 4" | 570 a 1140 | 1,2 |
| 120 | 12" | 5" | 1420 a 2460 | 1,2 |

De acordo com CERPCH (2002), a capacidade do carneiro hidráulico, ou seja, a vazão recalculada ("aproveitada") pode ser obtida através da relação entre a vazão de alimentação do sistema, das alturas de queda e total de recalque (desnível entre o carneiro e o reservatório superior somado das perdas de carga) e do rendimento do sistema, conforme se analisa na equação a seguir:

$$Q \cdot h \cdot R = q \cdot H$$

Portanto:

$$q = \frac{R \cdot Q \cdot h}{H}$$

onde: q = vazão recalculada [L/min]

R = rendimento do carneiro hidráulico (tabela 4, abaixo)

Q = vazão de alimentação [L/min]

h = Altura de queda [m]

H = Altura Total de recalque (Desnível geométrico+ Perda de Carga [m])

O **rendimento** do carneiro refere-se ao aproveitamento de água feito, ou seja, é a relação entre a vazão recalculada e a vazão de alimentação. Ele depende principalmente da relação da altura de queda do reservatório de alimentação até o carneiro hidráulico (h) e altura total de recalque (desnível somado de perdas) do aparelho ao reservatório superior (H), do comprimento do tubo de captação (L) e, ainda, da perfeição com que é fabricado o aparelho.

Azevedo Netto & Alvarez (1988), afirmam que o rendimento de um carneiro convencional varia entre 20 e 80%. De acordo com CERPCH (2002), o rendimento do carneiro hidráulico fabricado com garrafa PET está entre 20 e 60%. A tabela 4 apresenta valores médios de rendimento hidráulico para diferentes relações de h/H .

Tabela 4 – Rendimento do carneiro hidráulico de garrafa PET para diferentes valores de h/H

| h/H | Rendimento (%) |
|-------------------------|-----------------------|
| $\frac{1}{2}$ | 60 |
| $\frac{1}{3}$ | 55 |
| $\frac{1}{4}$ | 50 |
| $\frac{1}{5}$ | 45 |
| $\frac{1}{6}$ | 40 |
| $\frac{1}{7}$ | 35 |
| $\frac{1}{8}$ | 30 |
| $\frac{1}{9}$ | 25 |
| $\frac{1}{10}$ | 20 |

Segundo GIRARD e GIORDANI (2008), se o local de instalação da bomba apresenta algum limite de desnível ou comprimento do tubo de captação, pode-se calcular a altura

H de recalque que a água pode atingir em função desses limites de altura de queda **h** e de comprimento **L** do tubo de captação, usando-se a seguinte fórmula:

$$H = \left(\frac{L \times h}{0,3 + h} \right)$$

Ainda segundo os mesmos autores, se não há limites de desnível e de comprimento em função tipo de terreno, para que a água seja recalculada a uma altura **H** desejada, o comprimento do tubo de captação pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$L = \left(\frac{H}{h} \times 0,3 \right) + H$$

3.5.2.4.5 CARNEIRO HIDRÁULICO COM GARRAFA PET

Considerando a escassez de recursos financeiros em uma propriedade e a reutilização de materiais ainda aptos de uso, é possível fabricar carneiros hidráulicos maneira não industrial, utilizando-se tubo de PVC (Barreto & Lima, 1997), madeira e PVC (Silva & Rêda, 1991) ou peças metálicas e garrafas de polietileno tereftálico, conhecido pela sigla como PET.

As garrafas PET têm sido largamente empregadas na substituição de alguns materiais no meio rural e urbano, podendo-se observar, em pesquisas, tais como o reúso em tubulações para sistemas de irrigação de baixa pressão (Mapurunga et al., 2003), a desinfecção de efluentes com esses tratamento terciário utilizando-se energia solar (Paterniani & Silva, 2005) e aquecedores solares de baixo custo.

É também possível a utilização da garrafa PET como alternativa à **câmara de ar** em carneiro hidráulico, cujo material é usualmente de ferro fundido (CERPCH, 2002; CARARO, DAMASCENO, GRIFFANTE & ALVARENGA, 2007 e GIRARDI & GIORDANI, 2008). Desta maneira, pode-se realizar a construção de um carneiro hidráulico com materiais alternativos utilizando-se acessórios de tubos hidráulicos encontrados em lojas de comércio de matérias de construção e uma garrafa PET. Existe mais de uma alternativa na confecção da bomba, sendo que todas possuem as 5 unidades básicas de um carneiro hidráulico descritas anteriormente. Uma esquema deste carneiro pode ser observado na figura 26.



Figura 26– Carneiro com garrafa PET. CERPCH, 2002.

A escolha do tamanho do carneiro montado com garrafas PET está relacionada com a queda (**h**) e vazão de alimentação (**Q**). A quantidade de água aproveitada, (**q**), será função do tamanho do carneiro e da relação entre a queda disponível e a altura de recalque. (**h/H**). A tabela 5 fornece diâmetros de alimentação e de recalque necessários em função da vazão de alimentação:

Tabela 5– Diâmetros de alimentação e de recalque para várias vazões de alimentação para Carneiro de PET

| Vazão de Alimentação (Q) [litros/hora] | Vazão de Alimentação (Q) [litros/minuto] | Diâmetro do tubo de entrada [polegadas] | Diâmetro do tubo de saída [polegadas] |
|--|--|---|---------------------------------------|
| 420 a 900 | 7 a 15 | 1 | 1/2 |
| 660 a 1560 | 11 a 26 | 1 1/4 | 1/2 |
| 1320 a 2700 | 22 a 45 | 2 | 3/4 |
| 4200 a 7200 | 70 a 120 | 3 | 1 1/4 |

CERPCH (2002) recomenda que a dimensão dos acessórios de tubos que comporão as partes do carneiro hidráulico deve ser em função do diâmetro do tubo de entrada. Assim, observa-se na tabela 6 o material necessário e as respectivas dimensões para a construção de um carneiro. Na figura 27, tem-se a sequência das peças no carneiro.

Tabela 6 – Material necessário para a construção de um carneiro hidráulico com diâmetro de entrada entre 1", 2" e 3".

| Material | Peça No | Diâmetro de entrada | | |
|--|------------|---------------------|---------------|----------------|
| | | 1" | 2" | 3" |
| Garrafa PET 2 Litros | 1 | --- | --- | --- |
| Tampa da garrafa com furo de 15 mm (diam.) | 2 | --- | --- | --- |
| Bucha redução | 3 | --- | 1" x ¾" | 2" x ¾" |
| Tê PVC branco rosca | 4 | ¾" | 1" | 1" |
| Bucha redução PVC branco rosca | 5 | ¾" x ½" | 1" x ¾" | 2" x 1" |
| Adaptador preto para mangueira | 6 | ½" | ¾" | 1" |
| Niple PVC branco | 7 | ¾" | 1" | 2" |
| Bucha de redução PVC branco rosca | 8 | 1" x ¾" | 2" x 1" | 3" x 2" |
| Válvula retenção vertical (tipo Docol) | 9 | 1" | 2" | 3" |
| Niple galvanizado | 10 | 1" | 2" | 3" |
| Tê galvanizado | 11 | 1" | 2" | 3" |
| Niple galvanizado | 12 | 1" | 2" | 3" |
| Válvula de poço docol (latão docol) | 13 | 1" | 2" | 3" |
| Parafuso com três porcas e uma aruela | 14 | 5/16 ou M8 | 5/16 ou M9 | 5/16 ou M10 |
| Mola do acionador da válvula de descarga para vaso sanitário marca (hydra) | 15 | --- | --- | --- |

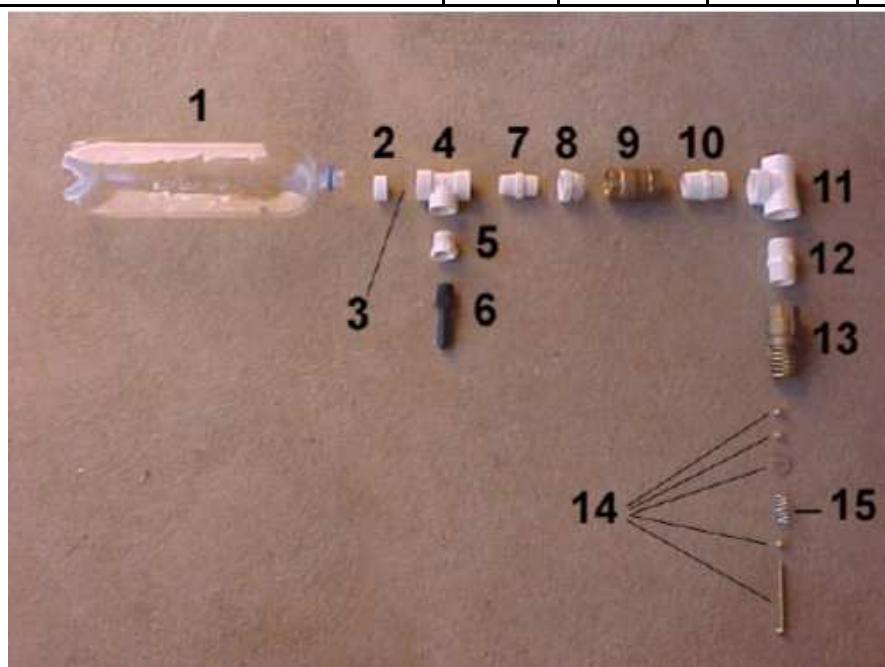


Figura 27 – Carneiro hidráulico de PET desmontado. CERPCH, 2002.

Na montagem deve-se ter atenção com relação à válvula de descarga (**peça 13**, **TABELA 5**). CERPCH (2002) instrui que para que o tampão desta válvula funcione como válvula de descarga do carneiro hidráulico é preciso seguir corretamente os seguintes procedimentos:

- 1- Furar a base do crivo, que acompanha a válvula de retenção, com um furo de diâmetro adequado a fazer uma rosca para o parafuso (**peça 14**).
- 2- Rosquear o orifício.
- 3- Rosquear uma das porcas até a posição intermediária do parafuso (**peça 14**).
- 4- Rosquear o parafuso (**peça 14**) até que a porca encoste no fundo do crivo.
- 5- Entre duas porcas, prender a arruela na ponta livre do parafuso.
- 6- Ao repor o crivo na válvula, inserir entre a arruela e o tampão da válvula a mola (**peça 15**).

Para colocá-lo em funcionamento deve-se ajustar a força da mola (**peça 15**), atuando-se na porca de aperto da haste (**peça 14**). O ajuste é feito procurando posicionar a porca onde ocorre a maior vazão de água recalculada.

CONSIDERAÇÕES

O carneiro hidráulico fabricado com garrafa PET é um aparelho relativamente recente, com pouca informação técnica e de grande importância. A sua aplicação requer estudos que melhorarem seu desempenho por mudanças em suas características construtivas e quantifiquem sua vazão de recalque, desperdiçada, e rendimento.

Atualmente, há algumas pesquisas sobre o carneiro hidráulico feito com garrafa PET sendo conduzidas a fim de aumentar o uso desta tecnologia. Nesta linha, baseado em trabalho de GIRARDI e GIORDANI (2008), apresenta-se no **ANEXO 2** um manual simplificado de uma alternativa construtiva à apresentada anteriormente.

CARARO, DAMASCENO, GRIFFANTE & ALVARENGA (2007) investigaram o funcionamento da bomba utilizando-se diversos tamanhos de garrafas para câmara de ar (600 ml, 1,5 l, 2 l e 2,5 l), diâmetro do furo na tampa das mesmas (5, 15 e 25 mm) e posição da válvula de descarga (horizontal e vertical). Concluíram que a combinação de características construtivas que possibilitam melhor rendimento, consequentemente maior vazão recalculada, menor vazão de alimentação e menor desperdício, foi o uso de garrafa PET descartável com capacidade de 0,6 L, válvula de escape na horizontal e tamanho de furo de 25 mm na tampa da garrafa.

3.5.2.4.6 CARNEIRO DE DUPLA AÇÃO

Quando a água que se pretende elevar for insuficiente ou não puder ser desperdiçada no trabalho de elevação (água pura de uma fonte, por exemplo) é possível fazer-se do uso, se houver no local, de uma água impura para a realização do trabalho e

assim elevar quase a totalidade da água requerida (DAKER, 1969). Emprega-se, para este trabalho um aparelho suplementar que pode ser adicionado ao carneiro e que tem o nome de “aparelho divisor”. O conjunto deste com a instalação simples recebe o nome de **carneiro de dupla ação**.

A figura 28 dá o corte esquemático de um carneiro de dupla ação. Vê-se que seu funcionamento é semelhante ao do carneiro comum, sendo que a água pura deve estar em nível inferior à água suja e deve entrar no aríete com uma pressão equivalente a uma altura de 50 a 60 centímetros. Sendo maior esta, deve ela ser reduzida por meio de um reservatório intermediário ou por meio de um registro e um tubo de nível para verificação. No momento do golpe, a válvula de retenção **M** fecha o orifício **N**, penetrando água na câmara de ar **G**.(DAKER, 1969)

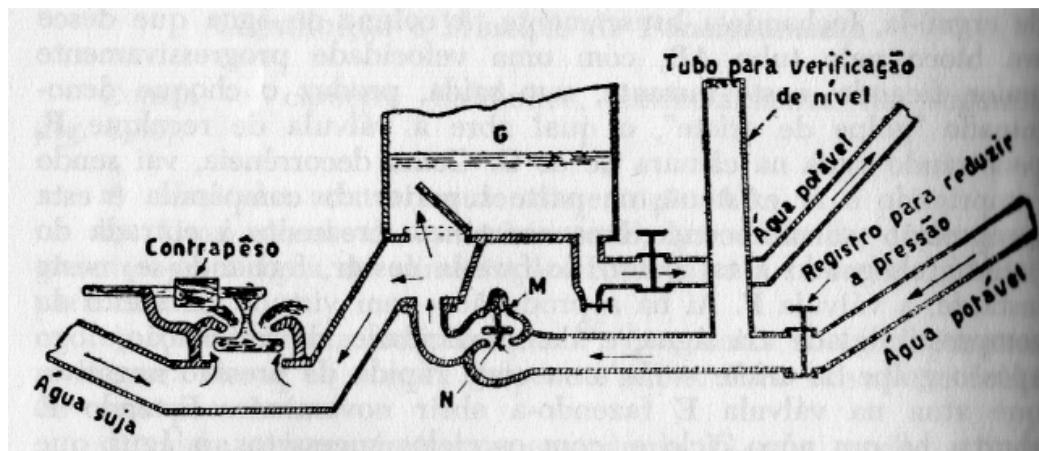


Figura 28– Corte esquemático do interior de um carneiro de dupla ação. Daker, 1969.

A figura 29 dá o esquema de instalação de um carneiro de dupla ação, sendo necessário proceder-se a uma cuidadosa regulagem do funcionamento a fim de se evitar a contaminação pela água suja. Segundo DAKER (1969), quando o aparelho está bem calibrado, cerca de 2/3 da água desejada é elevada, sendo o restante, 1/3 descartados junto com a água suja.

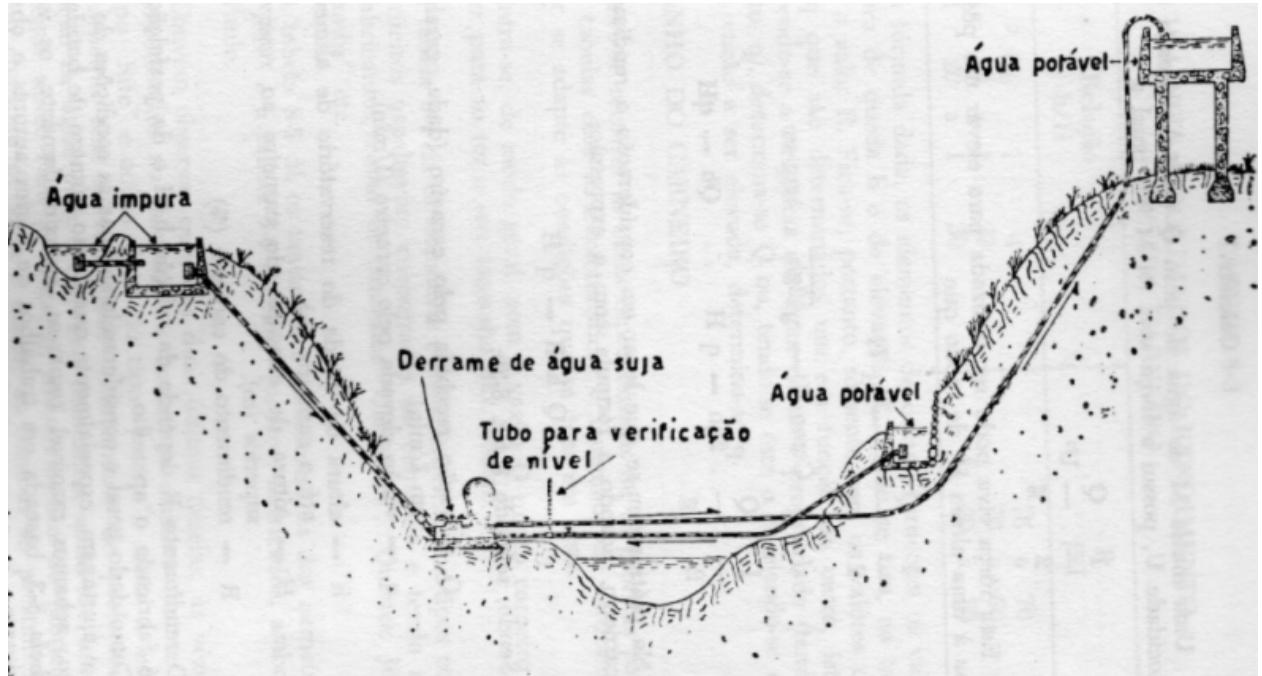


Figura 29—Esquema de instalação de um carneiro de dupla ação. Fonte: Daker, 1969

Seu uso é recomendado com restrições, pois é um aparelho de difícil calibragem.

4 - TRATAMENTO DA AGUA

A qualidade da água para irrigação pode ser avaliada sob os aspectos físicos, químicos e biológicos. Em todos os casos, deve apresentar limites de qualidade para fins de uso na irrigação.

Com relação aos fatores físicos, espera-se que a água seja limpa, principalmente sem a presença de sedimentos que possam prejudicar a irrigação. A presença de partículas sólidas na água podem ocasionar problemas de desgaste de equipamentos e acessórios, como gotejadores. Os principais problemas associados às características químicas da água são a salinidade e toxidez às plantas.

Muito embora os aspectos físicos e químicos sejam de grande importância para a irrigação, os aspectos biológicos são os que mais afetam a qualidade das hortaliças, em especial aquelas consumidas cruas. Apesar do risco de transmissão de uma série de doenças ao ser humano, águas contaminadas têm sido utilizadas na agricultura, sobretudo em sistemas de irrigação nos quais não há contato da água com a parte comestível da planta.

Usualmente, a água “natural” não se encontra em condições ideais de qualidade para uso, fazendo-se necessário um tratamento da líquido a fim de torná-lo mais apto a esse uso. Para fins de irrigação, dependendo da qualidade do manancial, não são necessários processos avançados de tratamento da água, bastando muitas vezes o uso de um filtro.

Segundo DAKER (1969), existem duas formas principais de se filtrar a água para a agricultura, a **filtração natural** e **filtração artificial**. A filtração natural tem essa denominação por ser o próprio solo ou o subsolo o meio filtrante, localizado em área próxima ao corpo d’água. É realizada através de dispositivos permeáveis à água, como diferentes graduações de pedra, cascalho e areia, instalados normalmente num nível abaixo do manancial. Por ser raramente utilizada, o maior enfoque será dado à filtração artificial.

Ao invés de se usar o próprio terreno como meio filtrante, na filtração artificial são preparados leitos ou câmaras, com a vantagem de ser possível a lavagem periódica dos mesmos, melhorando assim as condições de operação da filtração e aumentando a vida útil do sistema.

O meio filtrante mais usado é formado por uma camada de areia (de várias graduações) normalmente associada a camadas de seixos e cascalhos. É possível ainda o emprego de outros materiais em conjunto com a areia, como o carvão (vegetal ou mineral), pedra-pome, substâncias fibrosas, tecidos de flanela, algodão, fibra de vidro e geossintéticos.

É possível também a utilização de filtros de tela para reter as substâncias indesejáveis, sendo este mais indicado para substâncias inorgânicas (SMETT & VAN WIJK, 2002). O sistema de filtro de telas (figura 30) tem limitações operacionais, uma vez que se trata de uma barreira simples de tela para separar os sólidos suspensos na água, de modo

que uma eventual abertura na malha pode permitir a passagem do sólido. Assim, é recomendada uma inspeção mensal no sistema de filtros, na malha e em todas as juntas.

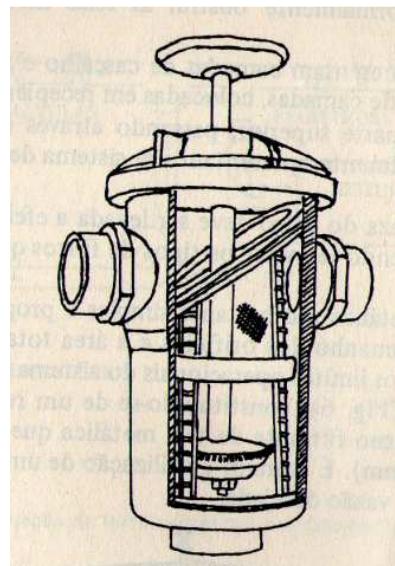


Figura 30– Filtro de tela metálico. Fonte: Olitta, 1988.

A velocidade de filtração depende da espessura, textura e estrutura do material filtrante mais fino (geralmente a areia), da altura da lâmina de água acima do meio filtrante e da perda de carga gerada pelo filtro (em função do atrito gerado pela água ao passar pelos vazios do meio filtrante).

A filtração pode ser feita através de filtros rápidos ou lentos. Os filtros lentos são normalmente indicados para pequenos serviços de tratamento de água, onde a relativa grande área de filtração exigida é compensada pela eliminação ou diminuição de outros tratamentos.

Para projetos de grande vazão, a área necessária com uso de filtros lentos é de tal magnitude que a opção usualmente tomada é o uso de filtros rápidos, embora este exija sempre um tratamento químico preliminar (coagulação), além de outros eventualmente possíveis. Como o caso em estudo requer uma baixa vazão e como os filtros lentos requerem um menor conhecimento técnico para seu uso, sendo assim mais aplicável à realidade do país, neste trabalho o foco foi dado para os filtros lentos.

4.1 Filtros Lentos

Filtros Lentos – Caracterizam-se, em relação aos filtros rápidos, pela pequena velocidade de filtração, pelo método de limpeza (sem reversão do sentido da corrente) e pelo fato de usualmente não requererem o uso de tratamento químico (coagulação) prévio.

Apresentam como **vantagens** em relação aos filtros rápidos: não exigência de tratamento químico prévio, funcionamento de modo mais simples, não sendo necessários técnicos especializados e vigilância constante; maior eficiência na remoção de bactérias quando funcionam sem outros tratamentos; menor custo de operação.

Como **desvantagens** em relação aos filtros rápidos podem ser citadas: exigência de grande superfície de filtração; pequena redução da cor da água (geralmente de 20 a 50%); pequena redução da turbidez, quando esta excede 50 ppm; menor adaptação a demandas urgentes (DAKER, 1969).

4.1.1 Efeitos da filtração

Ao atravessar a água um meio filtrante, parte do material em suspensão e em estado coloidal é retida, as características da água podem ser modificadas e a quantidade de bactérias é grandemente reduzida. Daker (1969) afirma que isso se explica pelas quatro ações principais atribuídas à filtração:

- a. Retenção mecânica;**
- b. Sedimentação, adsorção e arejamento;**
- c. Metabolismo biológico;**
- d. Trocas eletrolíticas.**

- a. Retenção mecânica:** Remoção das partículas em suspensão que, pelo tamanho, não conseguem passar através dos espaços entre os grãos de areia. A retenção mecânica não consegue eliminar o material em estado coloidal (partículas muito pequenas, com dimensões entre 1nm a 1µm) e as bactérias, que atravessam facilmente este espaço.
- b. Sedimentação, adsorção e arejamento:** Remoção de pequenas partículas em suspensão, de matéria coloidal, de bactérias e oxidação da matéria orgânica. Os espaços entre os grãos de areia agem como pequenas bacias de sedimentação nas quais as partículas em suspensão se depositam na periferia dos grãos de areia e a água, em contato com o ar existente, não só se areja como se atua na oxidação da matéria orgânica. A adsorção se dá graças à atração física entre as duas partículas (areia e impureza) e à presença de uma cobertura gelatinosa nos grãos de areia, ocasionada por uma decomposição prévia de material coloidal e de bactérias.
- c. Metabolismo biológico:** Causa modificações químicas nas características da água. Pelo metabolismo biológico pode-se entender o crescimento e os processos vitais das células vivas. No processo de crescimento, os seres necessitam de alimento e liberam excretas. Assim sendo, os organismos vivos existentes no meio filtrante modificam,

em seu processo vital, as combinações químicas das substâncias arrastadas pela água, dando-lhe novas características.

d. Trocas eletrolíticas: Causam também modificações químicas nas características da água. Admite-se que uma certa parte do material em suspensão ou em dissolução na água possui carga elétrica, o mesmo acontecendo com os grãos de areia do filtro, o que redonda não só em atração física entre as partículas, como em reações que alteram a composição química dos primeiros no processo de filtração. A carga elétrica dos grãos de areia é, após certo tempo de operação, neutralizada, exigindo limpezas periódicas do filtro para restabelecê-la.

A maior parte da ação do filtro se dá na superfície de areia, na camada de material aí depositado. Esta capa, denominada de **membrana biológica**, é constituída por uma mistura de lama coloidal e de microrganismos vivos e mortos, em forma de geléia. O sucesso da operação de filtragem depende desta capa gelatinosa, na qual a atividade biológica se desenvolve ao máximo.

A formação da membrana biológica se dá após alguns dias iniciada a filtração, o que significa que o filtro só atinge sua plena eficiência purificadora após certo período de tempo, embora a vazão da água filtrada diminua gradativamente. Enquanto está se formando a membrana biológica, diz-se que o filtro está “amadurecendo”. Terminada esta, o filtro está “maduro” e pronto para entrar em serviço com a sua máxima eficiência na retenção de bactérias.

Formada a membrana, o filtro funciona com muita eficiência por um certo número de dias, indo a vazão diminuindo gradativamente, exigindo a remoção da camada biológica e a lavagem ou a retirada (para lavagem e posterior aproveitamento) da capa superior de areia (cerca de 1 a 3 cm de espessura). Após cada lavagem, o filtro adquire grande capacidade de filtração (em termos de vazão), decrescendo, porém, sua capacidade de retenção de bactérias e partículas diminutas.

Embora a maior parte do efeito filtrante se dê na camada superior, recomenda-se um leito de areia de no mínimo 70 cm de profundidade, a fim de uniformizar a velocidade de filtração sobre a superfície filtrante e para evitar os efeitos danosos de possíveis formações de fendas, não só na membrana gelatinosa como também na própria camada de areia.

Segundo CORREA & BACELAR (1968) apud DAKER (1969), para uma filtração satisfatória, a velocidade da água deve estar compreendida entre 8 a 10 cm por hora (aproximadamente 2 a 2,5 m por dia) e a altura de carga não deve ultrapassar 1 metro, pois uma pressão maior poderia romper a membrana biológica. Nestas condições, obtém-se de 2.000 a 2.500 litros de água filtrada por metro quadrado de superfície filtrante por dia. Recomendam os mesmos autores uma camada mínima de areia de 40 cm de espessura e uma lâmina de água acima do leito de 0,90 a 1,50 m.

FLINN (1952) apud DAKER (1969), admite uma velocidade de filtração de aproximadamente 4.000 litros por metro quadrado por dia para as águas de rio sem tratamento químico preliminar e o dobro da velocidade para as águas de lagos ou represas.

Os filtros lentos bem instalados e funcionando convenientemente podem eliminar 98 a 99% das bactérias contidas na água “bruta”, quando trabalham com uma vazão de 2.000 a 2.500 L/m²/dia. Se o uso pretendido requerer um processo de purificação maior, é possível com tratamento químico preliminar e cloração posterior, que o filtro alcance de 99,5 a 99,9% de remoção de bactérias (SMETT e Van WIJK, 2002).

4.1.2 Construção dos filtros lentos

De um modo geral, os filtros lentos são constituídos por uma caixa aberta ou fechada de alvenaria ou de concreto, cujo piso é cortado por numerosas ranhuras paralelas que se reunem em um canaleta de maior capacidade e que conduz a água para fora do filtro. Para facilitar o escoamento da água, as ranhuras e o canaleta podem ser cobertos por telhas côncavas. Usualmente, acima destas vem, de baixo para cima, uma camada de cascalho grosso, uma de cascalho fino, uma de areia grossa e por fim a camada de areia fina, de preferência quartzosa (figura 28, a seguir). O material que compõe o filtro deve ser cuidadosamente lavado antes de ser usado (SMETT & VAN WIJK, 2002).

A espessura da camada varia segundo recomendações de autores, de acordo com a procedência da água, com as gradações das partículas, etc.. A tabela 7 a seguir dá exemplos de um meio filtrante constituído, de cima para baixo. Ressalta-se que as espessuras recomendadas não são as únicas formas possíveis, podendo variar para cada caso.

Tabela 7– Espessuras das camadas do filtro lento

| Material | Espessura da camada (cm) | | |
|-----------------|---------------------------------|---------------|---------------------|
| | CORRÊA & BACELAR | SOARES BRANCO | UNIÃO PAN-AMERICANA |
| Areia fina | 50 - 150 | 80 | 150 |
| Areia grossa | 30 – 60 | 3 | - |
| Cascalho miúdo | 60 - 100 | 15 | 30 |
| Cascalho graúdo | 20 – 40 | 30 | 10 |

A figura 31 dá detalhes do meio filtrante proposto por SOARES BRANCO (1965) apud DAKER (1969). Na sequência, na figura 32, aparece o esquema de um filtro lento bastante recomendado pela UNIÃO PAN-AMERICANA (1966) no abastecimento de pequenos povoados.

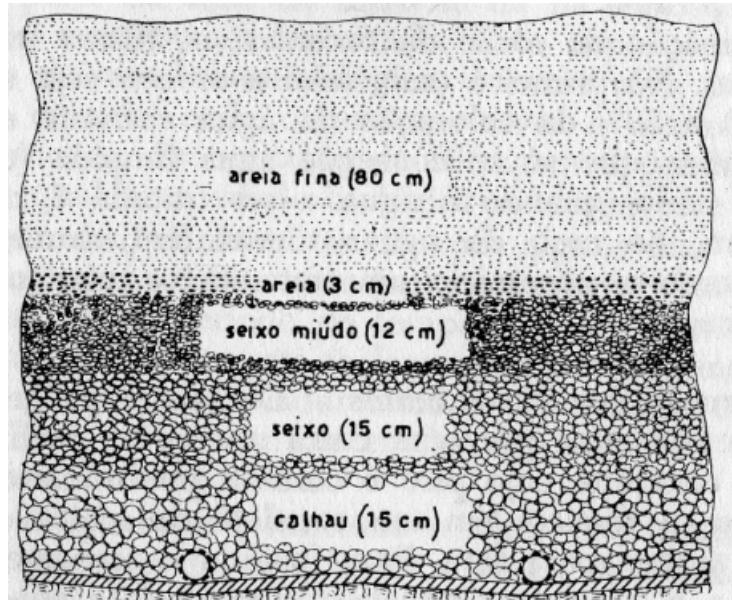


Figura 31– Exemplo de um meio filtrante. Fonte: Olitta, 1988.

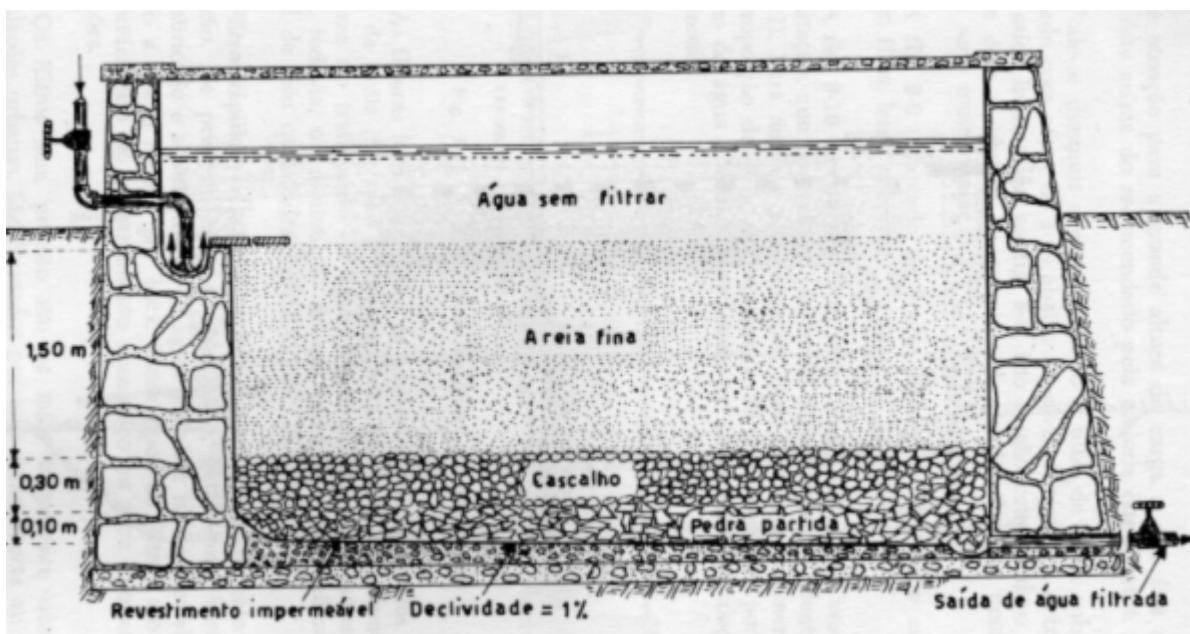


Figura 32– Filtro lento simples para pequenos povoados Fonte: Olitta, 1988.

A figura 33 dá os esquemas de dois filtros lentos domésticos de areia que, não podendo ser considerados eficazes no tratamento de águas contaminadas, se prestam muito bem na diminuição da sua turbidez e no melhoramento geral de suas qualidades.

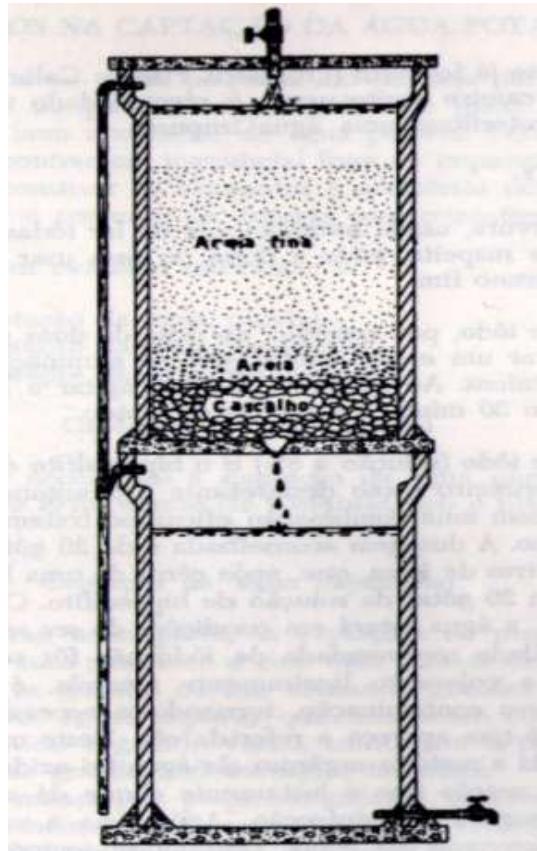
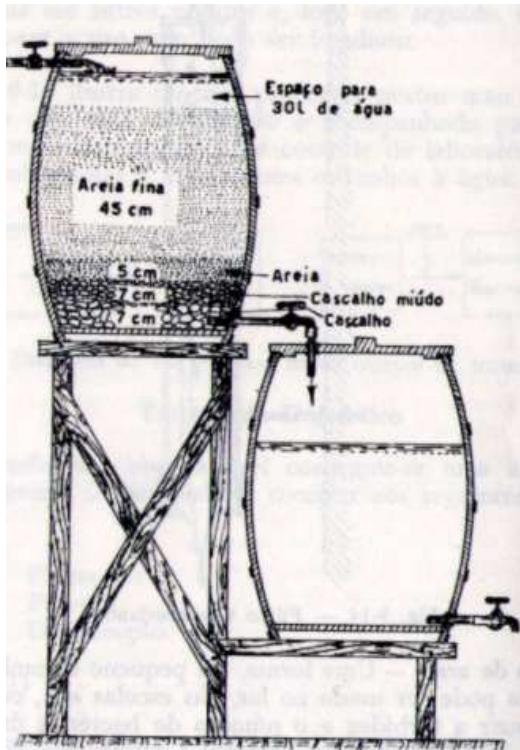


Figura 33– Exemplos de filtros lentos caseiros Fonte: Olitta, 1988.

Após algum tempo de uso, a camada superior da areia pode ficar entupida de barro e outras impurezas, havendo necessidade de limpá-la e, de vez em quando, removê-la.

A espessura da camada filtrante e a gradação da areia devem ser tais a permitirem uma capacidade de filtração de 25 a 30 litros por dm^2 (decímetro ao quadrado) em um dia (DAKER, 1969). Nesta base, um filtro de 30 cm de diâmetro pode filtrar cerca de 200 litros por dia.

Pode-se ainda construir filtros lentos com o emprego de tambores metálicos, de plástico ou similares de volume de 200 litros ou superior. Este sistema pode ser utilizado tanto dentro do próprio corpo d'água quanto fora, assemelhando-se ao filtro caseiro da figura 30. Este modelo tem sido bastante utilizado em função do seu baixo custo de implantação, uma vez que o barril pode já ter sido utilizado, desde que seja limpo.

5-Tubulação de Bambu

5.1 Introdução

O bambu é conhecido e utilizado há séculos na vida das pessoas de muitos países tropicais, especialmente da Ásia, devido principalmente às suas excelentes características físicas e mecânicas de retidão, leveza, força, dureza, conteúdo de fibras, flexibilidade, facilidade de trabalho e rapidez de crescimento. Sendo um recurso renovável e de múltiplos usos, o bambu tem despertado uma crescente curiosidade em todo o mundo, mas seu conhecimento e divulgação são ainda incompletos.

Este vegetal é uma planta predominantemente tropical, de rápido crescimento e grande produtividade, sendo o recurso florestal que menos tempo leva para se renovar (PEREIRA, 2000). As boas características físicas e mecânicas têm possibilitado ao bambu milhares de aplicações nos mais diversos campos, entre eles, como condutor de água para a irrigação de pequeno porte (PEREIRA, 1992). O bambu é também um material barato e fácil de ser trabalhado com ferramentas simples, o que o torna acessível a pequenos produtores rurais.

O bambu é um material natural que pode ser cultivado na propriedade rural, permitindo que o próprio produtor construa seu sistema de irrigação. Sendo uma alternativa para a agricultura familiar que muitas vezes não tem acesso à irrigação, através de um material simples, barato e acessível. Por ser um material biológico está sujeito a se deteriorar pela ação de fungos e insetos, podendo, segundo alguns autores, durar de 1 a 3 anos quando não tratado e de 10 a 15 quando tratado (PEREIRA, 1992).

O bambu, tal como as árvores, é constituído por uma parte aérea e outra subterrânea. PEREIRA (1997) faz referência que a parte aérea (tronco ou caule das árvores) é denominada de colmo no bambu, sendo normalmente oco. Este espaço vazio dentro do colmo é denominado de cavidade, as quais são separadas uma das outras por diafragmas que aparecem externamente como nós, de onde saem ramos e folhas. A porção do colmo entre os dois nós é chamada de internó e a espessura do colmo é denominada de parede.

Na figura 34, acha-se representada uma seção de colmo com suas partes e denominações.

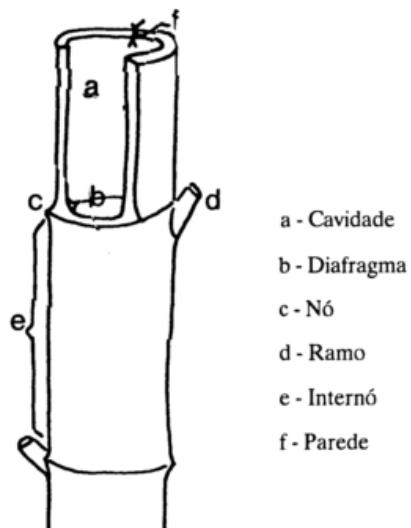


Figura 34– Colmo do bambu e suas partes. Fonte: Van Lengen, 2008.

A espécie *Dendrocalamus giganteus*, conhecida vulgarmente por “bambu gigante”, é uma das mais comuns no Brasil. Destaca-se pela versatilidade de uso, rapidez de crescimento e dimensões apropriadas para o uso como conduto, além de apresentar a maior relação entre a área da seção transversal oca e a área total da seção propiciando, assim, a melhor seção útil ao transporte de água.

5.2 -Construção dos tubos

A colheita dos colmos na moita de bambu deve ser feita com o uso de um machado, serra, facão, moto serra ou outra ferramenta similar. O corte deve ser feito a uns 20 cm do solo e logo acima de um nó, para se evitar a entrada de água e o apodrecimento da parte do colmo que ficou na moita. Devem ser cortados colmos com no mínimo dois anos de idade, devido às suas melhores propriedades de resistência. Colmos novos devem ser deixados na moita para que possa haver a brotação de novos colmos. Normalmente, pode-se avaliar a idade do colmo através da quantidade de líquen na sua parede externa, assim, colmos com pouco líquen devem ser evitados por serem novos.

Os colmos após retirados da moita, devem ser cortados em seções de 4, 5 ou 6 metros, devendo-se retirar também, seus galhos e ramos. Este tamanho facilita as operações de transporte e limpeza interna dos colmos. O transporte dos colmos deve ser feito rapidamente para se evitar sua rápida secagem que tende a favorecer o aparecimento de trincas nos mesmos.

Existem alguns **tratamentos** preservativos cuja finalidade é aumentar a vida útil dos colmos do bambu. Para cada uso pretendido, existe uma forma de tratamento mais adequada. No tratamento de **cura natural**, depois de cortado, o bambu é deixado na moita na posição vertical com suas ramas e folhas por cerca de 30 dias. A transpiração das folhas continua em andamento, diminuindo a quantidade de seiva dos colmos. Este método é simples e barato, devendo aumentar a resistência dos colmos contra as brocas, mas não contra fungos e cupins.

O **tratamento químico por substituição da seiva**, que utiliza preservativos químicos, é mais eficiente que os tratamentos tradicionais, porém, requer maiores cuidados no manuseio e aplicação dos produtos químicos. Os principais métodos para tal são o Boucherie e o Boucherie modificado.

O tratamento pelo **método Boucherie** consiste em fazer penetrar pelas extremidades do colmo um produto químico que substitua a seiva utilizando pressão hidrostática. Pode-se necessitar de vários dias para realizar o tratamento, o que dificulta a sua utilização em larga escala.

O **método boucherie modificado** é considerado o mais eficiente e prático para o tratamento do bambu. O método baseia-se no uso de pressão (cerca de 7.000 a 10.500 N/m²) para acelerar a absorção. Os colmos, sem terem seus nós internos removidos, são conectados com a saída de um tambor de 200 L possibilitando o tratamento simultâneo de 3 colmos (figura 35). Para este processo de tratamento, os colmos de bambu devem estar verdes (recentemente cortados), a menos que se vá trabalhar com pressões de tratamento maiores. Caso contrário, a seiva endurece dentro dos vasos, dificultando ou mesmo impedindo o tratamento.

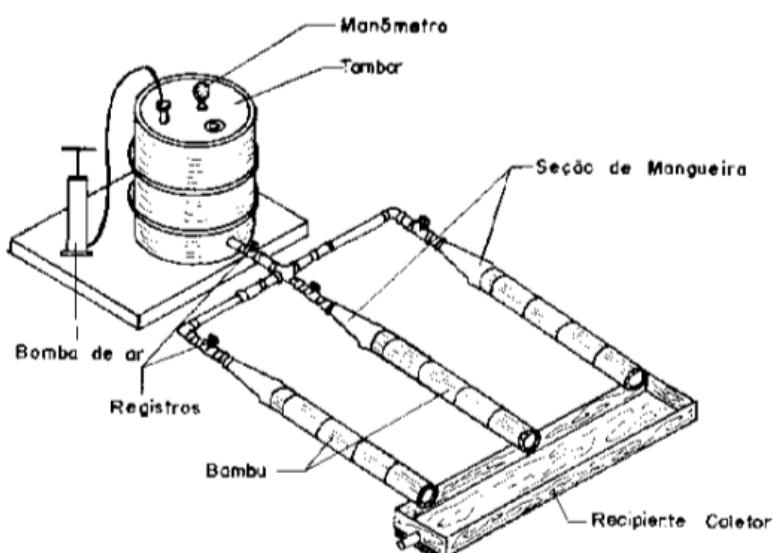


Figura 35- Equipamento para tratamento do bambu pelo método boucherie modificado. Fonte: Neto, 1992.

Após o tratamento pelo método boucherie modificado, os colmos devem ser guardados por pelo menos 10 dias em local coberto e fechado, para que o produto químico sofra distribuição dentro do colmo e, ocorra o tratamento. Os principais produtos preservativos podem ser divididos em dois principais tipos:

- **oleosos**: são usados em bambus que irão permanecer em contato direto com o solo e com a umidade. De acordo com PEREIRA(1992), os mais conhecidos são: Creosoto alcatroado, azeite de antracina, creosoto extraído da madeira, solução de creosoto (alcatrão de hulha ou azeites de petróleo e creosoto alcatroado), pentaclorofenol e naftenato de cobre.

- **hidrossolúveis**: são aplicados dissolvidos em água, e em geral, não se prestam ao uso do bambu quando este está em contato com o solo. Protegem contra fungos, insetos e o fogo. Os mais utilizados são zinco clorado, cromato de zinco clorado cobrizado, sais wolman, cromato de cobre ácido, mertasenito de zinco, arseniato de cobre amoniacial e arseniato de zinco cromado.

Existem várias maneiras de fazer a **união** entre os tubos de bambu, podendo-se utilizar desde um pedaço de couro ou borracha de câmara de ar de pneu, ou até se adaptar um pedaço de PVC ou mesmo um bambu mais grosso como uma luva, caso se queira trabalhar com pressões mais elevadas. Ressalta-se que é nas junções entre os tubos que se localiza a parte mais crítica do sistema, quanto à pressão de ruptura, devendo esta ser cuidadosamente realizada.

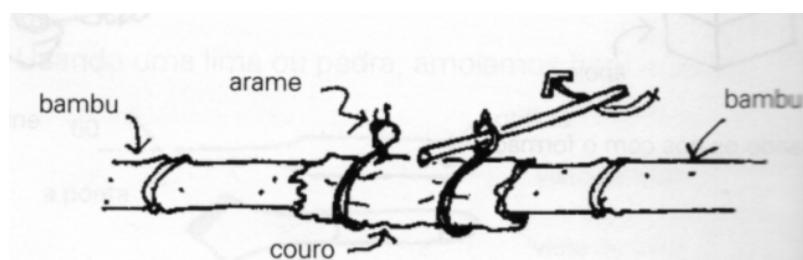


Figura 36— Tubo de bambu com junta de couro. Fonte: Van Lengen, 2008.

O sistema de irrigação com tubos de bambu deve ser utilizado enterrado no solo, na média de 30 cm de profundidade. Os tubos devem ser mantidos sempre cheio de água para sua melhor durabilidade e conservação. Inicialmente a água que fica dentro do bambu apresenta um forte cheiro, que desaparece após alguns minutos de funcionamento e que nada mais é do que a transformação química de substâncias do próprio bambu.

5.3 - Características hidráulicas

No Brasil, apesar de conhecido e comum, o bambu não tem sido muito utilizado para fins de condução de água, principalmente por falta de conhecimentos agronômicos e tecnológicos desenvolvidos especificamente para ele. São escassas as informações consolidadas sobre as características hidráulicas de tubos de bambu, notadamente com relação à perda de carga, coeficientes de atrito, e ao comportamento destes tubos à pressão.

A bibliografia consultada revela que há grande variabilidade nas características hidráulicas dos tubos de bambu, diferenciando-se os parâmetros entre as diferentes espécies, dentro de cada espécie, e mesmo nas diferentes partes do colmo. O colmo, corresponde ao corpo do bambu, e é dividido em diversos nós. Assim, foram encontrados valores de ruptura entre 215,7 kPa e 1500 kPa. Cada 10 kPa equivale a pressão exercida por 1 metro de coluna d'água. LIPPERT (1976) apud PEREIRA (2000) afirma que maiores valores de pressão de ruptura são encontrados quando utiliza-se um tratamento com formaldeído e ácido sulfúrico, criando uma ligação cruzada entre as fibras paralelas, fortalecendo a parede contra ruptura. O mesmo autor alega que é possível reforçar a estrutura do bambu utilizando-se um anel de arame de aço galvanizado, a cada intervalo de 5 cm. Deve-se, sempre que possível realizar testes a fim de se trabalhar e projetar o sistema de condução de acordo com as características do material disponível.

Com relação à perda de carga devida ao atrito nas tubulações de bambu, os nós aparecem como a maior irregularidade na superfície do bambu; por outro lado, a superfície restante é lisa e polida, com um atrito bem inferior aos nós. Assim como acontece com a pressão de ruptura, foram encontrados diversos valores para os coeficientes de atrito. A tabela 8 fornece valores obtidos na literatura para o coeficiente de rugosidade **C**, que depende da natureza e estado das paredes do tubo. Segundo PORTO (2006), a perda de carga unitária, que corresponde à perda de carga ocorrida em um metro linear de tubo, pode ser obtida através da equação de **Hazen-Williams**, donde observa-se que quanto maior o coeficiente de rugosidade, menor é a perda de carga gerada. Ressalta-se que tal equação somente deve ser utilizada para tubulações com diâmetros maiores que 4 polegadas.

$$J = 10,65 \frac{Q^{1,85}}{C^{1,85} D^{4,87}}$$

onde J = Perda de carga unitária [m/m];

Q = Vazão [m^3/s];

C = Coeficiente de rugosidade [m^{0,367}/s]

D = Diâmetro do tubo [m]

Tabela 8– Valores de C obtidos na literatura consultada

| Autor | Coeficiente de Rugosidade - C | |
|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------|
| | Boa remoção dos nós | Má remoção dos nós |
| Jacobs & Lundborg (1978) | 70 | 60 |
| Universidade de Dares Salaam (1980) | | |
| Pereira (2000) | 75 | 90 |
| | 101 | 63 |

Para tubulações com diâmetros menores que 4 polegadas, PORTO (2006) indica o uso da **Fórmula Universal de Perda de Carga**, ou equação de **Darcy-Weisbach**, donde tem-se que a perda de carga pode ser determinada pela relação a seguir:

$$\Delta H = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

onde ΔH = Perda de carga [m];

f = fator de atrito da tubulação;

L = comprimento da tubulação [m];

D = Diâmetro da tubulação [m];

V = Velocidade do líquido [m/s];

g = aceleração da gravidade = 9,81 m/s².

O valor do fator de atrito f se dá em função do material constituinte da tubulação e do número de Reynolds (**Rey**). PEREIRA (2000) realizou estudos a fim de determinar o valor do fator de atrito para tubulações de bambu utilizando dois métodos de extração dos nós internos dos colmos de bambu, através de ferramenta manual e elétrica. Obteve os valores sintetizados na tabela a seguir.

Tabela 9 – Valores de f para diferentes formas de remoção do nó

| Remoção | Fator de atrito f |
|----------|-------------------------------|
| Manual | $0,3459 \text{ Rey}^{-0,117}$ |
| Mecânica | $0,1107 \text{ Rey}^{-0,097}$ |

Observa-se que os valores do coeficiente de rugosidade dependem intrinsecamente da qualidade de remoção dos nós entre os colmos. A melhor maneira indicada na literatura é a que faz uso de um perfurador mecânico, com ferramentas de corte móveis, que se adapte às variações de diâmetro encontradas nos colmos de bambu.

O perfurador mecânico é composto por perfurador de bambu, um eixo de transmissão do torque (tubo de aço galvanizado), uma fonte de potência (motor) e uma estrutura para fixação, alinhamento e movimentação manual do colmo de bambu com relação à ferramenta.

O perfurador manual pode ser confeccionado de maneira mais simples, uma vez que não exige a instalação de motores. Ele pode ser constituido de uma ponta de metal afiada, que pode ser feita a partir de uma vara de aço, acoplada a um pedaço de tubo de plástico comum e chave inglesa. Um exemplo deste sistema pode ser observado na figura seguinte.

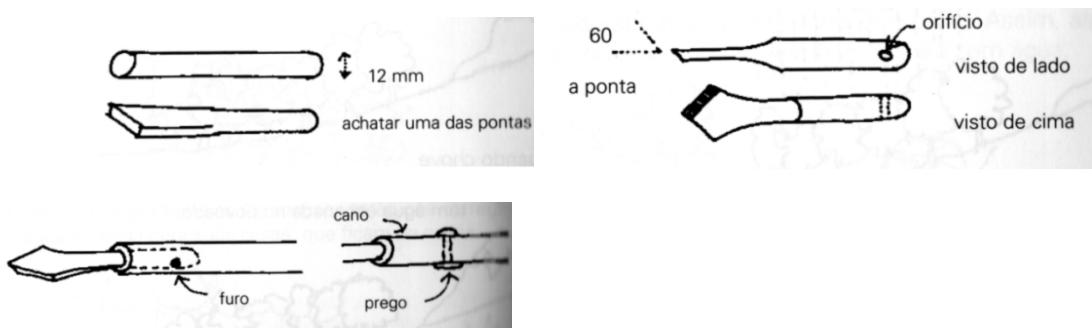


Figura 37 – Detalhes da ferramenta manual de remoção de nós de bambu

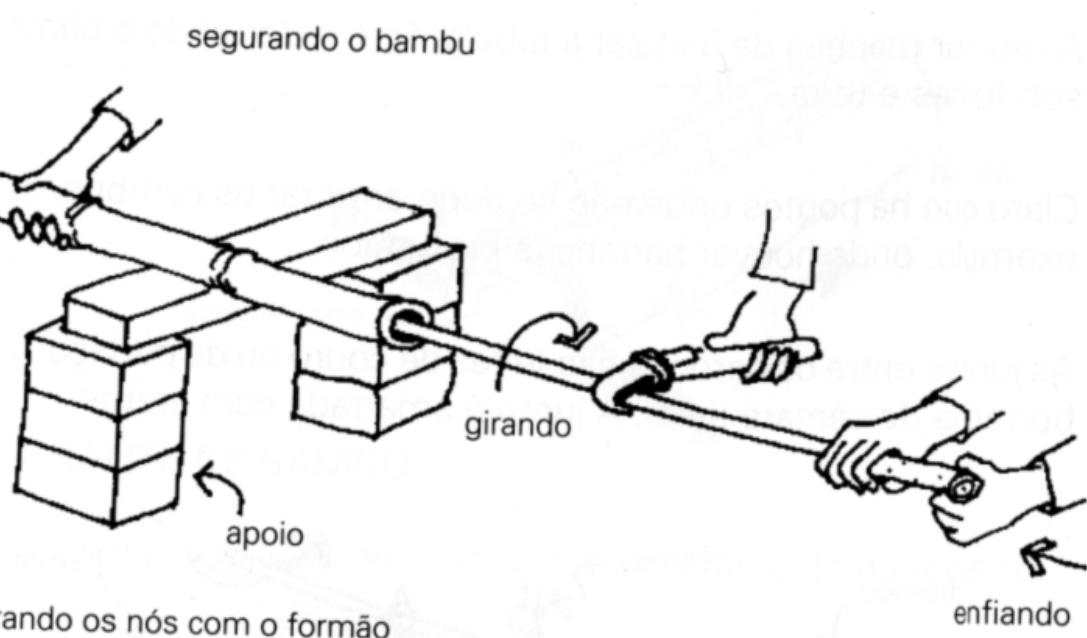


Figura 38—Ferramenta manual de remoção de nós de bambu

6 – IRRIGAÇÃO

As plantas passam por diversas fases durante seu ciclo de vida, variando também as suas necessidades de água. Na germinação e no início do crescimento, a quantidade de água absorvida e transpirada pelas plantas é pequena, e embora a evaporação do solo possa ser maior que em outras fases do crescimento devido à maior descobertura do solo, a quantidade de água a ser aplicada pode ser menor. Ressalta-se que apesar da quantidade requerida ser menor, é nesta fase de crescimento que o estresse hídrico pode ser mais comprometedor para o desenvolvimento da planta, não sendo, portanto, de menor importância a irrigação neste período.

À medida que a planta começa a se desenvolver, ela necessita de maior quantidade de água, apesar da evaporação do solo ao redor da planta diminuir com a cobertura do vegetal. Quando o vegetal atinge seu pleno crescimento, ele exige a máxima quantidade de água. Este período em que a planta tem mais necessidade de água é chamado de período crítico.

De um modo geral, podem ser feitas as seguintes recomendações sobre o fornecimento de água às plantas:

- As plantas que produzem sementes ou frutos devem receber maiores cuidados na época de floração e no início de frutificação;

- para hortaliças folhosas e as forrageiras, o fornecimento de água deve ser mantido até o corte ou a colheita;

- Para os tubérculos como batata, mandioca, cenoura, etc., o fornecimento de água deve ser mantido durante todo o tempo de crescimento dos tubérculos;

Solos com **textura** grosseira, arenosos, devem ser irrigados freqüentemente. Em consequência, os métodos pressurizados, ou seja, a aspersão e a irrigação localizada (gotejamento e microaspersão) são os mais indicados. Em solos com textura fina, os argilosos, a irrigação por sulcos permite sulcos longos, de até mais de 500 m, enquanto os arenosos dificilmente aceitam 100 a 200 m de comprimento. Em qualquer deles, a irrigação pressurizada é viável. Enquanto nos arenosos, a irrigação deve ser mais freqüente, nos argilosos, poderá ser mais espaçada. Os solos arenosos não são indicados para receber a irrigação por inundação ou por sulcos, pela baixa eficiência que irão proporcionar.

A determinação da **permeabilidade do solo** é de suma importância, não só na irrigação como também na drenagem. Enquanto nesta, é usada para a determinação do espaçamento e profundidade dos drenos, na irrigação é usada para se conhecer,

principalmente, a velocidade de penetração da água no solo no sentido vertical descendente, a **Velocidade de Infiltração**.

Diferentes fatores afetam a **Velocidade de Infiltração** de um solo: textura, estrutura, teor de umidade inicial, permeabilidade, teor de matéria orgânica, variabilidade espacial e salinidade. A velocidade de infiltração pode definir na escolha do método de irrigação. Usualmente, solos muito arenosos apresentam elevada velocidade de infiltração, o que inibe a hipótese de irrigação por gravidade, pois acarretaria sulcos curtos e antieconômicos. Por sua vez, solos argilosos, com baixas velocidades de infiltração, aceitam todos os métodos de irrigação

Como critério geral, poder-se-ia indicar os métodos por gravidade somente aos solos com 12 mm/h ou menos de velocidade de infiltração; aos que apresentarem valores superiores a 70 mm/h, só os métodos de irrigação por aspersão e por gotejamento poderiam ser utilizados. Estes dois últimos, por aspersão e por gotejamento são viáveis em qualquer solo, considerando a velocidade de infiltração.

6.1 - FORMAS DE IRRIGAÇÃO

6.1.1 - Gotejamento

O gotejamento como método moderno de irrigação foi inicialmente desenvolvido em Israel, com alguns trabalhos de pesquisa realizados na década de 1930, utilizando-se inicialmente canalizações de aço perfuradas. O advento e incremento da indústria petroquímica, com desenvolvimento de diversos materiais plásticos, mais econômicos e flexíveis, impulsionou grandemente as pesquisas neste sentido, com o aparecimento dos primeiros gotejadores especialmente idealizados para este fim, no início da década de 1960.

O motivo do sucesso deste sistema de irrigação tem por base o conceito de que o melhor uso da água disponível no solo e o melhor desempenho da planta poderão ser obtidos, se evitado qualquer déficit de água, mantendo sempre condições favoráveis de umidade no solo do volume mais ativo do sistema radicular. É considerado que na irrigação por gotejamento o conteúdo de umidade no solo se mantém sempre próximo da capacidade de campo (OLITTA, 1988).

Comparando a irrigação por gotejamento com os métodos tradicionais de aplicação de água, algumas diferenças podem ser notadas. No gotejamento, a alta frequência das irrigações impede que se considere o solo com um “reservatório” de água para as plantas. Na irrigação convencional, o solo serve para o armazenamento da água disponível para as plantas, ocorrendo irrigação somente quando se atingir um nível mínimo de umidade,

geralmente estabelecido para o máximo aproveitamento deste reservatório no solo, sendo comum a ocorrência de uma flutuação acentuada no conteúdo de umidade no solo. No gotejamento, a água é disposta com uma frequência bastante rápida, para suprir as necessidades imediatas da planta, mantendo o solo sempre em altos valores de potencial.

Outro ponto importante diz respeito à distribuição das raízes da planta. É sabido que, com umidade adequada, somente parte do sistema radicular poderá suprir água à planta, numa taxa suficiente para prevenir um déficit de água, proporcionando o crescimento rápido, sem estresses hídricos. De fato, Olitta (1984) cita que o sistema radicular se desenvolve densamente dentro do volume do solo molhado no gotejamento e apresenta grande atividade de absorção de água, sem que se tenha notado ainda efeitos secundários pelo desenvolvimento restrito das raízes. O desenvolvimento de um sistema radicular bastante ativo compensa a redução do volume de solo explorado, através de um uso mais eficiente da água e nutrientes no volume molhado do gotejador.

Goldberg, Gornat e Rimon (1976) afirmam que estudos conduzidos com inúmeras culturas sugerem sempre um menor desenvolvimento do sistema radicular (cerca de 60% do tamanho normal) nas condições de irrigação por gotejamento. Os mesmos autores apresentam um estudo de distribuição de raízes na cultura da pimenta. Foi observado que cerca de 90% das raízes, com base no peso seco, se concentram em 0-20 cm de profundidade, onde existe o maior conteúdo de umidade. Não foi encontrado um número significativo de raízes a profundidades maiores que 30 cm, nem a distâncias superiores a 30 cm da linha lateral.

A irrigação por gotejamento, sendo baseada no fornecimento de água em determinados pontos, mostra que a pequena vazão, saindo do gotejador diretamente para a superfície do solo, tem somente uma pequena área por onde se processa a infiltração do solo. Assim, um aumento na vazão do gotejador ou uma reduzida taxa de infiltração da água no solo aumentará o tamanho do espelho da água no solo. Como normalmente a lâmina de água sobre o solo é muito pequena, o armazenamento superficial pode ser desprezado, considerando-se que a água proveniente do gotejador se infiltrará instantaneamente no solo. A figura seguinte ilustra a distribuição da água no solo a partir de um gotejador.

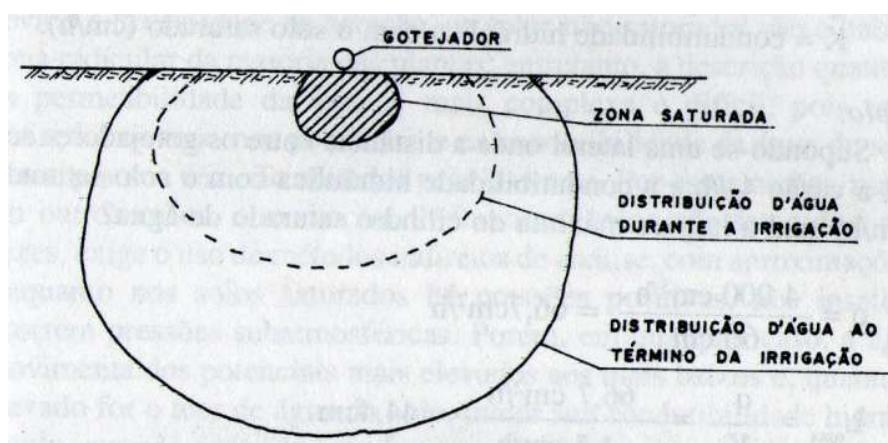


Figura 39— Distribuição da água no solo a partir de um gotejador. Fonte: Olitta, 1988.

Assim, a taxa de entrada de água no solo através desta área é equivalente à vazão do gotejador menos a evapotranspiração. Negligenciando esta última, a área (A) será então diretamente relacionada com a vazão (q) e a condutividade saturada do solo (k), resultando na equação:

$$A = \frac{q}{k}$$

A figura 40 mostra a distribuição do conteúdo de umidade irrigando-se 3 volumes diferentes (1, 3 e 5,6 litros) para duas vazões diferentes do gotejador, mostrando as variações da umidade no espaço e tempo, durante o processo da infiltração (Olitta, 1984)

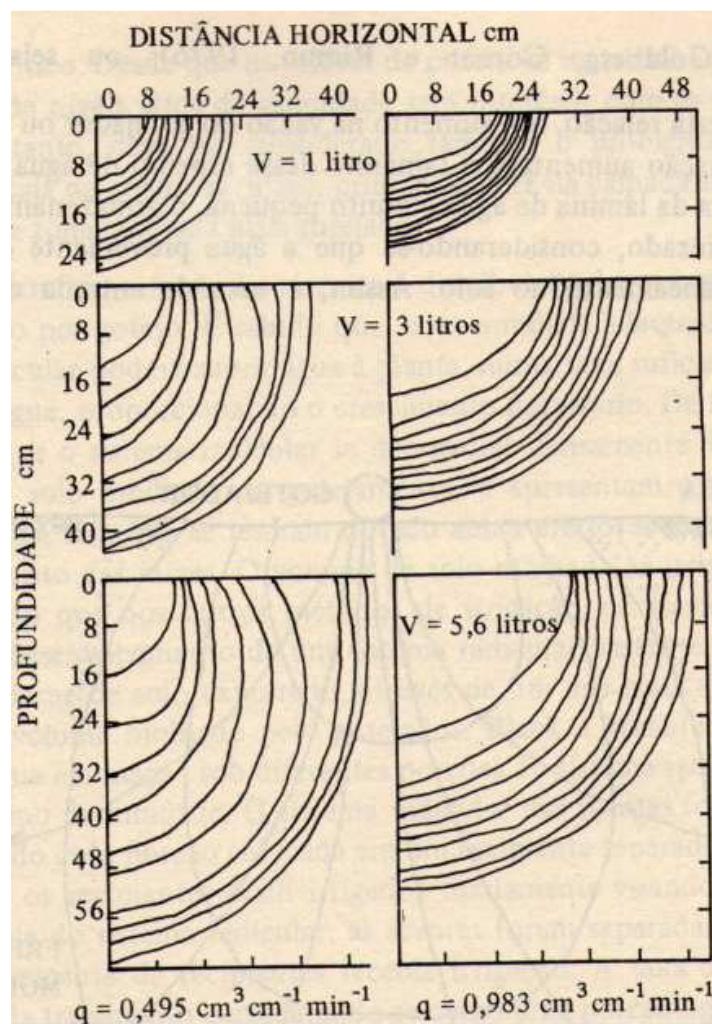


Figura 40 – Distribuição do conteúdo de umidade em função da infiltração acumulada para duas vazões de gotejadores. Fonte: Olitta. 1988.

Estes dados mostram que a vazão do gotejador tem um efeito marcante na forma do volume molhado. O aumento da vazão significa um aumento no sentido horizontal e um decréscimo na profundidade do volume molhado. Um resultado inverso pode ser esperado quando a vazão é menor. A possibilidade de controlar o conteúdo de umidade e a forma do volume molhado do solo irrigado, através da escolha adequada da vazão do gotejador, tem grande utilidade em termos de projeto.

Assim sendo, recomenda-se que para culturas com sistema radicular raso e espaçamento largo se empreguem altas taxas de aplicação de água, ao passo que para culturas com sistema radicular profundo e espaçamento reduzido recomenda-se uma baixa taxa de aplicação da água.

Goldberg, Gornat e Rimon (1976) salientam ainda que o espalhamento da água a partir de um gotejador, com a repetição sistemática das irrigações, deverá manter-se constante, desde que o conteúdo inicial de água no solo seja sempre o mesmo, para a mesma vazão do gotejador. Como a quantidade de água aplicada também será sempre igual, um estado de equilíbrio deverá ser atingido após algumas irrigações. Assim a localização da frente de molhamento deverá situar-se praticamente no mesmo lugar, desde que a quantidade de água aplicada seja suficiente para compensar a diferença no conteúdo de umidade antes e no final da irrigação, mais a água consumida pela planta durante a irrigação.

Dentre as características próprias deste sistema de irrigação ressalta-se:

- Flutuações mínimas no conteúdo de umidade do solo, durante o ciclo de irrigação;
- Fornecimento de água para somente aquelas partes do solo onde a absorção de água pelo sistema radicular das plantas é mais eficiente, além de reduzir assim o aparecimento de plantas daninhas, que podem competir com o vegetal cultivado;
- Suprir diretamente a parte mais eficiente do sistema radicular com nutrientes; e
- Economizar água pela redução na evapotranspiração, escoamento superficial e percolação profunda.

6.1.1.1 COMPONENTES DO SISTEMA

A irrigação por gotejamento é baseada na pequena vazão através de orifícios de diâmetro reduzido, situado em estruturas especiais denominadas gotejadores, adaptadas em tubulações usualmente de plástico, localizados sobre ou imediatamente abaixo da superfície do solo. Comumente, um extenso reticulado de tubulações com vários diâmetros é utilizado para distribuir a água sob pressão, ao pé de cada planta. Os gotejadores têm a função de dissipar a pressão do sistema, para que a água possa ser aplicada em cada ponto, a uma vazão de somente alguns litros por hora. O sistema trabalha com uma pressão geralmente baixa, bem menor que a requerida pelo sistema de irrigação por aspersão, por exemplo.

No sistema tradicional, a parte central do sistema fornecendo a água livre de impurezas, sob a pressão necessária, e ainda possibilitando a aplicação de substâncias químicas na água de irrigação, é denominada cabeçal de controle. Convencionalmente, um sistema completo de irrigação por gotejamento seria constituído das seguintes partes:

Cabeçal de Controle – compreendendo o conjunto moto-bomba, sistema de filtros (areia e/ou tela metálica), sistema injetor de fertilizantes e outros produtos químicos, sistema regulador da pressão e da vazão e sistema de controle automático de operação.

Canalizações de polietileno, aço, pvc flexível, bambu ou outro material disponível para formar o reticulado necessário para abranger toda a área, que pode ser dividida em três categorias segundo a sua finalidade, ou seja, linha mestra, linha de derivação e linhas laterais.

Gotejadores inseridos nas linhas laterais para o fornecimento de água na irrigação. Atualmente, são comercializados tubos pré-perfurados que podem substituir as linhas laterais do sistema

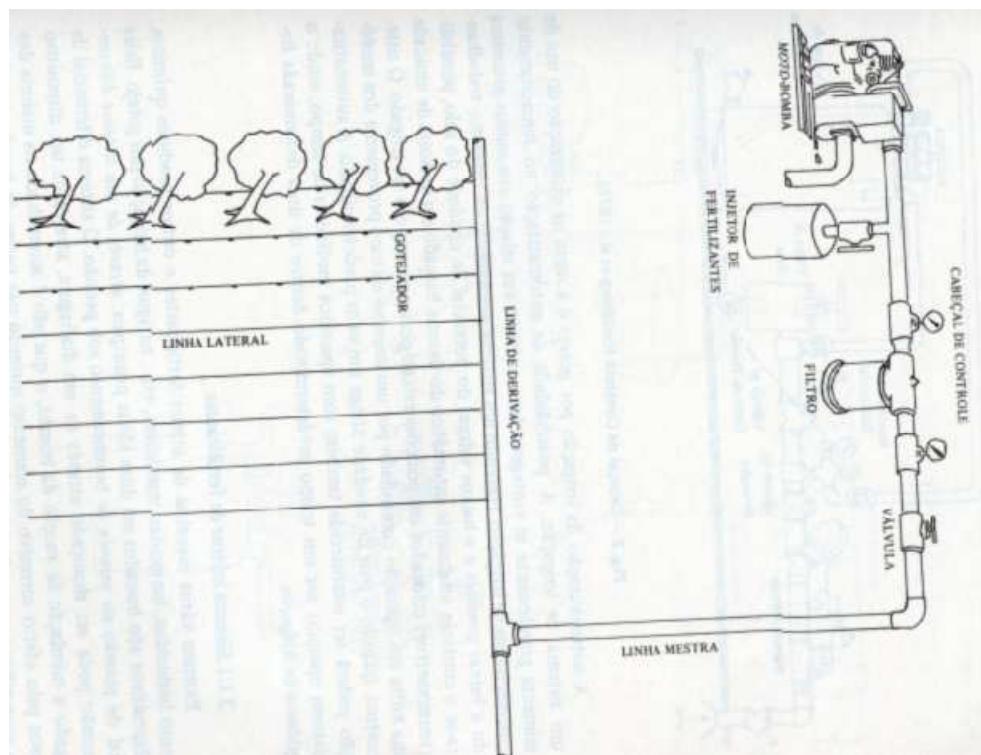


Figura 41 – Sistema convencional de irrigação por gotejamento

6.1.1.2 BENEFÍCIOS E PROBLEMAS NA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

Benefícios

A irrigação por gotejamento oferece um grande potencial de benefícios no uso eficiente da água, resposta das plantas, manejo da irrigação, engenharia do sistema e economia da irrigação. Algumas dessas vantagens não são exclusivas deste método de irrigação, mas a combinação de todos esses benefícios somente pode ser obtida no método por gotejamento (Garcia, 2006).

As perdas de água na irrigação por gotejamento são mínimas, proporcionando uma das maiores eficiências dentre os métodos de irrigação. A quantidade de água aplicada é a necessária para repor o uso das plantas, no intervalo de irrigação estabelecido, em fácil disponibilidade para o sistema radicular da cultura.

A resposta das plantas à irrigação por gotejamento parece ser superior à dos outros métodos de irrigação. A maioria dos experimentos mostram uma maior produção, melhor qualidade e uniformidade do produto, especialmente no caso de árvores frutíferas. Um sistema de irrigação manejado corretamente deverá proporcionar uma aeração eficiente ao solo, grande disponibilidade de nutrientes e um conteúdo de umidade relativamente alto e constante. (Olitta, 1988)

Problemas

A irrigação por gotejamento está sujeita a dois problemas em potencial: o entupimento dos gotejadores e o aumento de salinidade no solo (no caso da adição de fertilizantes na água irrigada)

A obstrução do orifício de saída do gotejador é o problema mais sério deste método de irrigação. A filtragem da água é a melhor defesa contra esta ocorrência. As causas mais comum de entupimento são: material orgânico em suspensão com dimensões coloidais, que atravessam o sistema de filtragem, atingindo o gotejador, onde sob certas condições, como a velocidade reduzida da água, etc., podem flocular (colóides), ou proliferar (microrganismos), e gradualmente obstruir o gotejador; por deposição química como, por exemplo, a precipitação de carbonato de cálcio, etc., e por partículas minerais, quando a filtragem da água não é adequada.

A operação de limpeza do gotejador requer o conhecimento da natureza do agente causador. A limpeza individual dos gotejadores só é possível em alguns tipos de gotejadores, e assim mesmo bastante trabalhosa. Normalmente utilizam-se dois processos relativamente eficientes, dependendo do agente causador, com solução de ácidos introduzidos nas linhas laterais para remover principalmente precipitações, ou pela pressão, submetendo o sistema a uma pressão bastante alta, através de um compressor de ar. Este último processo tem-se mostrado bastante eficiente nas obstruções de natureza orgânica (Garcia, 2006).

6.1.1.3 RESPOSTA DAS PLANTAS

Para culturas perenes o volume de solo molhado pelo gotejamento resulta em um sistema radicular restrito a este volume, mas sem efeitos negativos observados, mesmo em termos de resistência ao tombamento no caso de culturas irrigadas deste modo desde o plantio (Contrim, 2006). Também as culturas irrigadas por outros métodos não apresentam problemas de adaptação ao novo processo. A grande maioria dos resultados mostra uma tendência para obtenção de maiores produções quando comparados com outros métodos de irrigação. (Ministério da Irrigação, 1988)

Os dados indicam também a propensão para maior tamanho dos frutos, sem evidências de uma maturação prematura. Experimentos especialmente montados para estudar a eficiência na utilização da água de irrigação, mostram sempre altos valores de produção por unidade de água utilizada. (Olitta, 1988)

No caso de culturas anuais, os resultados também se apresentam bastante encorajadores, em termos de produção, desenvolvimento das plantas, eficiência no consumo de água, etc. Como nas plantas perenes, a restrição ao desenvolvimento do sistema radicular não é fator limitante no desenvolvimento da cultura (Garcia, 2006).

6.1.1.4 SISTEMAS ALTERNATIVOS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

Irrigação por gotejamento com componentes de baixo custo

O professor e pesquisador da Universidade do Estado de São Paulo (UNESP) Edmar José Scaloppi desenvolveu um sistema de irrigação por gotejamento utilizando componentes de baixo custo constituído por mangueira de polietileno com 16 mm de diâmetro e gotejadores adaptados com aplicadores de soro descartáveis com controle de vazão.

No equipamento elaborado, o gotejador foi obtido perfurando-se a seção dilatada dos aplicadores de soro com uma broca de 1 mm. Assim como no modo convencional, há a exigência de água filtrada, empregando-se um filtro de areia, para prevenir a obstrução dos orifícios.

A vazão dos gotejadores depende da carga piezométrica (pressão) adotada no sistema. Segundo o pesquisador, vazões médias próximas a 4 litros por hora (por gotejador) podem ser obtidas com cargas piezométricas de apenas 0,5 m. A operação sequencial das linhas laterais é determinada por registros plásticos, instalados na entrada das mangueiras de derivação. A durabilidade do sistema ainda não pode ser avaliada, mas os componentes podem ser facilmente substituídos.

Cada metro de comprimento de mangueira permite e irrigação de até 8 metros quadrados, uma vez que é possível utilizar os dois lados da mangueira além de unir um gotejador de soro na extremidade de outro. Sem computar o custo dos aplicadores de soro, que podem ser obtidos por doação, após um tratamento adequado para desinfecção, o

custo estimado do sistema pode variar de R\$ 0,1 a 0,2 por m², dependendo do custo da mangueira utilizada.

6.2 - Irrigação por sulcos

A irrigação por sulcos se caracteriza pela aplicação de água ao solo, através de pequenos canais abertos ao longo da superfície do terreno. A derivação de água nesse sistema de irrigação é feita principalmente por sifões e tubos janelados, mas podem ser realizados por outros sistemas. O sistema de irrigação por sulcos, através de sifões, deve ser utilizado em terrenos com declividade inferior a 0,5%, enquanto que o sistema de irrigação por sulcos, utilizando tubos janelados, pode ser usado em terrenos bastante acidentados, uma vez que a condução de água é feita através de tubulações (EMBRAPA, 2010).

Com o uso de sifões é simples realizar a redução de vazão, quando houver mais de um sifão, basta reduzir seu número para que a água permaneça escoando pelo sulco sem grandes perdas no final. A figura 42 apresenta a irrigação por sulco alimentada por mais de um sifão.



Figura 42 – Sulcos com dois sifões. Fonte: Barros, 2007.

O professor Edmar José Scaloppi desenvolveu um sistema de irrigação simples por sulcos utilizando componentes de baixo custo. O sistema baseia-se em um equipamento constituído de uma pequena caixa de recepção da água localizada num nível geométrico acima dos sulcos, tubulação de PVC (para fins sanitários) de 100 mm de diâmetro perfurados (com furos de 1 polegada de diâmetro) no mesmo espaçamento dos sulcos, parte superior de uma garrafa PET de 2 litros e corda fina.

Este equipamento simples e portátil promove a aplicação de água aos sulcos com redução progressiva da vazão, reduzindo as perdas e aumentando a eficiência de aplicação

de água. Tem grande potencial de uso porque garante um bom controle da vazão aplicada e exige pouca mão-de-obra para operar o sistema

O custo estimado é de R\$ 500,00 **por ha** (agosto de 2010), na seguinte configuração: uma caixa de recepção pequena, uma tubulação de 90 m de comprimento (15 tubos de 6 m) e sulcos com 120 m de comprimento. A seleção adequada da vazão e do tempo de aplicação de água aos sulcos permite obter eficiências comparáveis aos principais sistemas pressurizados (aspersão, microaspersão e gotejamento) que podem apresentar custos fixos 5 a 20 vezes mais elevados. Na figura seguinte, tem-se a ilustração deste sistema.



Figura 43– Tubo utilizado para vazão em sulcos com redução progressiva da vazão. Foto: Leonardo Maeda, agosto de 2010.



Figura 44– Detalhe da caixa de recepção. Foto: Leonardo Maeda, agosto de 2010.

A área molhada por sulcos depende do tipo de solo, da vazão aplicada, da declividade do sulco e do tempo de irrigação. O espaçamento entre sulcos deve ser escolhido para que o movimento lateral da água entre sulcos adjacentes permita umedecer toda a zona radicular antes de umedecer regiões abaixo dela. Na figura abaixo tem-se o espalhamento da água para solos arenosos e argilosos.

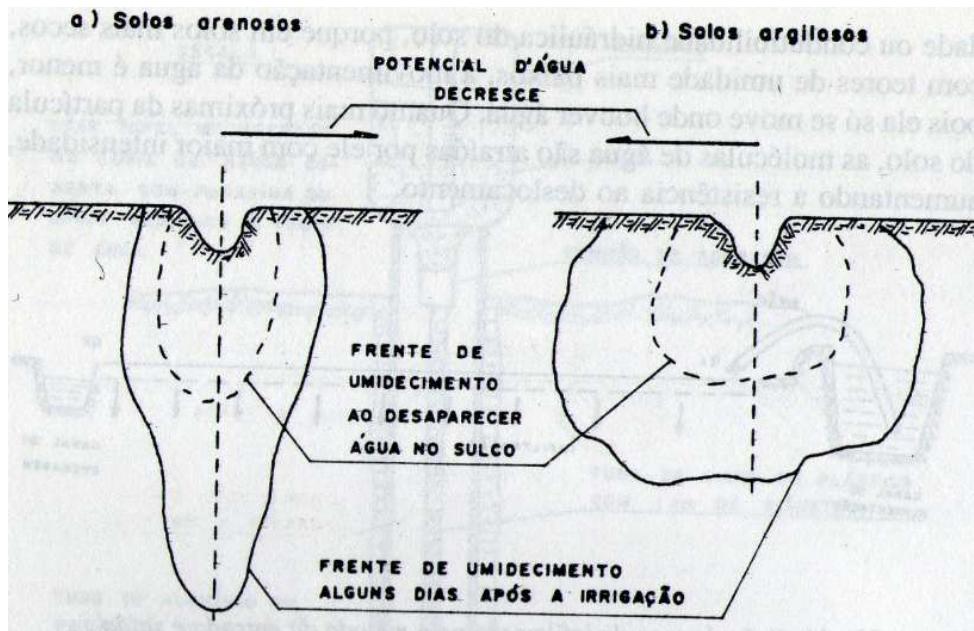


Figura 45– Frente de avanço da água em irrigação por sulcos para solos arenosos e argilosos

6.2.1 - BENEFÍCIOS E PROBLEMAS NA IRRIGAÇÃO POR SULCOS

O sistema de irrigação por sulco apresenta as seguintes **vantagens**:

- a) adapta-se a um grande número de solos e culturas;
- b) normalmente é o sistema de menor custo de implantação;
- c) a operação é pouco afetada pelo vento;
- d) tem elevado potencial para aumento da eficiência de irrigação e redução do consumo de energia;
- e) não interfere nos tratos fitossanitários das culturas, uma vez que a água não entra em contato com as partes aéreas da planta;
- f) permite a utilização de águas contendo apreciáveis quantidades de sólidos em suspensão ou poluídas;
- g) tem maior flexibilidade para superar eventuais interrupções operacionais; e
- h) é possível a automação operacional.

Entretanto, o sistema apresenta importantes **desvantagens**, tais como:

- a) acentuada dependência das condições topográficas;

- b) inadequado para solos excessivamente permeáveis, pouco profundos;
- c) seu dimensionamento envolve teste de campo;
- d) variabilidade de importantes parâmetros de dimensionamento, dentre os quais a característica de infiltração da água no solo;
- e) reavaliações freqüentes, com a finalidade de introduzir medidas dimensionais e operacionais corretivas;
- f) o sistema integra a área para a qual foi projetado e, portanto, não pode ser deslocado para outras áreas;
- g) medidas efetivas de controle de erosão devem ser adotadas; e
- h) limitada divulgação pela indústria e pelos técnicos. Não há interesse comercial envolvido, uma vez que para sua aplicação são necessários poucos materiais comerciais.

6.2.2 - Parâmetros do sistema de irrigação por sulco

Para se fazer irrigação por sulcos de modo correto, há necessidade de testes de campo para o dimensionamento do projeto. Os parâmetros a determinar são **a vazão inicial não erosiva, a vazão reduzida, a velocidade de infiltração da água, a curva de avanço da água no sulco, a infiltração acumulada, o perfil de umedecimento do solo e o comprimento do sulco.**

Os sulcos normalmente apresentam a **forma de V**, com 0,15 a 0,20 m de profundidade e 0,25 a 0,30 m de largura. O espaçamento entre sulcos depende da textura do solo e do perfil de umedecimento

O **comprimento** do sulco é um dos principais fatores do sistema de irrigação. A quantidade de mão-de-obra exigida, o custo de irrigação, a perda de áreas de cultivo com canais e drenos e a dificuldade de mecanização diminuem com o acréscimo do comprimento do sulco, entretanto, com este aumento seguem o aumento das perdas de água por infiltração e o decréscimo da uniformidade de aplicação de água.

Em solos argilosos os sulcos podem ser mais longos pois a taxa de infiltração é menor, resultando em menor perda por percolação profunda (infiltração abaixo das zonas das raízes). Em solos arenosos os sulcos devem ser mais curtos, pela razão oposta.

Espécies com sistema radicular profundo permitem sulcos mais longos, pois a maior quantidade de água que está infiltrando no início do sulco será aproveitada pelo sistema radicular da cultura.

O **tempo de irrigação** para uma dada lâmina de água a ser aplicada é determinada com base na curva de infiltração acumulada, ou seja, na curva que relaciona a quantidade total de água infiltrada com o tempo gasto para tal.

Segundo OLITTA (1988), a irrigação por sulcos possui quatro fases principais, descritas abaixo.

Fase de avanço - Esta fase começa com a entrada de água no início do sulco e termina quando a água chega ao final do sulco. É altamente recomendável realizar um teste de avanço da água no sulco. Este teste é um procedimento de campo, que relaciona o tempo que a água leva para percorrer distâncias pré-definidas. O avanço da água no sulco também é denominado de Velocidade de deslocamento lateral da água no sulco e depende dos seguintes fatores:

- Vazão aplicada no início do sulco;
- Taxa de infiltração de água no solo;
- Declividade ao longo do sulco;
- Rugosidade e comprimento do sulco.

Fase de reposição de água no solo - Depois que o espelho d'água está totalmente formado (final do tempo de avanço), começa a fase de reposição da água no solo, na qual a água permanece escoando até que a frente de molhamento atinja toda a zona radicular no final do sulco.

Fase de recessão vertical - Após o encerramento da reposição da água no solo, o fornecimento de água é interrompido e tem início a fase de recessão vertical, em que a água permanece escoando e infiltrando até que apareça a primeira porção de superfície do sulco sem água fluindo.

Fase de recessão horizontal - Esta fase termina quando toda a superfície do sulco apresenta-se drenada.

A EMBRAPA (2010) recomenda que se aplique inicialmente a maior vazão que o sulco pode conduzir sem que ocorra transbordamento ou erosão (vazão máxima não erosiva), com o objetivo de formar um espelho d'água que cubra todo o comprimento do sulco com rapidez, pois aí a água estará infiltrando em todos os pontos ao mesmo tempo. Desta forma, também reduz-se as perdas de água por infiltração abaixo das zonas das raízes na parte inicial do sulco.

Quando a água atingir o final do sulco, deve continuar escoando por algum tempo, mas a vazão inicial pode ser reduzida para a menor quantidade capaz de manter o espelho de água em todo o comprimento do sulco.

Estimativa da vazão máxima não erosiva

A vazão máxima não erosiva é a maior vazão que pode ser veiculada no sulco sem causar grande carreamento de sólidos. Segundo EMBRAPA (2010), pode ser obtida através da relação a seguir.

$$Q_{\max} = \frac{C}{S^a}$$

onde Q_{\max} = Vazão máxima não erosiva [m^3/s];

S = declividade do sulco [%];

C, a = Coeficientes relacionados com a textura do solo.

Os valores de C e a são função da textura do solo, e podem ser obtidos na tabela abaixo

Tabela 10 - Valores dos coeficientes C e a em função da textura do solo

| Textura | C | a |
|--------------|-------|-------|
| Muito fina | 0,892 | 0,937 |
| Fina | 0,988 | 0,55 |
| Média | 0,613 | 0,733 |
| Grossa | 0,644 | 0,704 |
| Muito grossa | 0,665 | 0,548 |

Recomenda-se o uso de irrigação por sulcos de contorno para a produção intensiva de hortícolas. Isto pelas seguintes razões (MCT, 2010):

- Construção do canteiro – o sistema de sulco requer pouco trabalho para ser estabelecido.
- Extensão – o sulcamento de contorno é uma concepção que já foi introduzida a muitos produtores.

- Densidade de plantas – O método de contorno de canteiro permite mais eficiência de uso de terra já que pouca área é perdida para canais e passagens.

6.3 Sistemas alternativos de irrigação por aspersão

6.3.1 - Aspersão com “espaguete”

De acordo com BARROS (2007) este sistema denomina-se “espaguete” (figura 46) como referência ao material utilizado para confeccionar os microaspersores, pois trata-se de um tubo plástico que tem como principal finalidade a confecção de cadeiras. O sistema pode ser utilizado para a irrigação de hortaliças, flores, sementeiras e viveiros de plantas frutíferas, casas de vegetação, plantas ornamentais e etc.



Figura 46 – Irrigação por aspersão com “espaguete”. Fonte: Barros, 2007.

Trata-se de um sistema fixo por microaspersão onde a água pressurizada percorre a tubulação principal chegando às linhas de distribuição onde, através de uma ranhura no tubo plástico conectado a um tubo de polietileno, é aspergida em forma de névoa.

Este sistema apresenta como vantagens o baixo custo de implantação, pequeno diâmetro de gotas d’água, fácil implantação, dispensa mão-de-obra no manejo, economia de água e pode ser empregado em qualquer tipo de solo e topografia. O material utilizado para a construção do sistema são tubos, conexões e registros de PVC, mangueira de polietileno, espaguete (tubo plástico) e estacas de madeira.

Construção

Para a confecção do microaspersor corta-se pedaços de espaguete com aproximadamente 3 cm de comprimento. Com auxílio de um ferro quente derrete-se uma de suas extremidades até fechá-lo e evitar vazamentos. Em seguida, com auxílio de uma lâmina cortante, faz-se de um corte transversal próximo à extremidade que foi vedada até a metade do diâmetro.

Após o preparo do terreno, entoram-se estacas de madeira com no mínimo 20 cm de profundidade, fixando-as bem. As linhas distribuidoras ficarão suspensas sobre a cultura, que ao longo serão fixados os irrigadores, espaçados entre si de acordo com o sistema.

A tubulação da linha principal pode ser de PVC, enquanto as linhas de distribuição devem ser de polietileno para facilitar o acoplamento do microaspersor tipo espaguete. No inicio de cada linha de distribuição, deve-se colocar um registro para se fazer a irrigação de cada linha separadamente. Com auxílio de uma punção, deve-se abrir, no espaçamento desejado os furos no tubo de polietileno para conectar os microaspersores. O furo deve ser de diâmetro ligeiramente menor que do espaguete para uma melhor fixação.

Para a irrigação de fruteiras e culturas com maior espaçamento entre fileiras, a linha de distribuição pode ser colocada diretamente sobre o terreno. Todavia, para culturas com menor espaçamento entre fileiras é conveniente que as linhas com os microaspersor sejam suspensas. Isso pode realizado com auxílio de estacas de madeira.

6.3.2 - MICROASPERSAO COM HASTE DE COTONETE

Neste sistema de irrigação a água é pressurizada através de uma ranhura em um microtubo (cotonete) conectado à um tubo de polietileno sendo aspergida com um ângulo de 180° (figura 37).



Figura 47– Irrigação por aspersão com hastes de cotonete. Fonte: Barros, 2007.

Existem microaspersores de diversos modelos, tamanhos e vazões no mercado afim de suprir a necessidade dos mais diversos sistemas de cultivo. Para a construção desse tipo de microaspersor é necessário uma haste de cotonete, arame liso e alicate. Os microaspersores de cotonetes são instalados ao longo da tubulação de polietileno (linha lateral) com espaçamento suficiente para atender as necessidades hídricas da cultura a ser irrigada.

Construção

Para a construção do microaspersor retiram-se as duas pontas de algodão. Esquenta-se uma das pontas com fogo e aperta-se com alicate para o fechamento. Na outra ponta insere-se um arame para servir de guia para o corte transversal de 180° que deve ser realizado com auxilio de uma lâmina cortante próximo a extremidade que foi bloqueado do cotonete.

Retira-se o arame e depois entorta-se a ponta obtendo uma abertura de 20 a 30°. Para a instalação dos microaspersores na tubulação de polietileno, deve-se realizar um pequeno furo (de menor diâmetro que o cotonete) no tubo e introduzir a haste do cotonete.

7 - ESTUDO DE CASO

O estudo de caso deste trabalho baseou-se na análise da substituição do sistema de irrigação atual da **Horta Municipal de São Carlos**. O sistema atual baseia-se na extração de água subterrânea (poço semi artesiano) através de bombas elétricas e uso de aspersores convencionais e irrigação direta com uso de mangueiras. Análises desta água indicaram ser ela potável. O consumo de água foi estimado em 8 a 10 litros/m² de canteiro/dia, devido a desperdícios e ineficiência do sistema adotado e.

A Horta possui cerca de 1500 m² de área cultivada, majoritariamente distribuída em canteiros de 1 x 50 metros, consumindo um total de aproximadamente 20.000 litros diários em cerca de 30 canteiros. Produz, além de uma série de hortaliças, frutíferas como banana, ameixa, uvaia, jaca e jabuticaba. A produção de hortaliças é realizada em ambiente aberto e em estufas. Existem duas estufas no interior da horta, uma de 10 x 25 metros e outra de 20 x 50 metros. A primeira é utilizada para produção de mudas, e a segunda para produção de mudas e hortaliças em geral.



Figura 48 – Canteiros e estufa da horta municipal

O solo possui predominância de textura argilo-arenosa e no interior da Horta passam dois córrego (sem denominações oficiais), afluentes do rio Monjolinho, importante manancial da cidade de São Carlos. Ambas nascentes encontram-se a algumas centenas de metros da Horta.

Neste trabalho, pretendeu-se analisar a possibilidade de substituir este sistema de irrigação atual, que faz-se do uso de energia externa, utiliza um manancial considerado nobre e não faz uso eficiente da água, por outro, de elevação da água superficial (do córrego) com uso de bomba construída com materiais alternativos e distribuição da água de maneira racional.



Figura 49 – Sistema de irrigação atual com mangueiras

Na Horta Municipal de São Carlos é realizada a agricultura orgânica e desenvolve-se nela o Centro de Educação Ambiental e Agroecologia de São Carlos, sendo produtora e disseminadora de ações em busca da sustentabilidade. Além disso, ela encontra-se em local bastante estratégico para a divulgação de conhecimento, uma vez que compõe o Pólo Ecológico de São Carlos, juntamente com a Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), a EMBRAPA unidade de São Carlos, o Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos (SAAE), o Horto Municipal de São Carlos e o Parque Ecológico de São Carlos. Na figura seguinte, tem-se o mapa da região da horta, sendo esta a área hachurada.

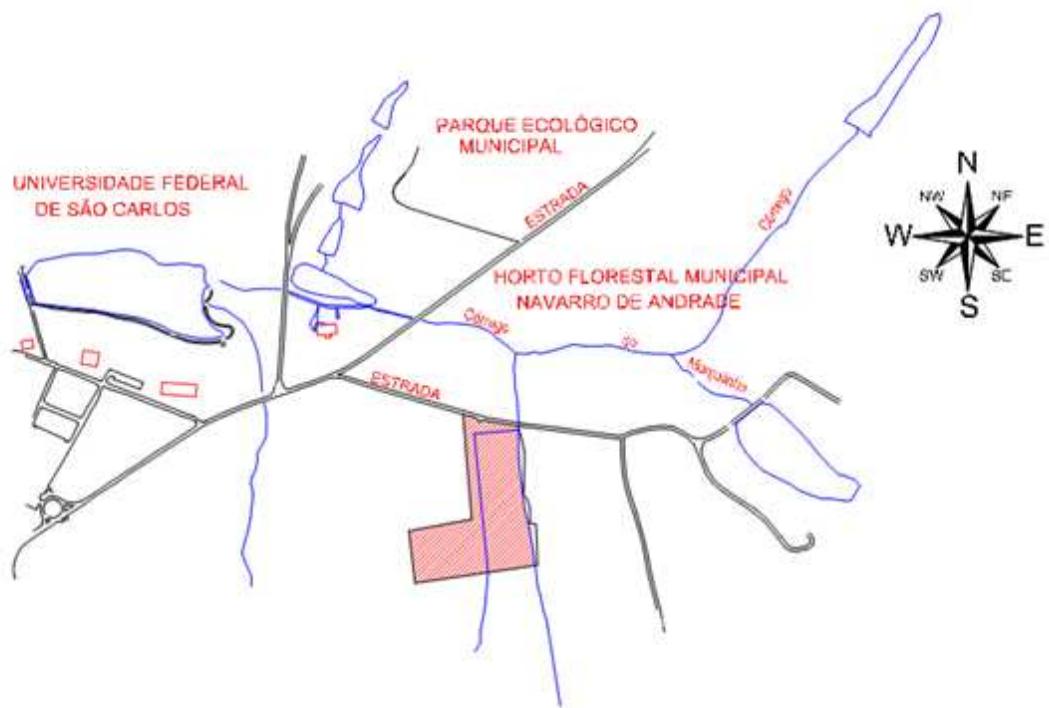


Figura 50 – Região de entorno da Horta Municipal de São Carlos

O desenvolvimento de substâncias químicas destinadas à eliminação de ervas daninhas e pragas foi um dos aspectos que mais marcaram a evolução da agricultura durante o século XX. Contudo, os resultados positivos trazidos pela incorporação de agrotóxicos na produção agrícola foram obscurecidos por crescentes debates acerca dos efeitos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente.

Os sistemas biológicos têm a habilidade de crescer e multiplicar com maior ou menor intensidade dependendo das suas características inerentes e das condições impostas pelo ambiente. A produção convencional moderna de alimentos se dá por meio da prática da agricultura e da pecuária e o rendimento desta produção enfrenta a concorrência de outros sistemas biológicos vegetais, animais, microbianos e parasitários.

Desta forma, o processo de modernização da agricultura, nos anos 60, introduziu o emprego de novas variedades mais produtivas e dependentes de adubos químicos, uso intensivo de pesticidas e máquinas agrícolas a fim de se aumentar os índices de produtividade. O emprego destes agentes químicos resultou em aumento da produtividade, mas por outro lado trouxe consequências adversas ao homem, visto serem estes agentes nocivos ao homem e ao ambiente.

A agricultura orgânica é o sistema de produção que não usa fertilizantes sintéticos, agrotóxicos, reguladores de crescimento ou aditivos sintéticos para a alimentação animal. O manejo na agricultura orgânica valoriza o uso eficiente dos recursos naturais não renováveis,

bem como o aproveitamento dos recursos naturais renováveis e dos processos biológicos alinhados à biodiversidade, ao meio-ambiente, ao desenvolvimento econômico e à qualidade de vida humana.

Esta maneira de produção agrícola enfatiza o uso e a prática de manejo sem o uso de fertilizantes sintéticos de alta solubilidade e agrotóxicos, além de reguladores de crescimento e aditivos sintéticos para a alimentação animal. Esta prática agrícola preocupa-se com a saúde dos seres humanos, dos animais e das plantas, entendendo que seres vivos saudáveis são frutos de solos equilibrados e biologicamente ativos, adotando técnicas integradoras e apostando na diversidade de culturas.

O Brasil vem procurando elevar o nível tecnológico da agricultura irrigada, objetivando aumentar sua produção e produtividade. Com isso, surgem inovações tecnológicas que muitas vezes não são apropriadas pelo pequeno produtor por conta dos elevados custos de implantação e manutenção. A nova ordem conservacionista impõe uma agricultura de sustentação própria, onde se possa racionalizar o uso da água e diminuir os gastos com energia sem comprometer a produção final.

Em princípio, todos os sistemas de irrigação podem ser utilizados para as hortaliças, entretanto, o sistema adotado deve estar sempre ligado com particularidades do local, a fim de se encontrar uma maneira de se produzir e ocupar o espaço de modo a aproveitar as possibilidades e recursos que o ambiente dispõe e poupar recursos ambientais, econômicos e humano. Norteados por esse princípio este trabalho procurou induzir a substituição do sistema adotado por outro que utiliza-se menos água, menos energia e menos trabalho humano.

O córrego que passa no interior da Horta do qual pretende-se retirar uma parcela de água para irrigação possui, no período de estiagem, vazão de aproximadamente 1 L/s, cerca de 90.000 litros por dia. A vazão do corpo d'água foi determinada através da medição do tempo necessário para se encher um volume pré-estabelecido de 20 litros. Foram coletadas 14 amostras, sempre por volta das 9 h, durante os dias de 2 a 19 de agosto (a coleta foi feita durante os dias úteis). Os resultados obtidos seguem na tabela a seguir. Não existem estudos atuais a respeito da qualidade da água transportada, mas análises anteriores diagnosticaram de moderado a baixo valor de matéria orgânica e sólidos suspensos.

Tabela 11– Tempo necessário para obter 20 litros com a vazão do córrego

| Amostra | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Tempo [s] | 17 | 20 | 21 | 23 | 18 | 19 | 19 | 20 | 21 | 22 | 21 | 18 | 21 | 19 |

Já existe no local reservatório de água, e como é possível aproveitar a configuração do terreno para obter a queda mínima exigida pelo sistema de bombeamento sem a construção de barragens, o custo de implantação do sistema fundamenta-se no valor das peças do carneiro e da tubulação. O reservatório é escavado em terra e era utilizado em um sistema antigo de irrigação, mas seu uso teve de ser abandonado em função da adequação das Áreas de Preservação Permanente no entorno de outro corpo d'água, que também passa no interior da horta. O reservatório possui dimensões de 5x 20 x 2m (200 m³). Na figura seguinte, tem-se a planta da horta, e na sequência, o detalhe do reservatório de onde pretende-se retirar a água.

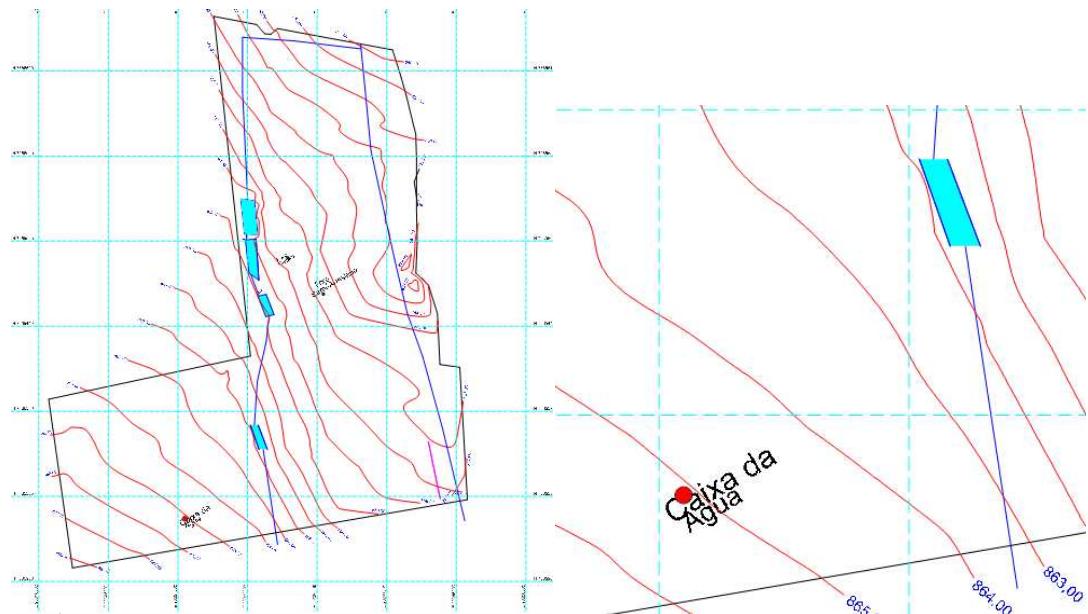


Figura 51– Planta da Horta Municipal com detalhe do reservatório e a caixa de água já existentes

Para a utilização das águas do córrego na irrigação dos canteiros, é necessária transportá-la para uma área mais alta no terreno, uma vez que, como se vê na planta a seguir, grande parte da área útil da Horta localiza-se acima do nível deste. Desta forma, é preciso elevar a água a uma altura de 10 metros, suficiente para elevar a água do ponto onde se localiza o carneiro até o topo da caixa de água (7 metros de desnível somado de 3 metros da caixa de água, através de uma tubulação de cerca de 100 metros.

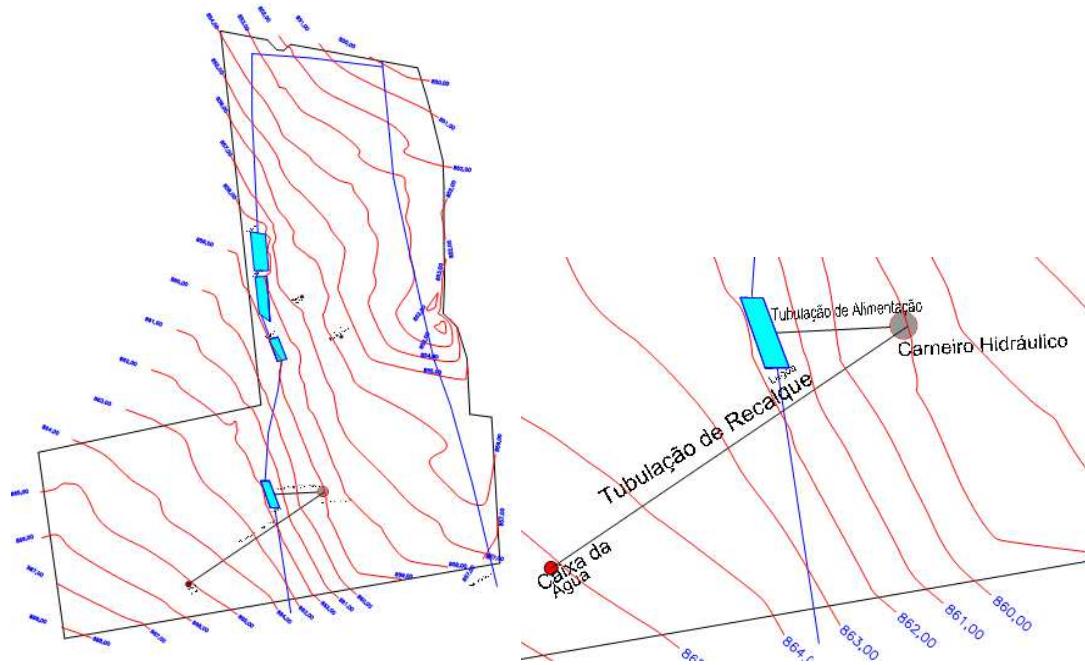


Figura 52– Planta da Horta Municipal com detalhe do sistema de bombeamento proposto

A análise da viabilidade técnica desta proposta foi realizada através da verificação da compatibilidade da vazão do córrego com a vazão requerida para acionar um carneiro hidráulico, feito com garrafa PET, para as condições acima mencionadas, utilizando-se tubulação de plástico e de bambu.

Nos arredores da Horta existem algumas moitas de uma espécie não identificada de bambu, mas que possuem dimensões próximas à requerida. Sua principais dimensões podem ser observadas a seguir

Tabela 12– Dimensões do bambu próximo da horta

| Comprimento da parte aérea da planta [m] | Diâmetro interno [cm] | Diâmetro externo [cm] |
|--|-------------------------|-------------------------|
| 8 a 12 | 3 a 4 | 6 a 9 |

Pela **tabela 5** (tabela com valores de diâmetro de saída do tubo do carneiro e vazão de alimentação) tem-se que o diâmetro da tubulação de recalque do sistema é de 0,5 polegadas.

Para saber a vazão de alimentação necessária ao sistema é preciso conhecer a altura de elevação (H), a fim de que se possa determinar a relação entre a altura de alimentação (h) e de elevação. Com tais dados, fez-se o uso da **tabela 4** (tabela de h / H e rendimento do

carneiro) para saber a eficiência do sistema de elevação, em termos de vazão recalcada e vazão de alimentação.

Na computação do valor da altura de elevação **H**, é preciso considerar, além do desnível geométrico, as **perdas de cargas** ocorridas ao longo da tubulação. A perda de carga é gerada em função do atrito e de estruturas que alterem o escoamento do líquido na tubulação, como curvas, redução ou aumento do diâmetro do tubo, válvulas, etc. Assim, a perda de carga é fundamentalmente relacionada com o material constituinte da tubulação e com singularidades.

Para a determinação do valor da perda de carga, PORTO (2006) recomenda o uso da **Equação Universal de Perda de Carga**, ou equação de **Darcy-Weisbach**, mostrada a seguir.

$$\Delta H = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

onde ΔH = Perda de carga [m];

f = fator de atrito da tubulação;

L = comprimento da tubulação [m];

D = Diâmetro da tubulação [m];

V = Velocidade do líquido [m/s];

g = aceleração da gravidade = 9,81 m/s².

O valor do fator de atrito f é função de características próprias do material constituinte da tubulação e do escoamento que ocorre em seu interior. Assim, PORTO (2006) indica o uso da fórmula de **Swamee-Jain** para a determinação de f .

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3,7 D} + \frac{5,74}{Rey^{0,9}} \right) \right]^2}$$

onde f = fator de atrito;

ϵ = rugosidade absoluta equivalente [mm];

D = Diâmetro da tubulação [m];

Rey = Número de Reynolds.

O valor da rugosidade absoluta ϵ , é tabelado em função do material constituinte da tubulação. Para tubos de PVC, plásticos em geral e tubos extrudados, PORTO (2006) alega que o valor de ϵ encontra-se entre 0,0015 a 0,010. O **valor adotado** foi de ϵ para tubulação de plástico foi de **0,01**. O número de Reynolds **Rey** fornece a relação entre as forças dinâmicas e estáticas do fluido e pode ser obtido através da relação a seguir.

$$\text{Rey} = \frac{4 Q \rho}{\mu \pi D}$$

onde Q = vazão no tubo [m^3/s];

ρ = massa específica do líquido (Água = 1000 Kg/m^3);

μ = viscosidade dinâmica do líquido (Água = $1,03 \cdot 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$);

D = diâmetro do tubo [m]

Desta forma, para cada vazão, tem-se um número de Reynolds, um fator de atrito, e uma perda de carga linear específica.

PEREIRA (2000) realizou estudos do comportamento hidráulico de tubulação constituída de bambu com uniões de tiras de borracha, onde encontrou valores do fator de atrito f para casos de remoção dos nós internos do bambu com ferramenta manual e ferramenta giratória de acionamento elétrico, descritos anteriormente. Os resultados obtidos encontram-se na tabela 12 a seguir.

Tabela 12 – Valores de f para diferentes formas de remoção do nó

| Remoção | Fator de atrito f |
|----------|-------------------------------|
| Manual | $0,3459 \text{ Rey}^{-0,117}$ |
| Mecânica | $0,1107 \text{ Rey}^{-0,097}$ |

COTRIN (2006) indica que o consumo diário aproximado da água para irrigação eficiente de hortaliças, tanto para irrigação por sulco, aspersão ou gotejamento, está entre 3 a 5 litros por metro quadrado. Para os cálculos, o **valor adotado** foi de 4 litros por metro quadrado. Realizou-se o estudo para a irrigação de 50 a 1.500 m²(1 a 30 canteiros)

Os valores calculados seguem na planilha em anexo (**ANEXO 1**) e a síntese dos resultados podem ser observados na tabela a seguir. Por Bambu (manual) entende-se tubos de bambu com nós removidos com ferramenta manual, ao passo que por bambu (mecânico) a remoção através de ferramenta com motor elétrico.

Tabela 13– Valores de perda de carga para diferentes situações de tubulações e área irrigada

| Área Irrigada [m ²] | Vazão recalculada [L/dia] | Perda de carga [m] | | |
|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------|----------------|------------------|
| | | Plástico | Bambu (manual) | Bambu (mecânico) |
| 50 | 200 | 0,01 | 0,03 | 0,01 |
| 75 | 300 | 0,02 | 0,07 | 0,03 |
| 100 | 400 | 0,04 | 0,12 | 0,04 |
| 150 | 600 | 0,07 | 0,25 | 0,10 |
| 200 | 800 | 0,12 | 0,43 | 0,17 |
| 300 | 1200 | 0,24 | 0,93 | 0,36 |
| 400 | 1600 | 0,39 | 1,60 | 0,62 |
| 500 | 2000 | 0,58 | 2,44 | 0,95 |
| 750 | 3000 | 1,19 | 5,23 | 2,06 |
| 1000 | 4000 | 1,98 | 9,00 | 3,57 |
| 1500 | 6000 | 4,10 | 19,31 | 7,72 |

Assim, é possível obter o valor da altura de recalque somando-se o valor da perda de carga com o desnível geométrico (10 m), e com isso determinar a eficiência do carneiro hidráulico de PET (Tabela 4) e a vazão de alimentação necessária ao sistema de elevação para cada vazão de irrigação requerida.

Tabela 15 – Quadro síntese dos resultados obtidos

| Área Irrigada | Vazão recalcada [L/dia] | Relação h/H | | | Vazão de Alimentação [L/dia] | | |
|---------------|---------------------------|-------------|----------------|------------------|--------------------------------|----------------|------------------|
| | | PLástico | Bambu (manual) | Bambu (mecanico) | Plástico | Bambu (manual) | Bambu (mecanico) |
| 50 | 200 | 1/4 | 1/4 | 1/4 | 400 | 400 | 400 |
| 75 | 300 | 1/4 | 1/4 | 1/4 | 600 | 600 | 600 |
| 100 | 400 | 1/4 | 1/4 | 1/4 | 800 | 800 | 800 |
| 150 | 600 | 1/4 | 1/4 | 1/4 | 1200 | 1200 | 1200 |
| 200 | 800 | 1/4 | 1/4 | 1/4 | 1600 | 1600 | 1600 |
| 300 | 1200 | 1/4 | 2/9 | 1/4 | 2400 | 2526 | 2400 |
| 400 | 1600 | 1/4 | 2/9 | 1/4 | 3200 | 3368 | 3200 |
| 500 | 2000 | 1/4 | 1/5 | 2/9 | 4000 | 4444 | 4211 |
| 750 | 3000 | 2/9 | 1/6 | 1/5 | 6316 | 7500 | 6667 |
| 1000 | 4000 | 1/5 | 1/8 | 1/5 | 8889 | 13333 | 8889 |
| 1500 | 6000 | 1/6 | 1/10 | 1/7 | 15000 | 30000 | 17143 |

Desta forma, tem-se que a vazão disponível no córrego é suficiente para suprir a vazão requerida pelo sistema de elevação com carneiro hidráulico com garrafa PET, mesmo considerando-se a situação que requer a maior vazão de alimentação, no caso de remoção dos nós do bambu com ferramenta manual. Além disso, conforme mencionado, apenas a parcela recalcada desta vazão é realmente retirada do corpo d'água, sendo que o restante retorna ao córrego.

Nesta situação, teria-se uma economia considerável na retirada de água do subsolo, o que garante um menor desequilíbrio no regime hidrológico subterrâneo, que está intimamente relacionado com o superficial, induzindo assim a um ambiente mais resiliente.

Quanto ao sistema de irrigação, existem algumas ponderações fundamentais que devem ser levadas em consideração na escolha. É primordial que se leve em consideração características do local como fontes de água disponíveis, características do solo, regime do clima local, peculiaridades das culturas que pretende-se cultivar e mão-de-obra disponível para operar o sistema. Fazendo-se uso racional destes parâmetros, pode-se operar de maneira mais equilibrada ambientalmente, economicamente e socialmente.

As hortaliças são, em geral, plantas de ciclo curto, sistema radicular relativamente superficial, muito exigente em água, que requerem alta disponibilidade de água no solo para o pleno desenvolvimento das plantas e produção. Podem ser cultivadas durante o ano todo, sendo a irrigação um insumo primordial para o cultivo durante o período de estiagem.

A reposição da água do solo no momento oportuno e na quantidade adequada envolve parâmetros relacionados à planta, ao solo e ao clima. Existem vários métodos disponíveis para o controle da irrigação, que apresentam vantagens e desvantagens. Métodos que permitem um controle criterioso, como o do balanço hídrico e o da tensão da água do solo, baseiam-se no conhecimento de propriedades físico-hídricas do solo, necessidades hídricas específicas da cultura e fatores climáticos associados a evapotranspiração. Estes métodos requerem equipamentos para o monitoramento da umidade do solo (tensiômetros, blocos de resistência elétrica, etc.) e/ou equipamentos para estimativa da evapotranspiração (tanque Classe A, termômetros, higrômetros, radiômetros etc.), além de pessoal qualificado. Em função da simplicidade do projeto proposto e dos recursos escassos para elaboração do mesmo, não foram levantados dados acerca da evapotranspiração no local de estudo.

Quanto a **características da planta**, é preciso observar principalmente os métodos de plantio, a altura da planta, a profundidade das raízes, o estágio de crescimento e peculiaridades próprias de cada planta.

Método de plantio - Existem certas culturas que aceitam bem qualquer método de irrigação. As culturas em linha normalmente aceitam a irrigação por sulcos e qualquer dos métodos pressurizados, ou seja, por gotejamento e por aspersão, o mesmo ocorrendo com as árvores frutíferas. Ultimamente, a irrigação por gotejamento e a microaspersão têm sido bastante utilizadas para frutíferas, pela automatização e pela economia de água.

Altura das plantas - As culturas, classificadas como altas (milho, cana-de-açúcar, etc.), são mais difíceis de se adaptarem à aspersão. Além das plantas interferirem na uniformidade de distribuição de água, torna-se difícil o transporte dos materiais portáteis da aspersão convencional, sendo obstáculo às mudanças das linhas. Uma solução para o uso da aspersão em plantas altas é colocar os aspersores acima delas, mas mesmo assim, há prejuízo no que concerne à uniformidade de distribuição.

Profundidade das Raízes - A profundidade das raízes é também um fator a ser considerado. As plantas dotadas de raízes profundas são capazes de explorar um volume maior de solo e, consequentemente, requerem maiores quantidades de água e menores freqüências de aplicação de água. A irrigação por sulco é portanto indicada.

É importante que se busque umidificar a zona do volume mais ativa das raízes, aquela na qual encontra-se cerca de 80 % das raízes. Na figura a seguir, tem-se o esquema simplificado da distribuição das raízes no solo relacionado com o consumo de água. Ressalta-se que a maior parcela do consumo comum de uma planta localiza-se nas camadas mais superiores do sistema radicular.

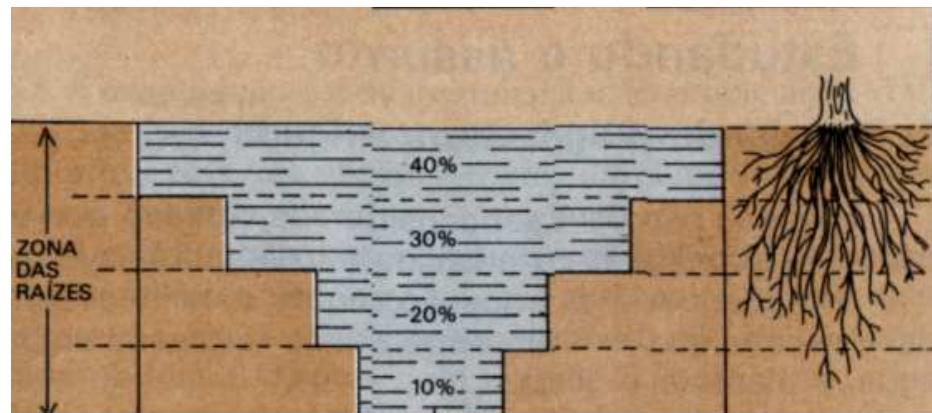


Figura 53 – Desenvolvimento do sistema radicula e consumo de água. Fonte: MINISTÉRIO DA IRRIGAÇÃO, 1988

As plantas podem ser classificadas em função da profundidade de suas raízes. Assim, tem-se na tabela e na figura a seguir uma classificação possível e exemplos da distribuição das raízes no solo.

Tabela 14– Classificação de algumas culturas em função da profundidade das raízes

| Tipos de Raízes | Profundidade das Raízes | Culturas |
|-----------------|-------------------------|--------------------------------------|
| Superficiais | Até 60 cm | A maioria das gramíneas e hortaliças |
| Medianas | Até 1,20 m | Algodão, cana-de-açucar, batata |
| Profundas | Até 1,80 m | Alfafa, milho, frutíferas |

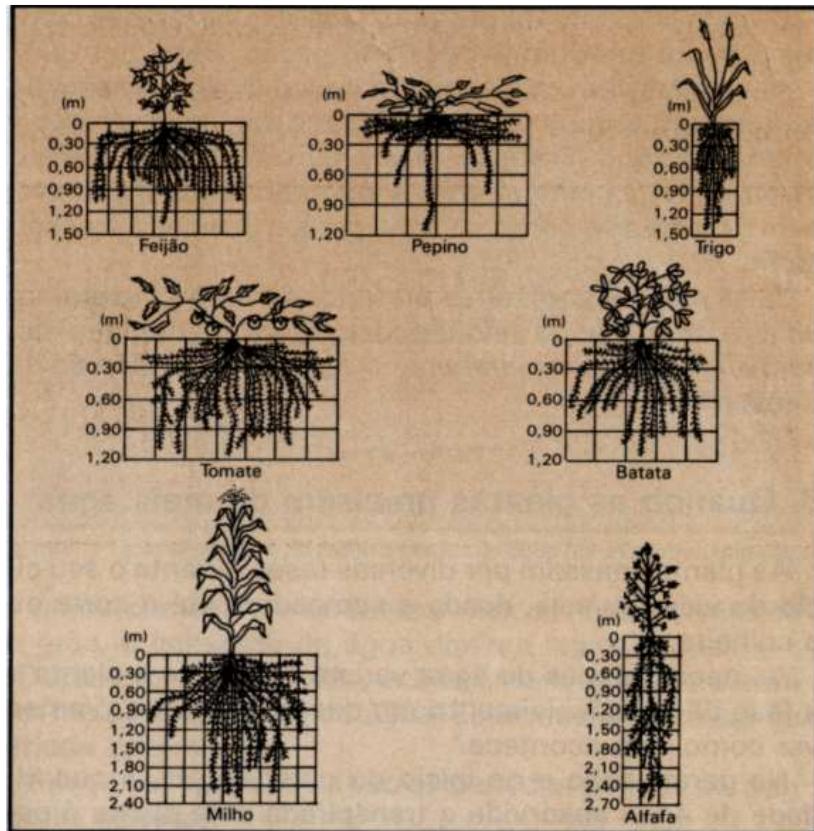


Figura 54– Sistema radicular de algumas culturas. Fonte: MINISTÉRIO DA IRRIGAÇÃO, 1988

Estágio de crescimento - As plantas no estágio de germinação e estágios subseqüentes, enquanto jovens, têm o sistema de raízes imaturo, não podendo explorar um grande volume de solo. Os métodos pressurizados são os mais indicados, pois são adequados a altas freqüências e a pequenas quantidades de água por vez. As sementes pequenas já dispostas no solo, que podem ser carregadas pela água, se usados os métodos de superfície, tornam mais viáveis os métodos pressurizados com baixos impactos da água no solo. Logo, deve-se evitar usar os aspersores de médio e longo alcance. No período de crescimento e maturação, não há um método mais indicado, de maneira geral.

Peculiaridades – Algumas culturas hortícolas possuem algumas peculiaridades que as tornam incompatíveis com determinados sistemas de irrigação. Por exemplo, nas plantas da família das Solanáceas (*Solanaceae*), que inclui tomate, pimentão, berinjela, jiló, batata e outros, quando ocorre molhamento excessivo da parte aérea, principalmente perto do período de colheita, tendem a desenvolver uma série de doenças, o que as tornam inaptas a sistemas de irrigação por aspersão.

Por outro lado, plantas da família das Cucurbitáceas (*Cucurbitaceae*), que compreendem a abóbora, chuchu, pepino, melão, melancia e outros, tendem a apresentar doenças quando ficam em contato direto com a umidade excessiva do solo, o que pode se

tornam um empecilho ao se associar esta família de plantas com sistemas de irrigação por sulco.



Figura 55 – Exemplos de plantas da família das *Cucurbitáceas*

Quanto a **mão-de-obra**, é interessante, desde que economicamente viável, a instalação de sistema de irrigação que dependam do mínimo de mão-de-obra, de maneira a maximizar os recursos humanos.

Tendo tudo isto em vista, propôs-se a instalação de sistemas de irrigação diversificados para cada tipo de vegetal cultivado. Assim, para as plantas frutíferas, propõe-se o uso de irrigação por sulco circundando cada árvore, como na figura abaixo.

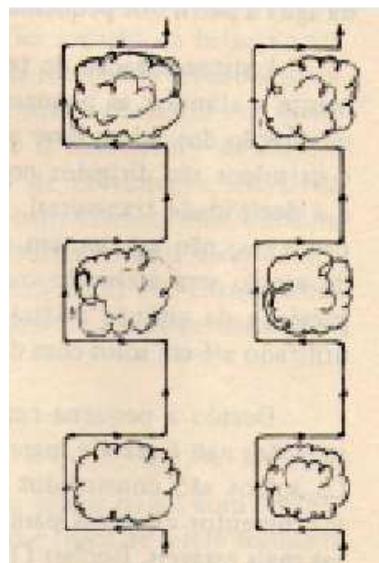


Figura 56– Sulcos cincundando árvores frutíferas

Propõe-se o uso de irrigação por sulcos com redução progressiva da vazão para canteiros que contenham hortaliças com sistema radicular profundo, principalmente os que produzam frutos, sobretudo as da família das Solanáceas, de modo que a parte comestível

da planta não entre em contato direto com a água de irrigação. O uso dos sulcos também é indicado para áreas plantadas com plantas de raízes profundas, como o milho. Este sistema de irrigação é aconselhável especialmente para o caso de estudo porque não necessita de muita mão-de-obra e não requer investimentos, após o inicial de aquisição de material.

Para a estufa pequena, onde se produz as mudas, propõe-se o uso de irrigação por aspersão com cotonete ou “espaguete”, uma vez que as diminutas gotas oferecem uma homogeneidade na distribuição de água que não se encontra em outros sistemas de irrigação. As gotas pequenas são benéficas às mudas e sementes por não agredirem a planta, e a homogeneidade garante o crescimento sincronizado das plantas.

Além disso, o sistema de irrigação por aspersão é interessante às mudas por ser possível aplicá-lo uma série de vezes ao longo do dia. Isto é estrategicamente bastante positivo para uma planta que não possui raízes e nem muito solo para explorar, além de ser muito sensível a um estresse hídrico.

Para a estufa grande, propõe-se o uso de aspersão por cotonete ou “espaguete” associado com o uso de sistemas de gotejamento realizado a partir de material alternativo de baixo custo. Deve-se atentar para não irrigar por aspersão áreas cultivadas com plantas da família das Solanáceas. O uso deste sistema dentro de um ambiente protegido, como uma estufa, é beneficiado pela diminuição da ação do vento, de forma que cria-se um ambiente muito mais umidificado no interior da estufa.

Para as demais áreas, propõe-se o uso de irrigação por gotejamento. Nos canteiros que contiver culturas com sistema radicular raso e espaçamento largo, propõe-se que se utilize gotejadores com altas taxas de aplicação de água, de forma a causar uma zona molhada mais larga e menos profunda. Já nas culturas com sistema radicular profundo e espaçamento reduzido, propõe-se o contrário, que se aplica baixas taxas de aplicação de água, de maneira a formar uma zona molhada mais profunda e menos larga.

Se fosse utilizado somente o sistema de irrigação por sulcos, não seria necessário a instalação de filtros para purificar a água, uma vez que este sistema não exige água limpa. Entretanto, os gotejadores e os aspersores, por possuírem condutos com diâmetro muito reduzido em certos componentes do sistema, apresentam sérios problemas se for utilizada água “suja”. São frequentes os entupimentos destes condutos, principalmente se não for realizado algum tratamento na água irrigada.

Como o manancial utilizado não apresenta características peculiares que exigiriam tratamento avançado, propõe-se a instalação de um filtro de areia simples, localizado no fim da tubulação de recalque.

Como não se trabalhará com grandes vazões, o filtro não necessita de grandes dimensões. Assim, pode ser utilizado um filtro simples, sugeridos por Van Lengen (2008),

constituído de barris metálicos de 200 litros, com areia e seixos de diversas graduações. Na figura seguinte, tem-se o esquema deste tipo de filtro.

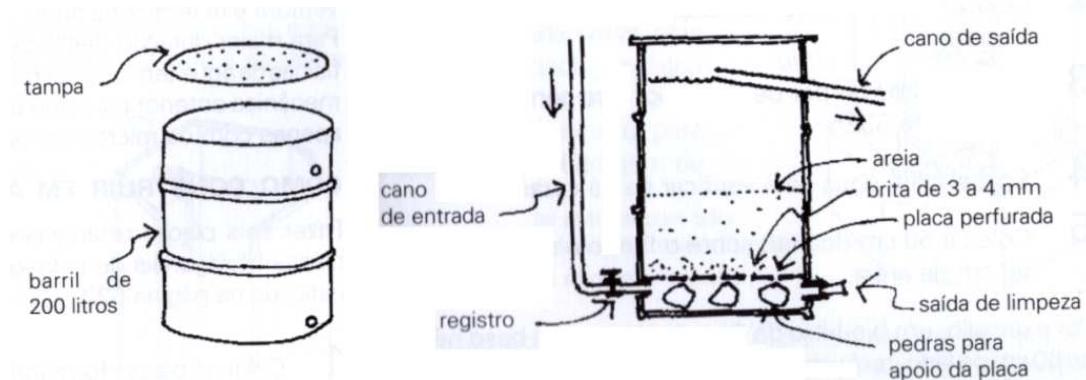


Figura 57 – Filtro barril. Fonte: Van Lengen, 2008.

Segundo Van Lengen (2008) e Daker (1969), cada filtro deste pode filtrar com segurança (para fins não potáveis) cerca de 1000 litros/dia, de forma que para atender a toda vazão recalcada seria necessária a instalação de cerca de 6 filtros-barris. O uso deste sistema de filtração tem forte apelo econômico, uma vez que os barris podem ser obtidos em locais de venda de materiais utilizados.

8 – CONCLUSÃO

A realidade encontrada na Horta Municipal de São Carlos, em termos de irrigação, é encontrada em muitos casos no Brasil e no mundo. Na agricultura, não são raras as situações em que é possível realizar otimizações nos sistemas de irrigação adotados, reduzindo assim o volume de água consumido e o gasto econômico com materiais para implantação, operação e manutenção. Tampouco não são raras as situações em que se utiliza uma água com características qualitativas mais próximas da potabilidade, mesmo quando é possível fazer-se uso de outras fontes menos nobres.

A substituição do sistema de irrigação proposto neste trabalho poderia causar, além da economia de água do lençol freático, a disseminação do conhecimento das possibilidades mais interessantes de bombeamento, transporte de água e irrigação ao pequeno produtor rural, uma vez que na Horta encontra-se o Centro de Educação Ambiental e agroecologia de São Carlos, além desta compor o Pólo Ecológico de São Carlos.

Mostrou-se bastante viável a substituição de sistemas convencionais de irrigação, transporte de água e bombeamento, que normalmente exigem do produtor a compra de material e equipamento caros, além de gastos constantes com a operação do sistema. Mostrou-se possível a instalação de sistemas de irrigação simples que permitam a independência do produtor.

O desenvolvimento e divulgação de práticas e opções tecnológicas que ocasionem economia de recursos naturais e econômicos, energia e horas de trabalho devem ser sempre estimuladas, assim como a busca por alternativas ao sistema utilizado. O meio ao redor muitas vezes fornece o necessário para sanar carências, desde que se busque planejar em harmonia com este.

9 – BIBLIOGRAFIA

ABATE, C.; BOTREL, T.A.. Carneiro Hidráulico com tubulação de alimentação em aço galvanizado e em PVC. 2000. Disponível em: <http://www.scribd.com/doc/35372474/Carneiro-Hidraulico>. Acessado em setembro de 2010.

AQUA ENVIRONMENT CO. Hydraulic water rams: catalogue. Bolina, 1997. 4p

BARROS, P. P. S.. Sistemas alternativos de irrigação para agricultura familiar. Monografia de graduação. FTB. Dezembro de 2007.

BC Livestock Watering. H y d r a u l i c r a m . Disponível em <http://www.bc.ducks.ca/fs/watering/hydraulic.htm>. Acessado em julho de 2010

CERPCH (Centro Nacional de Referencia em Pequenos Aproveitamentos Hidroenergéticos), 2002. Carneiro Hidráulico: O que é e como produzí-lo. Itajubá, MG.

COTRIM, C. E.. Otimização da irrigação localizada em pomares de manga no semi-árido baiano. 2006. Tese doutorado. UFV, Viçosa, MG.

CORVALÁN, A.; GÁLVEZ, R. Bomba de ariete hidráulico. Disponível em: <http://www.cipres.cec.uchile.cl/rgalvez/bomba.htm>. Acessado em agosto de 2010

DAKER, A. A Água na Agricultura: irrigação e drenagem. Rio de Janeiro. 1969.

EMBRAPA, CNPAT. Energia eólica [on-line] Disponível: <http://www.cnpat.embrapa.br/home/janela.php?Id=58>. Acessado em agosto 2010.

GARCIA, C. J. B.. 2006. Avaliação Técnica de tubos emissores para irrigação localizada. Tese doutorado. UNESP, Botucatu, SP.

GOLDBERG, D., B. GORNAT e D. RIMON. 1976. Drip Irrigation: principles, design and agricultural practices. D.I.S. Publication, Israel.

HACHUM, A.Y., J.F. ALFARO e L.S. WILLARDSON. 1976. Water movement in soil from trickle source. Journal of the Irrigation and drainage Division, ASCE, 1022 (IR2).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em agosto de 2010

JENNINGS, G.D. Hydraulic ram pumps. s.l: North Carolina Cooperative Extension Service, 1996. (EBAE 161-92)

KITANI, K.; WILLARDSON, L.S. Hydraulic ram use for sprinkle irrigation. Transaction of the ASAE, v.27, p.1788-1791, 1984.

LIFEWATER INTERNATIONAL. Designing a hydraulic ram pump. Disponível em: <http://www.lifewater.org/wfw/rws4/rws4d5.htm>. Acessado em julho de 2010.

Microirrigation for a Changing World: Conserving Resources/ Preserving the Environment. Proceedings of the Fifth International Microirrigation Congress. April 2-6, 1995, Hyatt Regency Orlando, Orlando, Florida.

Ministério da Ciencia e Tecnologia de Moçambique Disponível em: http://www.mct.gov.mz/portal/page?_pageid=618,1227213&_dad=portal&_schema=PORTAL. Acessado em agosto de 2010.

MINISTÉRIO DA IRRIGAÇÃO, 1988. Curso Básico de Irrigação. São Paulo: Fundação Roberto Marinho; Brasília: Fundação Banco do Brasil.

NETO, J. A. A., Testezlaf, R., Matsura, E.E.. Características hidráulicas de tubos de bambu gigante. Publicado na Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental –V. 4, N. 1,2000.

NETO, J. A. A.. Contribuição ao estudo do bambu: o comportamento hidráulico de tubos de bambu gigante. Tese Mestrado. UNICAMP. Julho de 1992.

OLITTA, A. F. L.. Os métodos de Irrigação. São Paulo: Nobel, 1984.

PAZ, V. P. S.; TEODORO, R.E.F.; MENDONÇA, F.C.. Recursos Hídricos, Agricultura irrigada e Meio ambiente. Publicado na Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental –V. 4, N. 3, Set-Dez, 2000.

PEREIRA, M. A. R.. O uso do bambu na irrigação: Montagem de um sistema de irrigação por aspersão de pequeno porte, utilizando tubulação de bambu. Apresentado no Congresso Brasileiro de Engenharia, 1997.

PEREIRA, M. A. R.. Características Hidráulicas de tubos de bambu gigante. Apresentado no XXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2000.

ROSA, C. A., TIAGO FILHO, G. L.. 2007. Eólica (Série Energias Renováveis). Itájuba, MG

Silva, C. D.; Seraphim, O. J.; Teixeira, N. M. Potencial eólico para bombeamento de água na fazenda Iageado. An. 3. Enc. Energ. Meio Rural 2003

SMETT, J., VAN WIJK, C.(eds), 2002. Small Community Water Supplies: Technology, People and Partnership. Delft, the Netherlands. IRC International and Sanitation Centre. (Technical paper series 40).

SOUZA, D. G.. Utilização da Bambusa vulgaris e Bambusa tuloides na montagem de sistemas de irrigação localizada. Resumo do VI CBA e II CLAA. 2009.

SOUZA, D. G.. Utilização da Bambusa vulgaris na montagem de sistemas de irrigação por aspersão. Resumo do VI CBA e II CLAA. 2009.

TIAGO FILHO, G. L.. 2002. Carneiro Hidráulico, O que é e como construí-lo. CERPCH.

VAN LENGEN, J.. 2008. Manual do Arquiteto Descalço. Ed. Empório do livro. São Paulo, SP.
101

ANEXO 1 – Planilha de cálculo

Neste anexo são demonstradas as planilhas de cálculo desenvolvidas para a obtenção das perdas de carga para tubulações de PVC, tubulação de bambu com remoção dos nós com ferramenta manual e elétrica e as respectivas vazões de alimentação.

- Dados de entrada:

| Altura de queda (h) [m] | Comprimento de recalque (L) [m] | Diametro do tubo [pol] | Diametro do tubo [m] | Desnível de Recalque (Z) [m] |
|----------------------------|------------------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| 2,5 | 100 | 1/2 | 0,0127 | 10 |

- Vazão requerida em função da área

| Área irrigada [m ²] | Q requerida [L/dia] | Q requerida [L/min] | Q requerida [m ³ /s] |
|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| 50 | 200 | 0,13889 | 0,0000023 |
| 75 | 300 | 0,20833 | 0,0000035 |
| 100 | 400 | 0,27778 | 0,0000046 |
| 150 | 600 | 0,41667 | 0,0000069 |
| 200 | 800 | 0,55556 | 0,0000093 |
| 300 | 1200 | 0,83333 | 0,0000139 |
| 400 | 1600 | 1,11111 | 0,0000185 |
| 500 | 2000 | 1,38889 | 0,0000231 |
| 750 | 3000 | 2,08333 | 0,0000347 |
| 1000 | 4000 | 2,77778 | 0,0000463 |
| 1500 | 6000 | 4,16667 | 0,0000694 |

- Cálculo das perdas de carga

FÓRMULA UNIVERSAL

| Numero de Reynolds | Fator de atrito f manual | Fator de atrito f ferramenta | Fator de atrito f Swamee-Jain | Perda de carga unitaria [m/m] manual | Perda de carga unitaria [m/m] ferramenta | Perda de carga unitaria [m/m] Plástico | Perda de carga manual [m] | Perda de carga ferramenta [m] | Perda de carga Plástico [m] |
|-----------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--|--|--|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 2,25E+03 | 1,40E-01 | 5,24E-02 | 4,91E-02 | 1,88E-04 | 7,02E-05 | 6,58E-05 | 3,19E-02 | 1,19E-02 | 1,12E-02 |
| 3,38E+03 | 1,34E-01 | 5,03E-02 | 4,29E-02 | 4,03E-04 | 1,52E-04 | 1,29E-04 | 6,85E-02 | 2,58E-02 | 2,20E-02 |
| 4,51E+03 | 1,29E-01 | 4,89E-02 | 3,92E-02 | 6,93E-04 | 2,62E-04 | 2,10E-04 | 1,18E-01 | 4,46E-02 | 3,57E-02 |
| 6,76E+03 | 1,23E-01 | 4,71E-02 | 3,48E-02 | 1,49E-03 | 5,68E-04 | 4,20E-04 | 2,53E-01 | 9,65E-02 | 7,13E-02 |
| 9,01E+03 | 1,19E-01 | 4,58E-02 | 3,21E-02 | 2,56E-03 | 9,81E-04 | 6,88E-04 | 4,34E-01 | 1,67E-01 | 1,17E-01 |
| 1,35E+04 | 1,14E-01 | 4,40E-02 | 2,88E-02 | 5,48E-03 | 2,12E-03 | 1,39E-03 | 9,32E-01 | 3,61E-01 | 2,36E-01 |
| 1,80E+04 | 1,10E-01 | 4,28E-02 | 2,68E-02 | 9,43E-03 | 3,67E-03 | 2,30E-03 | 1,60E+00 | 6,24E-01 | 3,91E-01 |
| 2,25E+04 | 1,07E-01 | 4,19E-02 | 2,54E-02 | 1,43E-02 | 5,61E-03 | 3,40E-03 | 2,44E+00 | 9,54E-01 | 5,79E-01 |
| 3,38E+04 | 1,02E-01 | 4,03E-02 | 2,31E-02 | 3,08E-02 | 1,21E-02 | 6,98E-03 | 5,23E+00 | 2,06E+00 | 1,19E+00 |
| 4,51E+04 | 9,87E-02 | 3,91E-02 | 2,17E-02 | 5,29E-02 | 2,10E-02 | 1,17E-02 | 9,00E+00 | 3,57E+00 | 1,98E+00 |
| 6,76E+04 | 9,42E-02 | 3,76E-02 | 2,00E-02 | 1,14E-01 | 4,54E-02 | 2,41E-02 | 1,93E+01 | 7,72E+00 | 4,10E+00 |

- Altura de elevação

| Altura de recalque (H1) Plástico [m] | Altura de recalque (H1) Manual [m] | Altura de recalque (H1) Ferramenta [m] |
|---|---|---|
| 10,011 | 10,032 | 10,012 |
| 10,022 | 10,069 | 10,026 |
| 10,036 | 10,118 | 10,045 |
| 10,071 | 10,253 | 10,096 |
| 10,117 | 10,434 | 10,167 |
| 10,236 | 10,932 | 10,361 |
| 10,391 | 11,602 | 10,624 |
| 10,579 | 12,439 | 10,954 |
| 11,186 | 15,234 | 12,064 |
| 11,981 | 18,997 | 13,568 |
| 14,105 | 29,305 | 17,717 |

- Relação h/H e vazão de alimentação requerida

| Relação h/H | | | Vazão de Alimentação [L/dia] | | |
|-------------|----------------|------------------|--------------------------------|----------------|------------------|
| PVC | Bambu (manual) | Bambu (mecânico) | PVC | Bambu (manual) | Bambu (mecânico) |
| 1/4 | 1/4 | 1/4 | 400 | 400 | 400 |
| 1/4 | 1/4 | 1/4 | 600 | 600 | 600 |
| 1/4 | 1/4 | 1/4 | 800 | 800 | 800 |
| 1/4 | 1/4 | 1/4 | 1200 | 1200 | 1200 |
| 1/4 | 1/4 | 1/4 | 1600 | 1600 | 1600 |
| 1/4 | 2/9 | 1/4 | 2400 | 2526 | 2400 |
| 1/4 | 2/9 | 1/4 | 3200 | 3368 | 3200 |
| 1/4 | 1/5 | 2/9 | 4000 | 4444 | 4211 |
| 2/9 | 1/6 | 1/5 | 6316 | 7500 | 6667 |
| 1/5 | 1/8 | 1/5 | 8889 | 13333 | 8889 |
| 1/6 | 1/10 | 1/7 | 15000 | 30000 | 17143 |

ANEXO 2 – Carneiro Hidráulico

Neste anexo será demonstrado uma alternativa na construção de um carneiro hidráulico com garrafa PET. Este modelo é uma alternativa técnica do modelo demonstrado anteriormente. Para tal, são necessárias as seguintes peças:

Tabela XXX – Peças necessárias para um carneiro de PET

| Peça | Quantidade |
|---|------------|
| Ts galvanizados de 1 polegada | 2 |
| Niples de bronze de 1 polegada | 3 |
| Válvula de retenção vertical de 1 polegada | 1 |
| Válvula de poço de 1 polegada | 1 |
| Bucha de bronze re redução de 1 polegada para $\frac{3}{4}$ de polegada | 1 |
| Adaptador para mangueira de $\frac{3}{4}$ para $\frac{1}{2}$ | 1 |
| Parafuso com 2 porcas | 1 |
| Mola | 1 |
| Fita veda rosca | 1 |
| Cola para cano PVC | 1 |
| Garrafa PET de 2 litros | 1 |

Construção

1 - Ligue o primeiro niple ao T de 1 polegada



2 – Adapte a válvula de poço, quebrando ou cortando uma das partes como abaixo



3 – Se puder, soldar um pedaço de ferro nas porcas do parafuso para facilitar o rosqueamento do mesmo na válvula de poço. Rosquear uma mola na ponta do parafuso do mesmo diâmetro deste.



4a – Rosquear o parafuso na válvula de poço



4b

- A mola deve estar bem fixa na ponta do parafuso, pois se ela se mexer irá comprometer o funcionamento da válvula de poço e também a regulagem.



No momento da regulagem, você deve apertar ou afrouxar o parafuso de modo que o fluxo de água feche e abra a válvula de poço de 40 a 50 vezes por minuto.

5 - Adapte a válvula de poço já modificada ao nípice adaptado ao T



6 - Adapte o segundo nípice na parte superior do T



7 - Encaixe a válvula de retenção vertical ao nípice adaptado no T



8 - Adapte o segundo T ao niple



9 – Adapte a bucha de redução ao T



O carneiro pronto deve ficar assim



10 – Adapte o adaptador para mangueira na bucha de redução



11 – Faça um furo de cerca de 2 cm de diâmetro na tampa da garrafa PET e adapte-a na parte superior do T

ANEXO 3 – Bomba d’água Mandala (nora de rosário)

Neste anexo é detalhado o processo de construção de uma bomba d’água do tipo nora de rosário desenvolvida pelo Instituto Mandala, construída com matérias de baixo custo.

Material

- 1 bicicleta velha;
- 2 rodas de bicicleta pequena (velocípede) com eixo;
- 2 rodas de bicicleta grande com eixo, aro 16;
- 3 roldanas número 12;
- 1 cano de 150 milímetros, com três metros de comprimento;
- 1 cano de 40 milímetros, com três metros de comprimento;
- 1 cano de 40 milímetros, com 4,5 metros de comprimento;
- 1 T de 75 milímetros, com redução para 40 milímetros;
- 1 curva de 75 milímetros;
- 50 centímetros de cano de 75 milímetros;
- 1 redução excêntrica de 75 milímetros para 150 milímetros;
- 2 hastes de metal com cinco centímetros de largura e 1/2 metro de comprimento;
- 1 corda de seda de oito milímetros de espessura e 12 metros de comprimento;
- 1 pedaço de madeira de cinco metros de comprimento com 15 centímetro de diâmetro;
- 4 caibros de quatro metros cada;
- 10 pares de chinelos (podem ser usados);
- 15 parafusos com porcas e arruelas de 8 milímetros com 10 centímetros de comprimento;
- 1 tábua de madeira com três centímetros de espessura, 15 centímetros de largura e 30 centímetros de comprimento;
- 1 estaca de dois metros de comprimento e 15 centímetros de diâmetro;
- 1 quilo de arame 16;
- 500 gramas de prego para caibro;
- 1 chula de 1/2 polegada;
- 1 torneira de 1/2 polegada;
- Massa epóxi;
- Mangueira de 1/2 polegada.

Obs: Esta estrutura deve ser montada sobre uma cisterna ou outro tipo de reservatório.

Construção (observar imagem no fim do anexo)

1 - Pegue três caibros e finque-os no solo ao redor do reservatório, deixando-os inclinados para formar uma pirâmide. Fixe no meio deles, na posição vertical, o pedaço de madeira de cinco metros que servirá de base ao equipamento. Com um prego e um parafuso, coloque uma roldana na extremidade inferior desta ripa, que deverá estar sempre imersa na fonte de água para que a bomba funcione.

2 - A meio metro acima desta roldana e a dez centímetros de distância da madeira, coloque uma das rodas pequenas. Para isso, faça pedaços em forma de "L" com o caibro que restou e pregue-os, de um lado à base da madeira e de outro ao centro da roda. Para colocar a outra roda pequena repita a operação, colocando a uma distância de um metro da primeira.

3 - Retire a roda da frente da bicicleta. Com auxílio de parafusos, fixe o garfo do veículo à estaca de madeira de dois metros, que deve ser fincada ao solo para dar sustentação e estabilidade.

4 - Pregue no eixo traseiro da bicicleta um pedaço de caibro e fixe-o à madeira de cinco metros. O pneu ficará encaixado entre as rodas pequenas, a uma distância de dez centímetros de cada uma e também da base da madeira.

5 - Na extremidade superior da madeira de cinco metros, prenda verticalmente com parafusos e uma haste de metal a roda que foi retirada da bicicleta, deixando-a girar livremente. A 50 centímetros abaixo de seu eixo, fixe horizontalmente na madeira outra haste metálica com uma roldana presa em cada lado.

6 - Prenda o pedaço de cano de 40 milímetros de espessura e três metros de comprimento à madeira utilizando arame. Deixe-o sempre imerso na água. Coloque o tubo entre uma das roldanas fixadas na parte de cima e a roda pequena superior.

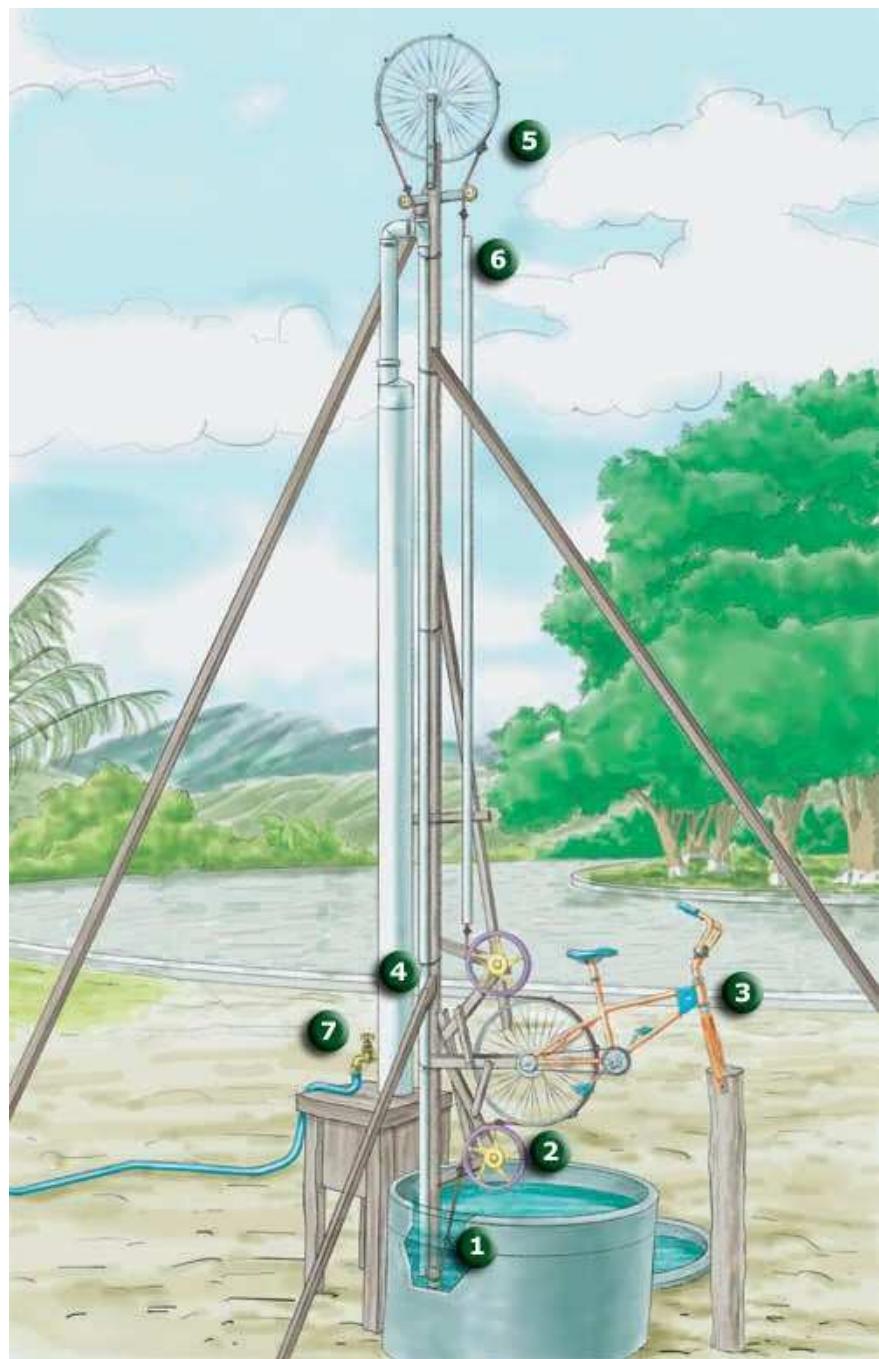
7 - Fixe o cano de 4,5 metros entre a outra roldana superior e a que está fixada na parte inferior da madeira de cinco metros. Deixe este tubo a uma distância máxima de 20 centímetros da base. Coloque na extremidade superior deste cano o T, encaixando na saída vertical desta peça 1/2 metro de cano de 75 milímetros. No lado horizontal do T, fixe a curva de 75 milímetros, que ficará presa ao tubo de PVC de 150 milímetros por meio da redução excêntrica. Vede o final deste cano com massa epóxi para evitar que a água vaze. Faça um orifício de 1/2 polegada a dez centímetros da base deste cano vedado. Fixe uma torneira neste buraco com a ajuda de uma chula de 1/2 polegada. Prenda à torneira uma mangueira de 1/2 polegada para transportar a água até o local desejado.

Como fazer o rosário

Faça 60 círculos de 2,5 centímetros de diâmetro cada utilizando as chinelas velhas ou outro material de borracha. Fure o centro de todas elas e passe a corda de seda, dando um nó entre cada rodinha e deixando um espaço de 30 centímetros entre elas.

Para encaixar o rosário à bomba, passe uma ponta da corda de seda por baixo da roldana inferior e pela parte de dentro da roda pequena inferior. Em seguida, passe-a pelo lado de fora da roda grande e depois por dentro da roda pequena superior, como se fosse um

ziguezague. Feito isso, o rosário passa por dentro do cano de 40 milímetros de três metros e também no interior da roldana que está na ponta do tubo até percorrer o exterior do pneu superior. A corda segue o caminho, passando por dentro da segunda roldana horizontal e do cano de 75 milímetros até descer pelo tubo de 40 milímetros de 4,5 metros e encontrar sua outra ponta. Amarre bem para deixar o rosário esticado.



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

LEONARDO KENJI MAEDA

ANÁLISE DE SISTEMAS ALTERNATIVOS DE BOMBEAMENTO,
CONDUÇÃO DE ÁGUA E IRRIGAÇÃO: ESTUDO DE CASO A
HORTA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS

SÃO CARLOS
2010

LEONARDO KENJI MAEDA

**ANÁLISE DE SISTEMAS ALTERNATIVOS DE BOMBEAMENTO,
CONDUÇÃO DE ÁGUA E IRRIGAÇÃO: ESTUDO DE CASO A
HORTA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Ambiental
da Escola de Engenharia de São Carlos
da Universidade de São Paulo.

SÃO CARLOS – 2010

Resumo

Este trabalho, norteado pela busca de maneiras mais ambiental, econômica e socialmente equilibradas de se realizar as atividades humanas e ocupar o espaço, procurou alternativas ao sistema de irrigação atualmente utilizado na Horta Municipal de São Carlos. Para tal, foram levantadas materiais e alternativas tecnológicas para a elevação e condução de água e sistemas de irrigação.

Foram encontradas diversas alternativas que requerem menos energia, menos recursos econômicos, menos horas de trabalho e matérias ambientalmente mais sustentáveis. Dentre as quais, a conjuntura mais interessante proposta foi a utilização de bomba carneiro hidráulico construído com garrafa PET, tubulação constituída com bambu e sistema de irrigação de gotejamento, aspersão e sulcos construídos com materiais alternativos.

O desenvolvimento e divulgação de práticas e opções tecnológicas que ocasionem economia de recursos naturais e econômicos, energia e horas de trabalho devem ser sempre estimuladas, assim como a busca por alternativas ao sistema utilizado, visando sempre a melhoria constante. O meio ao redor muitas vezes oferece condições de ocupá-lo mais equilibradamente, sendo vital que se atente às características peculiares de cada local.

Palavras-chave: Irrigação, elevação de água, condução de água, sistemas alternativos