

HIDRÁULICA AGRÍCOLA

Prof. Renato de Marchi Vieira dos Santos
Prof. Ricardo Aparecido Santos

Elaboração:
Prof. Renato de Marchi Vieira dos Santos
Prof. Ricardo Aparecido Santos

Copyright © UNIASSELVI 2022

Revisão, Diagramação e Produção:
Equipe Desenvolvimento de Conteúdos EdTech
Centro Universitário Leonardo da Vinci – UNIASSELVI

Ficha catalográfica elaborada pela equipe Conteúdos EdTech UNIASSELVI

S237h

Santos, Renato de Marchi Vieira dos

Hidráulica agrícola. / Renato de Marchi Vieira dos Santos;
Ricardo Aparecido Santos. – Indaial: UNIASSELVI, 2022.

174 p.; il.

ISBN 978-85-515-0496-3

1. Irrigação e drenagem. – Brasil I. Santos, Ricardo
Aparecido. II. Centro Universitário Leonardo Da Vinci.

CDD 630

APRESENTAÇÃO

Olá, acadêmico! Seja bem-vindo ao Livro de Hidráulica Agrícola! O estudo da hidráulica agrícola tem uma diversidade de aplicação bastante vasta, no qual se pode estudar a área em projetos hidráulicos na área urbana, agrícola e instalações prediais. Diante disso, necessita-se aproximar as pessoas ao acesso à educação do estudo da hidráulica para a resolução de diversos problemas quanto a sistemas de irrigação e drenagem, operações de máquinas hidráulicas, sistemas de abastecimento de água e de esgoto para grandes centros urbanos e rurais e demais sistemas quando se aplicado. Dessa forma, o material de hidráulica agrícola visa aprimorar e aperfeiçoar estudantes para resolver problemas da sociedade moderna e, nesse livro digital, estudaremos três unidades.

Na Unidade 1 abordaremos conceitos de hidráulica e aplicações; propriedades fundamentais dos fluidos; medidores de vazão e de pressão; Teorema de Bernoulli e seus fundamentos; e exemplificações de equações que são utilizadas para resolução de problemas na engenharia hidráulica.

Em seguida, na Unidade 2, estudaremos perdas de carga; aspersores e gotejadores e sifões para sistemas agrícolas, sendo que esses tornarão o aluno conhecedor sobre os aspectos ligados às escolhas de equipamentos para serem usados na agricultura de modo geral.

Por fim, na Unidade 3, aprenderemos sobre estações de bombeamento e sistemas de abastecimento de água; e condutos livres e escolha de vazão de projeto para melhor monitoramento dos sistemas hidráulicos que são aplicados na agricultura moderna.

Portanto, o uso da aplicação da hidráulica agrícola é capaz de promover, para o cidadão, capacidade para produzir, mas também autonomia diante das diferentes dimensões da realidade cultural, social, familiar, política e ética.

Bom estudo!

Prof. Renato de Marchi Vieira dos Santos
Prof. Ricardo Aparecido Santos

GIO

Você lembra dos UNIs?

Os UNIs eram blocos com informações adicionais – muitas vezes essenciais para o seu entendimento acadêmico como um todo. Agora, **você conhecerá a GIO**, que ajudará você a entender melhor o que são essas informações adicionais e por que poderá se beneficiar ao fazer a leitura dessas informações durante o estudo do livro. Ela trará informações adicionais e outras fontes de conhecimento que complementam o assunto estudado em questão.

Na Educação a Distância, o livro impresso, entregue a todos os acadêmicos desde 2005, é o material-base da disciplina. A partir de 2021, além de nossos livros estarem com um novo visual – com um formato mais prático, que cabe na bolsa e facilita a leitura –, prepare-se para uma jornada também digital, em que você pode acompanhar os recursos adicionais disponibilizados através dos QR Codes ao longo deste livro. O conteúdo continua na íntegra, mas a estrutura interna foi aperfeiçoada com uma nova diagramação no texto, aproveitando ao máximo o espaço da página – o que também contribui para diminuir a extração de árvores para produção de folhas de papel, por exemplo. Assim, a UNIASSELVI, preocupando-se com o impacto de ações sobre o meio ambiente, apresenta também este livro no formato digital. Portanto, acadêmico, agora você tem a possibilidade de estudar com versatilidade nas telas do celular, tablet ou computador.

Junto à chegada da **GIO**, preparamos também um novo layout. Diante disso, você verá frequentemente o novo visual adquirido. Todos esses ajustes foram pensados a partir de relatos que recebemos nas pesquisas institucionais sobre os materiais impressos, para que você, nossa maior prioridade, possa continuar os seus estudos com um material atualizado e de qualidade.



QR CODE

Olá, acadêmico! Para melhorar a qualidade dos materiais ofertados a você – e dinamizar, ainda mais, os seus estudos –, a UNIASSELVI disponibiliza materiais que possuem o código QR Code, um código que permite que você acesse um conteúdo interativo relacionado ao tema que está estudando. Para utilizar essa ferramenta, acesse as lojas de aplicativos e baixe um leitor de QR Code. Depois, é só aproveitar essa facilidade para aprimorar os seus estudos.



ENADE

Acadêmico, você sabe o que é o ENADE? O Enade é um dos meios avaliativos dos cursos superiores no sistema federal de educação superior. Todos os estudantes estão habilitados a participar do ENADE (ingressantes e concluintes das áreas e cursos a serem avaliados). Diante disso, preparamos um conteúdo simples e objetivo para complementar a sua compreensão acerca do ENADE. Confira, acessando o QR Code a seguir. Boa leitura!



LEMBRETE



Olá, acadêmico! Iniciamos agora mais uma disciplina e com ela um novo conhecimento.

Com o objetivo de enriquecer seu conhecimento, construímos, além do livro que está em suas mãos, uma rica trilha de aprendizagem, por meio dela você terá contato com o vídeo da disciplina, o objeto de aprendizagem, materiais complementares, entre outros, todos pensados e construídos na intenção de auxiliar seu crescimento.

Acesse o QR Code, que levará ao AVA, e veja as novidades que preparamos para seu estudo.

Conte conosco, estaremos juntos nesta caminhada!



SUMÁRIO

UNIDADE 1 - CONCEITOS DE HIDRÁULICA E APLICAÇÕES	1
TÓPICO 1 - CONCEITO DE HIDRÁULICA E APLICAÇÕES	3
1 INTRODUÇÃO.....	3
2 EVOLUÇÃO DA HIDRÁULICA	6
3 PANORAMA E ESCOPO ATUAL NA ÁREA AGRÍCOLA	8
RESUMO DO TÓPICO 1	10
AUTOATIVIDADE	11
TÓPICO 2 - PROPRIEDADES FUNDAMENTAIS DOS FLUIDOS.....	13
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 CONCEITO DE FLUIDO	14
3 PROPRIEDADES DOS FLUIDOS.....	15
3.1 MASSA ESPECÍFICA.....	16
3.2 VOLUME ESPECÍFICO	16
3.3 PESO ESPECÍFICO	17
3.4 PRESSÃO	17
3.4.1 Unidades de pressão.....	18
3.5 TENSÃO SUPERFICIAL	19
3.6 COMPRESSIBILIDADE	19
3.7 VISCOSIDADE.....	20
RESUMO DO TÓPICO 2	22
AUTOATIVIDADE	23
TÓPICO 3 - HIDROSTÁTICA: MEDIDORES DE VAZÃO E DE PRESSÃO, PRESSÃO E EMPUXO.....	25
1 INTRODUÇÃO.....	25
2 O QUE É HIDROSTÁTICA?	27
2.1 PRESSÃO HIDROSTÁTICA	28
2.2 HIDROSTÁTICA: DENSIDADE ABSOLUTA E RELATIVA.....	28
2.3 EMPUXO.....	29
2.4 HIDROSTÁTICA: PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES	30
2.5 LEI DE STEVIN: HIDROSTÁTICA.....	31
2.5.1 Dedução da pressão de uma coluna líquida	31
2.5.2 Diferença de pressão em um líquido em equilíbrio	32
2.6 HIDROSTÁTICA: PRINCÍPIO DE PASCAL	32
2.7 MEDIDORES DE VAZÃO	36
RESUMO DO TÓPICO 3	40
AUTOATIVIDADE	41
TÓPICO 4 - HIDRODINÂMICA: TEOREMA DE BERNOULLI	43
1 INTRODUÇÃO.....	43
2 CONCEITOS DE HIDRODINÂMICA.....	44
3 VAZÃO.....	45
4 EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE.....	46
5 TEOREMA DE BERNOULLI PARA FLUIDOS PERFEITOS	46

6 APLICAÇÕES PRÁTICAS DO TEOREMA DE BERNOULLI	47
7 REGIMES DE ESCOAMENTO	49
7.1 QUANTO À VARIAÇÃO NO TEMPO	49
7.2 QUANTO À VARIAÇÃO DO VETOR VELOCIDADE	49
7.3 QUANTO AO MOVIMENTO DE ROTAÇÃO	50
7.4 QUANTO À TRAJETÓRIA DAS PARTÍCULAS	50
LEITURA COMPLEMENTAR	54
RESUMO DO TÓPICO 4	57
AUTOATIVIDADE	58

REFERÊNCIAS	59
--------------------------	-----------

UNIDADE 2 – ESCOAMENTO FORÇADO: TUBOS E ACESSÓRIOS	63
---	-----------

TÓPICO 1 – CONDUTOS FORÇADOS	65
1 INTRODUÇÃO	65
2 PERDA DE CARGA CONTÍNUA	65
3 DIÂMETROS DE TUBO E DIÂMETROS EQUIVALENTES	71
RESUMO DO TÓPICO 1	74
AUTOATIVIDADE	75

TÓPICO 2 - ORIFÍCIOS: ASPERSORES E GOTEJADORES	77
1 INTRODUÇÃO	77
2 ASPERSORES E GOTEJADORES	77
3 SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO: TIPOS E PRINCÍPIOS	83
RESUMO DO TÓPICO 2	88
AUTOATIVIDADE	89

TÓPICO 3 - SIFÕES	91
1 INTRODUÇÃO	91
2 CONCEITOS DE SIFÕES	91
3 APLICAÇÃO DE ÁGUA EM IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE	95
LEITURA COMPLEMENTAR	99
RESUMO DO TÓPICO 3	104
AUTOATIVIDADE	105

REFERÊNCIAS	107
--------------------------	------------

UNIDADE 3 - ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO	110
--	------------

TÓPICO 1 – ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	112
1 INTRODUÇÃO	112
2 TUBULAÇÕES DE SUÇÃO E RECALQUE	115
3 BOMBAS HIDRÁULICAS	118
3.1 TURBO BOMBA OU BOMBA DINÂMICA (CENTRÍFUGA).....	119
3.2 BOMBAS VOLUMÉTRICAS OU DESLOCAMENTO POSITIVO.....	121
4 ANÁLISE ECONÔMICA DE PROJETOS DE HIDRÁULICA	127
RESUMO DO TÓPICO 1	132
AUTOATIVIDADE	133

TÓPICO 2 - CONDUTOS LIVRES	136
1 INTRODUÇÃO	136

2 CONCEITOS DE CONDUTOS LIVRES.....	136
3 ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE CANAL.....	141
4 FORMAS GEOMÉTRICAS MAIS UTILIZADAS EM CANAIS	143
5 FÓRMULA DE MANNING	144
RESUMO DO TÓPICO 2.....	147
AUTOATIVIDADE.....	148
TÓPICO 3 - CRITÉRIOS RELACIONADOS À ESCOLHA DA	
 VAZÃO DE PROJETO DA ELEVATÓRIA.....	150
1 INTRODUÇÃO.....	150
2 HIDROGRAMA DE PROJETO	150
3 CUSTOS UNITÁRIOS RELACIONADOS AO SISTEMA	
 ELEVATÓRIO-RESERVATÓRIO	153
4 CÁLCULOS HIDRÁULICOS	156
4.1 APLICAÇÕES PRÁTICAS DE HIDRÁULICA	156
LEITURA COMPLEMENTAR	160
RESUMO DO TÓPICO 3.....	167
AUTOATIVIDADE.....	168
REFERÊNCIAS.....	170

CONCEITOS DE HIDRÁULICA E APLICAÇÕES

OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

A partir do estudo desta unidade, você deverá ser capaz de:

- ter clareza dos conceitos de hidráulica e entendimento sobre a evolução da hidráulica em sistemas produtivos agrícolas, tal como a capacidade de entender o panorama da hidráulica agrícola e a importância da hidráulica agrícola nos sistemas produtivos;
- ter clareza das propriedades do fluido e dos conceitos básicos das propriedades do fluido, das propriedades fundamentais dos fluidos e observar as propriedades do fluido para dimensionamento hidráulico;
- entender os princípios da hidrostática, os conceitos de empuxo e os principais tipos de medidores de vazão e suas tecnologias;
- observar a importância dos medidores de vazão para os sistemas hidráulicos agrícolas e entender os conceitos aplicados na hidrodinâmica, tal como aplicar práticas do teorema de Bernoulli e classificar regimes de escoamento e observar a hidrodinâmica na área agrícola.

PLANO DE ESTUDOS

Esta unidade está dividida em quatro tópicos. No decorrer dela, você encontrará autoatividades com o objetivo de reforçar o conteúdo apresentado.

TÓPICO 1 – CONCEITO DE HIDRÁULICA E APLICAÇÕES

TÓPICO 2 – PROPRIEDADES FUNDAMENTAIS DOS FLUIDOS

TÓPICO 3 – HIDROSTÁTICA: MEDIDORES DE VAZÃO E DE PRESSÃO, PRESSÃO E EMPUXO

TÓPICO 4 – HIDRODINÂMICA: TEOREMA DE BERNOULLI



CHAMADA

Preparado para ampliar seus conhecimentos? Respire e vamos em frente! Procure um ambiente que facilite a concentração, assim absorverá melhor as informações.



CONFIRA A TRILHA DA UNIDADE 1!

Acesse o
QR Code abaixo:



CONCEITO DE HIDRÁULICA E APLICAÇÕES

1 INTRODUÇÃO

A agricultura envolve várias técnicas e etapas para o cultivo de terras agrícolas. Com o passar dos anos, com o advento da tecnologia, tornou-se cada vez mais moderna, ágil e automatizada e em grande parte disso se deve ao uso de sistemas hidráulicos agrícolas. Eles podem ser usados na irrigação, em máquinas ou em equipamentos agrícolas, sendo que esses tipos de sistemas trazem mais eficiência em diversos processos ligados ao uso da hidráulica, promovendo, assim, melhor praticidade para os usuários de máquinas.

Os sistemas hidráulicos têm como objetivo gerar, distribuir e controlar a energia diante de líquidos pressurizados, o que proporciona melhor precisão, ajuste de velocidade e descolamento quanto a suas aplicações, tendo como vantagem melhor segurança, economia e facilidade.



INTERESSANTE

O trator agrícola, por exemplo, é uma máquina que se beneficia da força hidráulica, possibilitando a acoplagem como implementos agrícolas ou até mesmo outras máquinas, aumentando, assim, a eficiência em campo. Em alguns modelos de tratores agrícolas, existe controle de ângulos junto ao solo e também regulação de profundidade e inclinação do implemento de trabalho.

Dentre os vários tipos de máquinas hidráulicas, as bombas hidráulicas são as mais usuais, sendo classificadas como máquinas hidráulicas geradoras, pois transformam a energia mecânica em energia hidráulica. Assim, ao converter energias, as bombas hidráulicas fornecem energia para um líquido com a finalidade de transportá-lo de um ponto a outro no sistema, conforme Fialho (2018).

Atualmente, a grande variedade de modelos permite que as bombas hidráulicas sejam utilizadas para as mais diversas aplicações. Dentre elas, pode-se citar, de acordo com Tsutiya (2006) e Rotava (2011): sistemas de abastecimento, de saneamento, de drenagem, de irrigação, de refrigeração, de combate a incêndio; complexos industriais; serviços em embarcações; deslocamentos de produtos, dentre outros.

Por definição, a hidráulica vem do termo grego *hydor*, que significa água, e aulos, que corresponde à transferência de água em tubos de condução e se divide em hidrostática, que visa estudar as condições de estabilidade ou equilíbrio dos líquidos em repouso, e hidrodinâmica, que trata dos líquidos em variação de posição espacial de um objeto ou movimento.

O estudo da hidráulica pode ser dividido em três partes:

- **hidrostática:** se dedica em compreender o comportamento dos fluidos em repouso;
- **hidrocinética:** estuda os fluidos em movimento;
- **hidrodinâmica:** leva em consideração as variáveis envolvidas no escoamento dos fluidos, como forças da gravidade, pressão, tensão tangencial, viscosidade, compressibilidade e outras.

A hidráulica é, sobretudo, um estudo muito aplicado nas áreas de ciências exatas, como a engenharia, principalmente para a construção de sistema que gerem energia através do movimento das águas, a chamada energia hidráulica.

De acordo com Azevedo Netto *et al.* (1998), as áreas de atuação da Hidráulica Aplicada ou Hidrotécnica (elaboração de projetos hidráulicos) são:

- **urbana:** sistemas de abastecimento de água; sistemas de esgotamento sanitário e sistemas de drenagem pluvial. Nesses sistemas, destacam-se os projetos de infraestrutura, como tubulação de interligação de água, rede de distribuição de água potável, rede coletora de esgoto, sistema de rede coletora de água pluvial, sistema de amortização de vazão por (tubulações, reservatórios, etc.), e sistema de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis (captação, reserva e tratamento). A Figura 1 abaixo mostra uma aplicação de abastecimento de água;

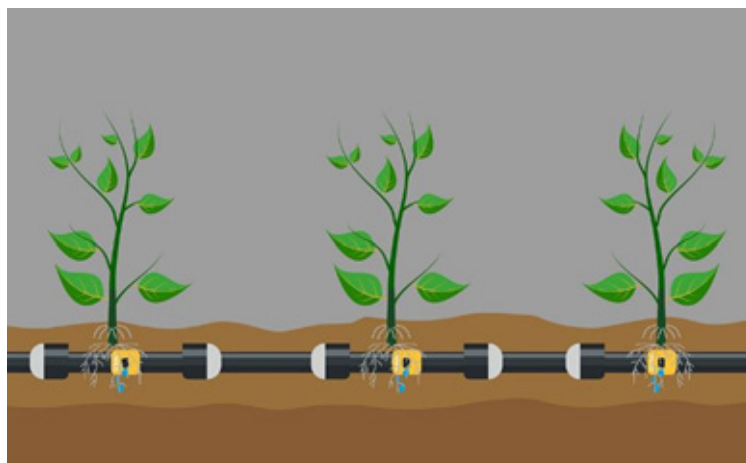
FIGURA 1 – SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA



FONTE: <https://shutr.bz/3tcujYC>. Acesso em: 10 mar. 2022.

- **agrícola ou rural:** sistema de irrigação; sistemas de drenagem; sistemas de esgoto e água potável. A Figura 2 a seguir mostra uma aplicação agrícola;

FIGURA 2 – SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUBTERRÂNEO



FONTE: <https://shutr.bz/34Lasqx>. Acesso em: 10 mar. 2022.

- **instalações prediais:** comerciais, industriais, residenciais e públicas. Nesse caso, destacam-se os projetos de instalação de água fria e quente, rede de esgoto, rede de água pluvial, sistema de amortização de vazão das águas pluviais e sistema de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis. A Figura 3 a seguir demonstra uma estação de bombeamento.

FIGURA 3 – ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA, INTERIOR INDUSTRIAL E TUBOS



FONTE: <https://www.shutterstock.com/pt/image-photo/water-pumping-station-industrial-interior-pipes-80472742>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Durante a vida profissional, o técnico hidráulico ou engenheiro poderá utilizar os seguintes instrumentos:

- solucionar problemas atuais relacionados à hidráulica agrícola;
- aplicar cálculos matemáticos para resolução de problemas da área;
- aplicar modelagem matemática ou simulação com o uso de computadores capazes de resolver fórmulas de grande complexidade;
- fazer o dimensionamento de estruturas hidráulicas, levando em consideração o estudo hidrológico, que visa determinar a vazão de projeto em sistemas hidráulicos agrícolas. Este ponto vale apenas para o engenheiro.

Os conhecimentos de hidráulica agrícola podem ser aplicados na agricultura de irrigação. A hidráulica agrícola também envolve diversas características quanto a desenvolver um sistema, seja de modo qualitativo, seja de modo quantitativo, em que está relacionado ao comprimento, tempo e velocidade, além de fornecer uma medida numérica para tomada de decisão, ou seja, serve de parâmetro.

2 EVOLUÇÃO DA HIDRÁULICA

O uso da hidráulica esteve presente ao longo de praticamente toda a história da humanidade, sendo que seu início se deu diante das primeiras sociedades urbanas organizadas. Estas sociedades procuravam meios de se estabelecer nas proximidades de cursos d'água, onde pudessem suprir as necessidades de consumo de água e higiene, e também para as atividades agrícolas da época.

IMPORTANTE



Diante da necessidade absoluta de água, tornou-se necessário efetuar a compatibilização da sua oferta e demanda. Na antiga Mesopotâmia, existiam modelos de canais de irrigação construídos em áreas planas situados entre os rios Tigre e Eufrates e, em Nipur (Babilônia), haviam coletores de esgoto desde 3750 a.C., sendo umas das formas de aplicação de princípios de engenharia hidráulica.

No antigo Egito, foram aplicados grandes empreendimentos de irrigação, 25 séculos a.C., sob a orientação de Uni. Na dinastia XII, realizaram-se importantes construções hidráulicas destinadas a regularizar as águas do baixo rio Nilo. Um dos primeiros sistemas de abastecimento público foi construído na Assíria, em 691 a.C, o aqueduto de Jerwan.

Na antiga China, a engenharia hidráulica esteve altamente desenvolvida, construindo enormes canais com diques e barragens com o objetivo de canalizar água para irrigação e eclusas que permitiam o atravessamento de navios. A Figura 4 demonstra um exemplo de canal de irrigação agrícola na atualidade.

FIGURA 4 – CONSTRUÇÃO DE UM CANAL AGRÍCOLA



FONTE: <https://shutr.bz/3JhtDr8>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Considerado o primeiro engenheiro hidráulico chinês, Sunshu Ao desenvolveu grandes projetos em canais de irrigação. Um outro importante engenheiro hidráulico chinês, Ximen Bao, iniciou suas práticas da irrigação em larga escala em canais no período dos Reinos Combatentes (481 a.C. a 221 a.C.), desempenhando um papel fundamental na aplicação hidráulica da época.

No período da Idade Média, utilizou-se bastante do aproveitamento de fontes de energia hidráulica, como foi o caso das rodas d'água. Os conhecimentos acumulados desde Roma, passando pela Idade Média, evoluíram constantemente a partir do século XV.

No Renascimento, início do século XVI, um grande engenheiro e cientista da época, Leonardo Da Vinci, desenvolveu grandes projetos de hidráulica a partir da publicação de suas observações e aplicações de novas ideias sobre o princípio da conservação de massa.

A partir do século XIX, a hidráulica prática começou a ter uma abordagem experimental, que destacou os conceitos de viscosidade e turbulência por Hagen e Poiseuille e Reynolds, bem como outros trabalhos como os de Weisbach, Darcy e Bresse que são relacionados a escoamentos e perda de carga. Esses trabalhos são utilizados até hoje, uma vez que apresentaram uma enorme contribuição através do estabelecimento de equações gerais.

No século XX, com o intenso desenvolvimento da hidráulica industrial iniciado no final do século, o alemão Ludwig Prandtl inicia sua teoria quanto ao comportamento distinto do fluxo de acordo com as condições de contorno e as divergências entre a hidráulica teórica e a hidráulica experimental, dando origem à Mecânica dos Fluidos. Os trabalhos de von Karman, Nikuradse, Moody e Colebrook, entre outros proporcionam avanços extraordinários a este novo conceito.

INTERESSANTE



A utilização de dados na atualidade demanda o auxílio de computadores, ou seja, é possível abreviar diversos cálculos para utilização da hidráulica, contribuindo na solução de problemas técnicos e na implantação de obras hidráulicas agrícolas, o que proporciona a formulação de modelos de simulação, permitindo analisar os fenômenos que acontecem nas estruturas hidráulicas que são aplicadas na agricultura moderna.

Com o uso da tecnologia da informação, é possível resolver diversos problemas ligados a máquinas hidráulicas e seus diversos modelos, já que visa poder simular os possíveis acontecimentos que vão surgir em tempo real. Com isso, é necessária a qualificação de profissionais da hidráulica para solucionar as adversidades que acontecem no mundo da engenharia.

3 PANORAMA E ESCOPO ATUAL NA ÁREA AGRÍCOLA

No momento atual, pode-se definir a hidráulica agrícola como sendo a aplicação de mecânicas dos fluídos na solução de problemas ligados a armazenamento e reuso da água em diversos tipos de sistemas hidráulicos. Dessa forma, percebe-se que a hidráulica agrícola tem um papel importante nas diversas modalidades de engenharia, integrando-se também em diversos outros campos profissionais.

Dentro do campo de trabalho da Hidráulica Agrícola, ela se encontra presente em praticamente todos os tipos de empreendimentos que possuem a água como agente principal, como, por exemplo, obras de infraestrutura, sistemas hidráulicos de geração de energia, entre outros, como pode ser visto na Figura 5.

FIGURA 5 – USINA HIDROELÉTRICA (DEMONSTRAÇÃO)



FONTE: <https://shutr.bz/3CHNSf7>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Na área de engenharia, a hidráulica tem importância principalmente nos estudos envolvendo as aplicações de irrigação e drenagem, assim como em sistemas de máquinas hidráulicas, o que necessita de conhecimento da hidráulica na agricultura. Nesse sentido, a Figura 6 demonstra canais de irrigação usados para drenar água de grandes rios.

FIGURA 6 – CANAL DE IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA USADO PARA DRENAR ÁGUA



FONTE: <https://shutr.bz/3q7hmxW>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Uma grande tendência na hidráulica agrícola é a modelagem física e a modelagem matemática, que são técnicas mais avançadas e sofisticadas para a mensuração e aquisição de dados por meios de informações dos modelos de simulação matemática, já que são capazes de representar os eventos físicos envolvidos nas mais diversas áreas da agricultura.

RESUMO DO TÓPICO 1

Neste tópico, você adquiriu certos aprendizados, como:

- São importantes os conceitos de hidráulica e suas aplicações na engenharia, visando à contextualização no mundo moderno.
- É necessário entender a evolução da hidráulica em sistemas produtivos agrícola, buscando ver o lado da história e das aplicações de engenharia hidráulica.
- É preciso levar em consideração o panorama atual da hidráulica agrícola vendo as aplicações da mecânica dos fluidos na solução de problemas.
- É importante observar a importância da hidráulica agrícola em diversos sistemas produtivos.

AUTOATIVIDADE



- 1 Na hidráulica agrícola existem diversas aplicações, principalmente em se tratando resolução de problemas na atualidade. Diante disso, segundo Azevedo Netto *et al.* (1998), algumas áreas de atuação da Hidráulica Aplicada ou Hidrotécnica consistem na elaboração de projetos hidráulicos. Sobre o assunto, assinale a alternativa correta:
 - a) ☐ Instalações prediais agrícolas.
 - b) ☐ Hidráulica agrícola.
 - c) ☐ Urbana, agrícola ou rural, instalações prediais.
 - d) ☐ Hidráulica moderna.

- 2 A hidráulica hidrostática visa estudar as condições de estabilidade ou equilíbrio dos líquidos em repouso, enquanto a hidrodinâmica trata dos líquidos em variação de posição espacial de um objeto ou movimento. Sobre a divisão da hidráulica agrícola, assinale a alternativa correta:
 - a) ☐ Hidráulica teórica e hidráulica aplicada.
 - b) ☐ Hidráulica mecânica e hidráulica prática.
 - c) ☐ Hidráulica civil.
 - d) ☐ Hidráulica de transporte.

- 3 No momento atual, pode-se definir a hidráulica agrícola como sendo a aplicação de mecânicas dos fluidos na solução de problemas ligados a diversos sistemas. Diante disso, na área de engenharia, a hidráulica agrícola tem importância principalmente em alguns estudos. Sobre o assunto, assinale a alternativa correta:
 - a) ☐ Aplicações de máquinas a vapor e térmicas em processos agrícolas.
 - b) ☐ Aplicações de máquinas térmicas e processos industriais.
 - c) ☐ Aplicações de máquinas modernas de precisão em processos da indústria.
 - d) ☐ Aplicações de irrigação e drenagem, processos industriais e sistemas de máquinas hidráulicas, ou que necessita de conhecimento da hidráulica na agricultura.

- 4 A hidráulica envolve aplicações de irrigação e drenagem, sistemas de máquinas hidráulicas, entre outros. Diante disso, no campo de trabalho da Hidráulica Agrícola, ela se encontra presente em praticamente todos os tipos de empreendimentos. Disserte sobre quais são esses empreendimentos.

- 5 Os conhecimentos acumulados durante a história permitiram desenvolver grandes projetos de engenharia hidráulica, sendo uma forma de resolver os problemas no mundo antigo e moderno. No Renascimento, início do século XVI, um grande engenheiro e cientista da época, Leonardo Da Vinci, desenvolveu grandes projetos. Disserte sobre o que o engenheiro desenvolveu.

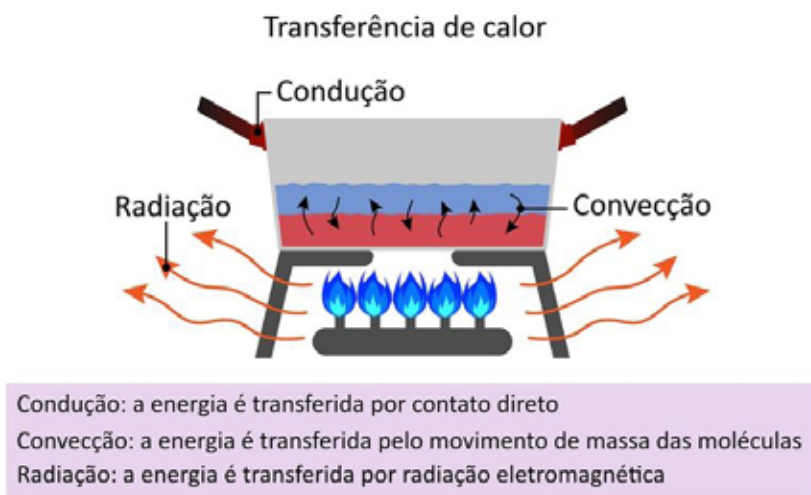
PROPRIEDADES FUNDAMENTAIS DOS FLUIDOS

1 INTRODUÇÃO

A fundamentação teórica de fenômenos de transporte tem como objeto de estudo os mecanismos governantes básicos da transferência de grandezas físicas entre dois pontos do espaço que consiste nas leis fundamentais por intermédio de modelos matemáticos adequados.

Os princípios básicos são relativos à transferência de massa, de energia, e de quantidade de movimento. A termodinâmica, por sua vez, é o ramo da ciência que trata de diversos fenômenos da energia e das propriedades da matéria relacionadas a si mesma, em especial às leis de transferência de calor em outras formas de energia. A Figura 7 demonstra a aplicação da transferência de calor.

FIGURA 7 – TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONDUÇÃO, CONVECÇÃO E RADIAÇÃO (REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA)



FONTE: <https://shutr.bz/36iAmSX>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Na engenharia, o sistema hidráulico do trator tem por responsabilidade o acionamento da direção do sistema de engate de três pontos e, utilizando a transmissão hidráulica, ele permite maior versatilidade de movimentação e controle a distância (remoto) de implementos acoplados aos tratores. Sua principal função é distribuir potência para diversos pontos do trator, potência essa que é utilizada para movimentar mecanismos do

próprio sistema e/ou de implementos acoplados. Existem diversos sistemas hidráulicos que transmitem a força por meio de fluidos sob pressão, tal fluido geralmente é o óleo, segundo Rinaldi (2011) e Varella (2016).

GLO



Um exemplo prático de aplicação é o cárter, que é basicamente o compartimento dedicado a armazenar o fluido lubrificante e que também auxilia o seu arrefecimento, podendo ser, inclusive, com aletas e auxilia também a diminuir a movimentação do fluido, fazendo com que esse esteja sempre em um nível disponível para ser transmitido pelo sistema de lubrificação em diversas posições do motor ao longo do seu uso, como em veículos, por exemplo, e em um declive ou alicive (JORGE MARTINS, 2006).

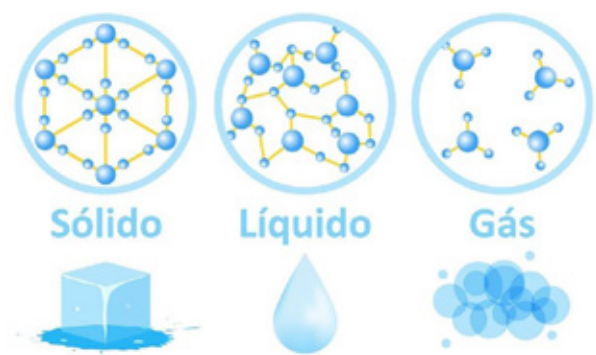
Dessa forma, a Mecânica dos Fluidos é essencial na análise de qualquer projeto em que o fluido é o meio atuante. Existem alguns exemplos que podem ser citados quanto à aplicação de fenômenos de transporte na engenharia como: base ao estudo da hidráulica, monitoramento hidrometeorológico, controle de poluentes em água continentais e marítimas, processos de tratamento de água, movimento dos fluidos, hidrodinâmica, máquinas térmicas, máquinas hidráulicas para fins rurais.

2 CONCEITO DE FLUIDO

Fluido é qualquer tipo de matéria com nenhuma resistência à deformação, podendo ser líquido, gás ou vapor. Assim, o fluido, por sua vez, é a própria mistura de trabalho, que consiste em mistura ar-combustível em um motor, vapor d'água em uma turbina a vapor, ar em um compressor, tendo a propriedade de escoamento.

Diante disso, líquidos e gases são considerados fluidos porque não possuem seus átomos organizados de forma simétrica e rígida, formando um amorfo. A Figura 8 mostra as aplicações relacionadas a fluidos.

FIGURA 8 – CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS (ESTADOS FÍSICOS DA MATÉRIA: SÓLIDO, LÍQUIDO, GASOSO)



FONTE: <https://shutr.bz/3MX6Gvl>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Portanto, um fluido que apresenta resistência à redução de volume próprio é denominado fluido incompressível, enquanto o fluido que responde com uma redução de seu volume próprio ao ser submetido à ação de uma força é denominado fluido compressível.

3 PROPRIEDADES DOS FLUIDOS

As bases lançadas pela mecânica dos fluidos são fundamentais para muitos ramos de aplicação da engenharia. Dessa forma, o escoamento de fluidos em canais, condutos, lubrificação, esforços em barragens, corpos flutuantes, máquinas hidráulicas, ventilação, aerodinâmica e muitos outros assuntos lançam mãos das leis de mecânica dos fluidos para obter resultados de aplicação prática, o que torna o estudo das propriedades dos fluidos fundamentais na resolução de problemas hidráulicos. Portanto, torna-se necessário o entendimento de unidades das grandezas fundamentais, denominado Sistema de Unidades, conforme o Quadro 1.

QUADRO 1 – ALGUNS DOS SÍMBOLOS E UNIDADES FUNDAMENTAIS QUE SÃO USADOS NA APLICAÇÃO DA HIDRÁULICA

Grandeza	Símbolo	Unidade	Símbolo
Comprimento	L	Metro	m
Massa	M	Quilograma	Kg
Tempo	T	Segundo	s
Intensidade corrente elétrica	I	Ampere	A
Temperatura	θ	Kelvin	K
Quantidade de matéria	Mol	Mole	mol
Intensidade luminosa	I	Candeia	cd

FONTE: O autor (2022)

Dessa maneira, as propriedades dos fluidos podem ser divididas em massa específica, volume específico, peso específico, pressão, tensão superficial, compressibilidade, viscosidade, sendo todas importantes para aplicações na engenharia hidráulica.

3.1 MASSA ESPECÍFICA

A massa específica (ρ) de qualquer substância é sua massa dividida pelo seu volume, ou seja, é a massa de substância contida numa unidade de volume: $\rho = \frac{m}{V}$, em que:

- ρ = massa específica
- m = massa do fluido
- V = volume do fluido

Unidades: Sistema Internacional (SI) $\rightarrow$ kg/m³.

Sistema Técnico (ST) $\rightarrow$ u.t.m./m³ (u.t.m.= unidade técnica de massa).

Sistema Inglês (Slg) $\rightarrow$ lb/ft³ (libra por pé cúbico = lb/pé³ ou lbm/pé³).

Outras unidades usuais: g/cm³; kg/L.

Por exemplo: a massa específica da água muda com a temperatura.

- 4°C $\rightarrow \rho = 1.000$ kg/m³
- 45°C $\rightarrow \rho = 990$ kg/m³
- 65°C $\rightarrow \rho = 980$ kg/m³

3.2 VOLUME ESPECÍFICO

O volume específico (v) é o volume de uma massa unitária, sendo também o inverso da massa específica: $v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$.

Unidades: Sistema Internacional (SI) $\rightarrow$ m³/kg.

Sistema Técnico (ST) $\rightarrow$ m³/u.t.m.

Sistema Inglês (Slg) $\rightarrow$ ft³/lb.

Engenheiros e cientistas normalmente se referem a tabelas de valores de volume específicos. Esses valores representativos são para temperatura e pressão padrão (STP), que é uma temperatura de 0°C (273,15 K, 32°F) e pressão de 1 atm.

3.3 PESO ESPECÍFICO

Na engenharia hidráulica, trabalha-se com a força da gravidade exercida sobre a sua massa, que é o peso, sobre uma unidade de volume, o que se denomina peso específico (γ), ou seja, essa massa está contida em uma unidade de volume. Assim, podemos considerar a aceleração da gravidade como sendo ($g=9,807 \text{ m/s}^2$) e peso específico da água ($\gamma_{\text{água}} = 9.800 \text{ N/m}^3$).

$$\gamma = \frac{P}{V}$$
$$\gamma = \frac{m \cdot g}{V} = \rho \cdot g$$
$$\gamma = \rho \cdot g$$

Unidades: Sistema Internacional (SI) $\rightarrow \text{N/m}^3$.

Sistema Técnico (ST) $\rightarrow \text{kgf/m}^3$.

Sistema Inglês (SIg) $\rightarrow \text{lbf/ft}^3$.

3.4 PRESSÃO

A pressão, por sua vez, é a grandeza física que mede a força aplicada perpendicularmente a uma superfície. Trata-se de uma grandeza escalar que pode ser calculada pela razão entre força e área. Em unidades SI, a pressão é medida em pascal, que equivale a newtons por metro quadrado ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$), mas também pode ser medida em atm ($1 \text{ atm} = 1,1.105 \text{ Pa}$). A Figura 9 mostra um medidor de pressão.

FIGURA 9 – MEDIDOR DE PRESSÃO (MANÔMETRO)



FONTE: <https://www.shutterstock.com/pt/search/man%C3%B4metro>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Na física, a pressão é calculada pela razão entre o módulo de uma força F e uma área A . Uma vez que a pressão é uma grandeza escalar, ela pode ser definida por sua intensidade e unidade de medida: $p = \frac{F}{A}$, em que:

- p = Pressão (Pa - Pascal)
- F = Força (N - Newton)
- A = área (m^2)

3.4.1 Unidades de pressão

Na hidráulica, existem muitas unidades para mensurar a pressão em diferentes partes do mundo, ou seja, pode-se dar em diferentes tipos de atividades e, por isso, é necessário conhecimento para sabermos como convertê-las para sua respectiva unidade padrão, que é o pascal.

TABELA 1 – UNIDADES UTILIZADAS PARA MEDIR A PRESSÃO

Converter de	Unidades de pressão geral					Unidades principais		Outras	
	bar	Pa	atm	psi	kg / cm²	ft (H ₂ O)	m (H ₂ O)	in Hg	mm Hg / Torr
	Multiplique por								
bar	1	100000	0.9869	14.504	1.0197	33.4562	10.1974	29.5301	750.06
Pa	1 x 10 ⁵	1	9.87 x 10 ⁻⁵	1.45 x 10 ⁻⁴	1.02 x 10 ⁻⁵	3.34 x 10 ⁻⁴	1.02 x 10 ⁻⁴	2.95 x 10 ⁻⁴	0.0075
atm	1.01325	101325	1	14.7	1.03	33.99	10.333	29.9	760
psi	0.06895	6894.8	0.0680	1	0.0703	2.307	0.7031	2.036	51.715
kg / cm²	0.9807	98066.5	0.968	14.22	1	32.809	10.0003	28.959	735.56
ft (H ₂ O)	0.02989	2989.0	0.0295	0.4335	0.03048	1	0.3048	0.883	22.419
m (H ₂ O)	0.09806	9806.4	0.09678	1.4223	0.099997	3.281	1	2.8958	73.554
in Hg	0.03386	3386.4	0.03342	0.4911	0.03453	1.133	0.3453	1	25.4
mm Hg / Torr	0.00133	133.32	0.001316	0.0193	0.00136	0.0446	0.0136	0.03937	1

FONTE: <https://shutr.bz/3tcCoNq>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Unidades: Sistema Internacional (SI) → $N/m^2 = Pa$ (Pascal).
Sistema Técnico (ST) → kgf/cm^2 .
Sistema Inglês (Sig) → $lbf/in^2 = psi$ (do inglês pound per square inch), chamada de “libra” usualmente.
Outras unidades: atm; mmHg; bar; lbf/ft^2 .
Em aplicações práticas, a pressão do ar em um pneu é considerada a pressão efetiva, que é facilmente medida através de um manômetro, ou seja, a diferença entre a pressão do fluido dentro do recipiente e a pressão externa (atmosférica). Logo, para determinar a pressão absoluta, é necessário somar a pressão atmosférica.

3.5 TENSÃO SUPERFICIAL

Na engenharia, a tensão superficial é uma mudança que ocorre em todos os líquidos, caracterizando-se pela formação de uma espécie de membrana elástica em suas extremidades, como, por exemplo, a água, que tem a maior Tensão Superficial dentre os líquidos.

Quando a água, em estado líquido, ocupa um recipiente, pode-se perceber a separação que há entre o líquido e o ambiente. Isso ocorre porque a interação entre as moléculas de água na superfície é diferente das interações no interior do líquido. Na superfície, uma molécula de água interage com as moléculas das laterais e abaixo dela. No interior, uma molécula é rodeada por outras moléculas e há interação em todas as direções por meio das ligações de hidrogênio.

INTERESSANTE



É devido a essa propriedade que se observa o fenômeno de formação de uma gota. Por conta disso, também é possível que insetos caminhem sobre a água.

3.6 COMPRESSIBILIDADE

Compressibilidade é a propriedade que está relacionada à resposta do fluido às forças de compressão. Pode-se dividir em dois tipos de fluido:

- **compressíveis:** fluidos que dependem da pressão a que estão submetidos;
- **incompressíveis:** fluidos em que o volume não depende da pressão.

A compressibilidade está relacionada aos estados físicos da matéria, podendo ser dividida em:

- **sólidos:** tem forma rígida, que quebra ou sofre deformação, não escoa, incompressível;
- **líquidos:** tem certa liberdade de movimento, volume fixo, deformação e escoamento contínuos, compressibilidade muito pequena;
- **gasosos:** tem grande liberdade de movimento das moléculas, deformação e escoamento contínuos, alta compressibilidade.

3.7 VISCOSIDADE

Na engenharia hidráulica, a aplicação da viscosidade é uma propriedade física que define a resistência de um fluido ao escoamento. A viscosidade, por sua vez, está ligada à resistência que o fluido cede à deformação por cisalhamento, em que as forças são direcionadas em sentidos opostos, mas em direções iguais na substância verificada.

Viscosimetria é um segmento da mecânica dos fluidos que consiste na prática experimental de medir a resposta reológica dos fluidos ao escoamento pela gravidade. Assim, o controle da viscosidade visa garantir um funcionamento adequado dos sistemas de injeção das bombas de combustíveis, conforme Maia *et al.* (2006).

O óleo diesel com viscosidade muito baixa pode provocar perdas internas na bomba injetora por vazamentos que reduzem a potência produzida pelo motor. Dessa forma, uma viscosidade elevada provoca aumento da pressão de pico de injeção em sistemas sem regulação de pressão e também muda o padrão de pulverização devido à formação de gotículas maiores, como no caso do biodiesel, segundo Bosch (2005).

O estudo da viscosidade está ligado a uma constante de coeficiente de viscosidade ou viscosidade absoluta. Diversos fluidos, como, por exemplo, a água ou até mesmo gases, permitem a aplicação da Lei de Newton, os quais são denominados fluidos newtonianos, já os fluidos não newtonianos tendem a aceitar comportamentos complexos e não lineares, o que acontece na aplicação da Lei de Newton.

Ademais, a viscosidade é fortemente influenciada pela temperatura, como pode ser observado na Tabela 2.

TABELA 2 – VALORES DE TEMPERATURA E COEFICIENTE DE VISCOSIDADE DINÂMICA (μ : N.s.m⁻²) E COEFICIENTE DE VISCOSIDADE CINEMÁTICA (ν : m².s⁻¹)

Temperatura °C	μ (N.s.m-2).10-6	ν (m2.s-1).10-9
0	1791	1792
2	1674	1673
4	1566	1567
10	1308	1308
15	1144	1146
20	1008	1007
40	653	657
60	469	478
70	407	416
90	317	328
100	284	296

FONTE: Adaptada de Junior (2021).

A viscosidade de fluidos newtonianos é caracterizada pelo coeficiente de viscosidade dinâmica (μ : N.S.m⁻²) e pelo coeficiente de viscosidade cinemática (ν : m².s⁻¹).

Para o uso do lubrificante em equipamentos agrícolas, ou por qualquer outro segmento, torna-se necessário entender as características da viscosidade nos mais diversos sistemas de máquinas. Ela, em todas as aplicações em lubrificantes, está interligada às forças internas de atração entre moléculas, ou seja, quanto maior a força de atração e tamanho de moléculas, maior será o contato interno, ou seja, ocorrendo maior viscosidade.

RESUMO DO TÓPICO 2

Neste tópico, você adquiriu certos aprendizados, como:

- É preciso ter clareza dos conceitos de fluido, podendo ser líquido, gás ou vapor na aplicação de vários sistemas hidráulicos.
- É importante ter o entendimento das propriedades dos fluidos na aplicação da hidráulica na agricultura e demais áreas de atuação.
- É necessário ter a capacidade de classificar as propriedades físicas dos fluidos para melhor entendimento de componentes hidráulicos.
- É imprescindível observar a importância das propriedades fundamentais dos fluidos para diversos tipos de processos hidráulicos.

AUTOATIVIDADE



- 1 Na atualidade, o bom entendimento e comportamento de fenômenos de transporte é de suma importância. Diante disso, a aplicação de fenômenos de transporte tem uma fundamentação teórica que tem como objeto de estudo alguns mecanismos. Sobre estes mecanismos, assinale a alternativa correta:
- a) () Mecanismos básicos de grandezas físicas e químicas entre um ponto do espaço que consiste nas leis fundamentais.
 - b) () Mecanismos complexos de grandezas químicas em um ponto, que ocorrem por intermédio de modelos físicos adequados.
 - c) () Mecanismos básicos da transferência de grandezas físicas entre dois pontos do espaço que consiste nas leis fundamentais por intermédio de modelos matemáticos adequados.
 - d) () Mecanismos de transferência de grandezas químicas entre três pontos, que ocorrem por intermédio de modelos adequados.
- 2 Os fenômenos de transporte englobam as transferências de energia por calor e massa. A Mecânica dos Fluidos, nesse âmbito, volta-se ao comportamento de fluidos em repouso e em movimento e às forças agindo sobre esses sistemas. Em se tratando de fenômenos de transporte e mecânica dos fluidos na engenharia, existem alguns exemplos que podem ser citados como base de estudo. Sobre o tema, assinale a alternativa correta:
- a) () Estudo da hidráulica, monitoramento hidrometeorológico, controle de poluentes em águas continentais e marítimas, processos de tratamento de água, movimento dos fluidos, hidrodinâmica, máquinas térmicas, máquinas hidráulicas para fins rurais.
 - b) () Estudo da química, controle de sistemas urbanos, movimentos de transporte, controle de água marítimas.
 - c) () Estudo da biologia, controle de processo de tratamento de água, máquinas a vapor, controle de águas continentais e movimento dos fluidos nos diversos tipos de sistemas.
 - d) () Estudo da matemática, controle de sistemas urbanos, movimento de transporte, controle de água marítimas, processos de tratamento de água e movimento dos fluidos nos diversos tipos de sistemas.
- 3 Na engenharia hidráulica, o estudo de mecânica dos fluidos é de extrema importância em virtude da resolução de diversos problemas como centros urbanos e agrícolas. Diante disso, as informações lançadas pela mecânica dos fluidos são fundamentais para muitos ramos de engenharia. Considerando a base a mecânica dos fluidos, assinale a alternativa correta:

- a) () Escoamento de fluidos em canais, condutos, lubrificação, esforços em barragens, corpos flutuantes, máquinas hidráulicas, ventilação, aerodinâmica.
- b) () Lubrificação de sistemas mecânicos, escoamento de água, máquinas agrícolas, esforços em barragens.
- c) () Máquinas rurais, ventilação forçada, máquinas hidráulicas, lubrificação e esforços em barragens.
- d) () Máquinas térmicas, escoamento de água, ventilação forçada, aerodinâmica e esforços em barragens.

4 Os fluidos podem se apresentar como líquidos (água, gasolina), gás (ar, oxigênio, hidrogênio) ou como uma combinação de líquido e gás (vapor úmido). Os sólidos e os fluidos apresentam comportamentos diferentes quando submetidos a uma tensão cisalhante. Dessa forma, o estudo de propriedade dos fluidos é de extrema importância, pois, com ele, pode-se tomar decisões. Pensando que, na engenharia, as propriedades dos fluidos podem ser divididas em condições, disserte sobre o assunto.

5 A compressibilidade consiste na capacidade de um corpo ou substância para reduzir o seu volume quando se encontra submetido a pressões em todas as partes, ou seja, a capacidade que um fluido possui de o volume por ele ocupado variar em função da pressão. Assim, a compressibilidade está relacionada aos estados físicos da matéria. Disserte sobre esses estados físicos da matéria.

HIDROSTÁTICA: MEDIDORES DE VAZÃO E DE PRESSÃO, PRESSÃO E EMPUXO

1 INTRODUÇÃO

Medidores de vazão termais fazem uma relação entre transporte de massa e transferência de calor através do princípio da convecção forçada em um duto tendo seus sensores e elementos atuadores instalados de forma não intrusiva. Segundo Quirino (2015), existem quatro categorias de medidores de vazão termais: anemômetros térmicos, oscilação térmica, por tempo de voo (TOF, do inglês *time of flight*) e calorimétricos.

Os modelos que medem a vazão através do TOF (tempo de voo) funcionam monitorando o tempo de trânsito de um pulso térmico. A resistência elétrica gera um pulso de calor que, após um determinado tempo, é percebido por sensores de temperatura instalados a jusante do escoamento. Assim, a propagação do pulso de calor sempre dependerá das propriedades físico-químicas do fluido, conforme Hammerschmidt (2019).

Diante disso, a medição de vazão de controle de pressão é a variável de processo mais usada na indústria de controle de sistemas nos seus mais diversos segmentos. Através da pressão, é possível inferir uma série de outras variáveis de processo, tais como nível, volume, vazão e densidade.

Com o advento da tecnologia digital, uma enorme variedade de equipamentos se espalhou pelo mercado em diversas aplicações. Porém, a caracterização de pressão só teve seu real valor a partir do momento em que foi possível traduzi-la em valores mensuráveis. Na indústria, dentre os diversos equipamentos usados para medir pressão, pode-se destacar dois deles: o manômetro e o transmissor de pressão.

FIGURA 10 – MEDIDOR DE PRESSÃO (MANÔMETRO)



FONTE: <https://shutr.bz/3MVA1GM>. Acesso em: 10 mar. 2022.

O manômetro é usado para leituras locais da pressão, possuindo normalmente uma conexão com o processo e um *display* (quando eletrônico) ou ponteiro (quando mecânico) para que se possa ler a pressão localmente. Em geral, são dispositivos de baixo custo e são usados quando a pressão não precisa ser transmitida para um sistema de controle e não é necessário exatidão, como, por exemplo, pressões estáticas, pressões de bomba etc.

FIGURA 11 – TRANSMISSOR DE PRESSÃO INTELIGENTE



FONTE: <https://shutr.bz/34jkvfj>. Acesso em: 10 mar. 2022.

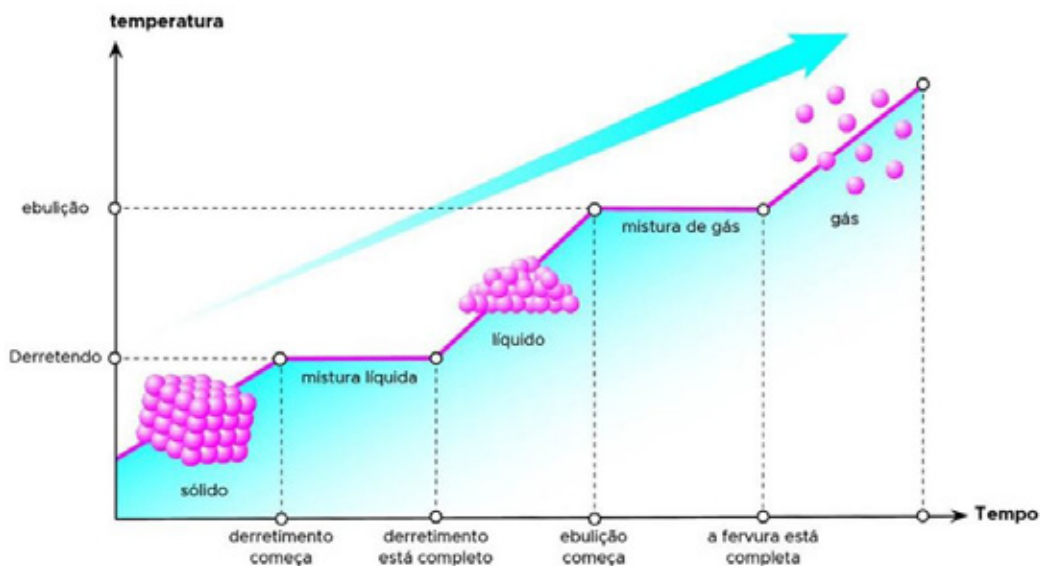
Existem também modelos diferenciais, vacuômetros, sanitários etc., enquanto o transmissor de pressão inteligente combina a tecnologia do sensor mais sua eletrônica.

2 O QUE É HIDROSTÁTICA?

Na hidrostática, quando uma superfície está submersa em massa fluida, as forças que vêm do fluido agem na superfície, mesmo que estejam em repouso. Na engenharia hidráulica, o estudo de forças é de extrema importância pra projeto de tanques de armazenamento de fluidos, represas agrícolas e até mesmo navios.

Dessa forma, hidrostática é a aplicação de fluidos em equilíbrio estático, considerando os esforços exercidos sobre os líquidos e gases em repouso, levando em conta também as forças que eles exercem sobre os corpos. Diferentemente do que ocorre com as substâncias no estado sólido, nos estados líquido e gasoso, a molécula possui mais mobilidade, o que resulta na sua fluidez. Isso faz com que os fluidos mudem de forma e se adaptem mesmo ao serem submetidos a pequenas forças. A Figura 12 mostra uma curva de aquecimento da matéria.

FIGURA 12 – CURVA DE AQUECIMENTO DE ESTADO DA MATÉRIA



FONTE: <https://shutr.bz/3u2IoYr>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Caracterizados pela capacidade de escoamento, os fluidos se deformam com facilidade, de modo que, quando colocado em qualquer recipiente, as substâncias fluidas adquirem o seu formato. Assim, o escoamento dos fluidos varia de acordo com a sua viscosidade. Ou seja, quanto menor for a viscosidade, mais fácil será o escoamento do fluido, uma vez que a viscosidade representa o atrito existente entre suas moléculas durante um movimento.

2.1 PRESSÃO HIDROSTÁTICA

No estudo de pressão hidrostática, a pressão é exercida pelo peso da coluna de fluido em igualdade, ou seja, a pressão devida somente ao líquido, como mostra a fórmula: $p_{HIDROSTÁTICA} = p_H = \mu \cdot g \cdot H$.

Logo, pode-se concluir que a pressão hidrostática, num dado local da terra:

- num mesmo líquido, é diretamente proporcional à altura vertical H (= profundidade);
- independe da forma do recipiente, da área da coluna fluida e da inclinação do recipiente;
- depende da massa específica;
- no interior de um líquido homogêneo em equilíbrio, é a mesma em qualquer superfície horizontal (= superfície isobárica).

Diante disso, as leis da hidrostática estão presentes no dia a dia mais do que se pode imaginar, como, por exemplo, na água que sai da torneira das residências, nas represas das hidrelétricas que geram a energia elétrica que é utilizada e na pressão que o ar está exercendo sobre uma pessoa.

2.2 HIDROSTÁTICA: DENSIDADE ABSOLUTA E RELATIVA

A razão entre a massa de um objeto e seu volume corresponde à aplicação da densidade, sendo que a densidade relativa é uma variável adimensional, ou seja, há a divisão entre duas densidades, tendo como base uma única referência: a água.

Um objeto cuja densidade seja equivalente a 5 tem uma massa volumétrica 5 vezes maior à da água, como, por exemplo, os sólidos e líquidos. Assim, a densidade (ρ) é representada pela seguinte equação: $\rho = m / V$ e sua unidade no sistema internacional de Unidades (SI) é kgm^{-3} , conforme mostra o Quadro 2.

QUADRO 2 – GRANDEZAS, SÍMBOLOS E UNIDADES

Grandeza	Símbolo	Unidade	Símbolo
Densidade	ρ	quilograma por metro cúbico	kg m^{-3}
Densidade relativa	d	adimensional	-
Massa	m	quilograma	kg
Volume	V	metro cúbico	m^3
Temperatura	T	kelvin	K
Pressão	p	pascal	Pa

FONTE: O autor (2022)

As densidades dos líquidos puros ou em soluções podem ser determinadas pelas medidas das suas massas que ocupam volumes conhecidos, sendo os aparelhos mais comuns utilizados em medidas de densidade o picnômetro, a balança de densidade e o densímetro.



NOTA

Na hidráulica agrícola, a medição de densidade é um importante parâmetro de qualidade tanto para a matéria-prima quanto para o produto final. Diversas técnicas permitem que a densidade de materiais sólidos, viscosos e líquidos, como metais, plásticos, produtos químicos, lubrificantes e alimentos, seja determinada com precisão.

2.3 EMPUXO

O empuxo, na engenharia, é uma grandeza matematicamente vetorial cuja a unidade de medida é expressa em newtons (N), ou seja, há a mesma direção e no sentido oposto ao peso da matéria imersa. No empuxo, a força atua sobre os objetos que são completamente imersos em fluidos, como, por exemplo, água e ar.

A fórmula para calcular o empuxo, é: $E = d_f \cdot V_f \cdot g$, em que:

- **E** é o módulo do empuxo, sendo medido em Newtons (N);
- **d_f** é a densidade do fluido, sendo medida em kg / m^3 ;
- **V_f** é o volume do fluido deslocado, sendo medido em m^3 ;
- **g** é a aceleração da gravidade, sendo medida em m/s^2 .

A densidade do fluido, o volume de fluido deslocado e a aceleração da gravidade são variáveis que, combinadas, são direcionadas para a aplicação do produto de ambos, o que se considera a nomenclatura de empuxo.

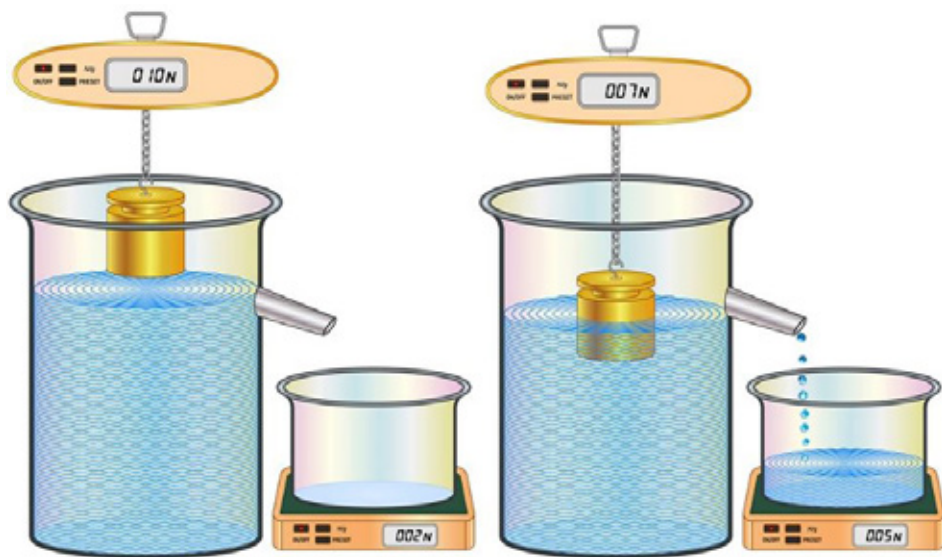
Na hidráulica, existem tabelas que oferecem valores de densidade de vários fluidos, sendo um bom exemplo a água, que, quando em temperatura de 4°C , tem a densidade de $1 \text{ g} / \text{cm}^3$ ou $1000 \text{ kg} / \text{m}^3$, enquanto o ar, a 20°C e pressão de 1 atm (atmosfera), tem a densidade de $0,0012 \text{ g} / \text{cm}^3$ ou $1,2 \text{ kg} / \text{m}^3$. Em sistemas diferentes, o volume de fluido que se desloca poderá depender da geometria do objeto ou corpo em que se esteja parcialmente submerso ou por completo, ou seja, quando há um aumento do volume do objeto, mais líquido se desloca e, sendo assim, há maior aplicação de empuxo. A aceleração da gravidade, por sua vez, é de, aproximadamente, $9,84 \text{ m/s}^2$.

2.4 HIDROSTÁTICA: PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES

Arquimedes foi um matemático e um dos maiores inventores de todos os tempos, sendo sua descoberta mais importante a força de empuxo. De acordo com a lenda, Arquimedes descobriu o princípio do empuxo enquanto estava tomando banho em sua banheira. Assim, um exemplo de aplicação é o volume de água que escorre para fora de uma banheira, que é igual ao volume imerso do objeto.

A Figura 13 demonstra a aplicação do princípio de Arquimedes na atualidade.

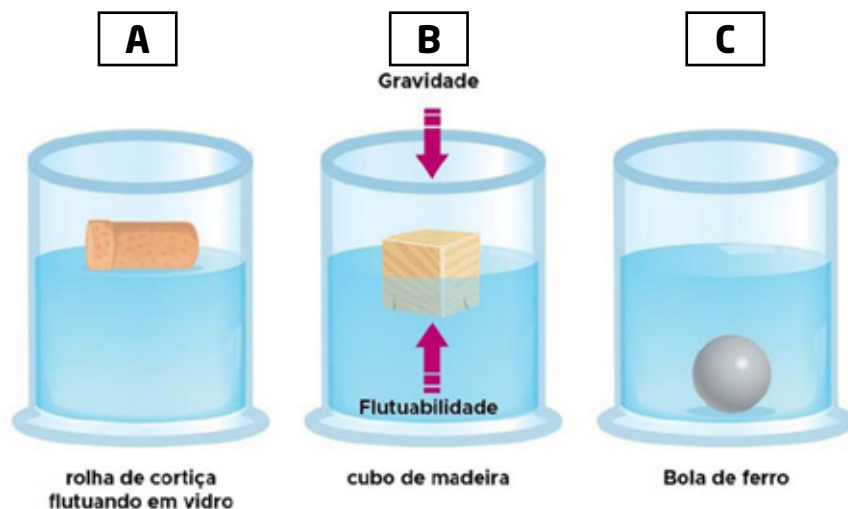
FIGURA 13 – PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES (O VOLUME DO FLUIDO DESLOCADO É IGUAL AO PESO DO CORPO IMERSO)



FONTE: <https://www.shutterstock.com/pt/image-vector/archimedes-principle-experiment-physical-law-1904272783>. Acesso em: 10 mar. 2022.

De acordo com o princípio de Arquimedes, qualquer objeto, total ou parcialmente imerso em um fluido ou líquido, é impulsionado por uma força igual ao peso do fluido deslocado pelo objeto.

FIGURA 14 – FORÇA FLUTUANTE, APLICAÇÃO DO PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES (Bola de ferro (C) = IRON, cubo de madeira (B) = WOOD e rolha de cortiça flutuando em vidro (A) = CORK).



FONTE: <https://shutr.bz/3MSIjIB>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Dessa forma, Arquimedes, que foi um dos maiores físicos-matemáticos da história, trabalhou como pioneiro da matemática aplicada, sendo o primeiro a valer-se da mecânica para obter resultados matemáticos.

2.5 LEI DE STEVIN: HIDROSTÁTICA

A hidrostática vem sendo bastante utilizada para a resolução de problemas de engenharia, sendo esta última tratada na atualidade.

Simon Stevin (1548-1620) foi um físico, matemático e também engenheiro que nasceu em Bruges, na atual Bélgica e contribuiu para o desenvolvimento de projetos ligados à hidrostática. Ademais, desenvolveu um teorema pelo qual é possível calcular a variação de pressão em função da variação de altura em um fluido, como aquela pressão que se sente no ouvido quando se mergulha em uma piscina profunda, por exemplo.

2.5.1 Dedução da pressão de uma coluna líquida

Lembrando que $p = \frac{F}{A}$, em que:

- **P** - Pressão (Pa - pascal)
- **F** - Força (N - newton) = peso
- **A** - área (m²)

Nesse caso, a força é o peso, ou seja, massa multiplicada pela gravidade: $p = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{A}$. Sabe-se que: $m = \mu \cdot V$ (sendo m = massa, μ = massa específica e V = volume).

$$\text{Substituindo a massa, tem-se: } p = \frac{\mu \cdot g \cdot V}{A} = \frac{\mu \cdot g \cdot A \cdot h}{A}.$$

Assim, a pressão em um determinado ponto 1 de uma coluna de água é dada por **Pressão = $\mu \cdot g \cdot h$** . Observação: h é a profundidade do ponto e g corresponde à aceleração da gravidade, de 10 m/s^2 .

2.5.2 Diferença de pressão em um líquido em equilíbrio

Quando existem dois pontos em um líquido em plena igualdade, é conveniente que os dois pontos estejam alocados em alturas diferentes, ou seja, há, assim, a diferença de pressão. Consequentemente, em pontos mais profundos, existe uma pressão mais alta, havendo mais fluido. Um bom exemplo de aplicação é a de um recipiente contendo um fluido qualquer, no qual, entre os pontos 1 e 2, existe uma diferença de profundidade (h). Dessa forma, nos pontos 1 e 2, pode-se ter a pressão exercida pelo peso do fluido além da pressão atmosférica.

Pressão no ponto 1

$$P_1 = \text{pressão atmosférica} + \mu \cdot g \cdot h_1$$

Pressão no ponto 2

$$P_2 = \text{pressão atmosférica} + \mu \cdot g \cdot h_2$$

A diferença de pressão entre os dois pontos é dada por: $P_2 - P_1 = P_{\text{atm}} + \mu \cdot g \cdot h_2 - (P_{\text{atm}} + \mu \cdot g \cdot h_1)$, sendo $P_2 - P_1 = \mu \cdot g \cdot (h_2 - h_1)$ (Lei de Stevin).

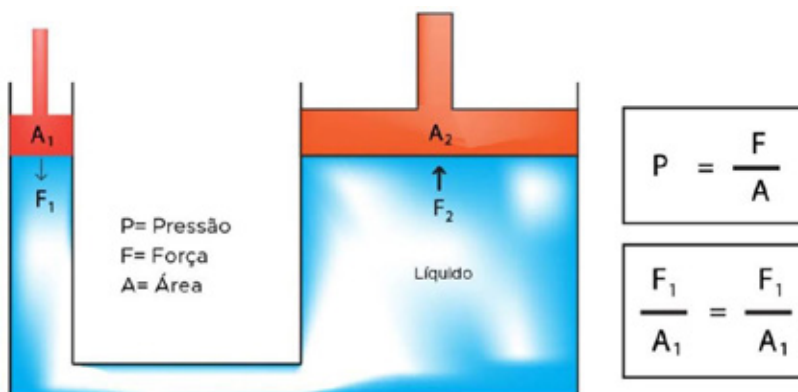
Em um líquido em equilíbrio, dois pontos na mesma profundidade terão a mesma pressão (vasos comunicantes): **$P_1 = P_2 = P_3 = P_1 = \text{pressão atmosférica} + \mu \cdot g \cdot h$** .

- Com o líquido em plena igualdade, despreza-se a tensão superficial, ou seja, a superfície do líquido é plana e horizontal.
- Em sistemas hidráulicos, as diferenças de pressão de dois pontos do mesmo líquido só vão depender da diferença de profundidade para ambos.

2.6 HIDROSTÁTICA: PRINCÍPIO DE PASCAL

Segundo o princípio enunciado pelo cientista francês Blaise Pascal, a pressão aplicada sobre um fluido em equilíbrio estático é distribuída igualmente para todas as suas partes, inclusive para as paredes do recipiente em que está contido.

FIGURA 15 – TRANSMISSÃO DE PRESSÃO ATRAVÉS DE LÍQUIDOS, A LEI DE PASCAL



FONTE: <https://shutr.bz/3wfyY9>. Acesso em: 10 mar. 2022.

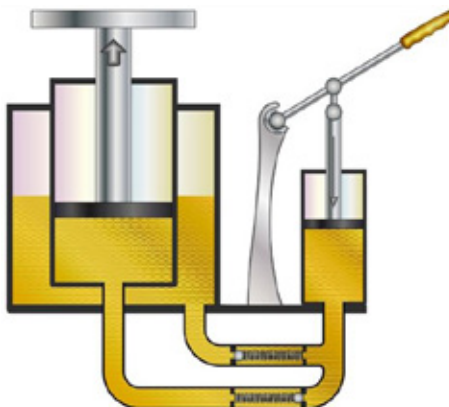
A partir da Figura 18 acima, a fórmula do Princípio de Pascal é expressa em $\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$:

- **F_1 e F_2 :** forças aplicadas aos êmbolos 1 e 2.
- **A_1 e A_2 :** áreas dos êmbolos 1 e 2.

Nesse sentido, as intensidades das forças aplicadas são diretamente proporcionais às áreas dos êmbolos. Alguns exemplos sobre o Princípio de Pascal podem ser aplicados em:

- **pressas hidráulicas:** são dispositivos desenvolvidos pelos seres humanos. Seus princípios estão ligados diretamente aos de Pascal, que exerceu um papel fundamental na Revolução Industrial e até mesmo nos dias atuais, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico atual. A Figura 16 mostra as aplicações da lei de Pascal (sistema hidráulico e gás);

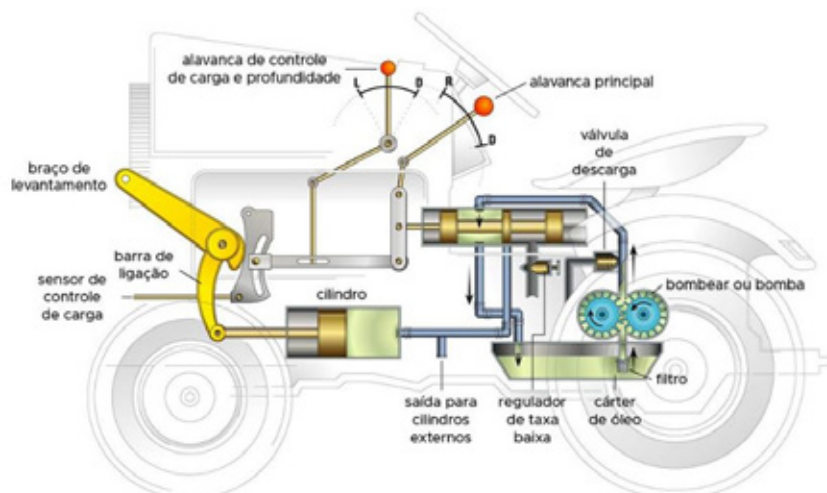
FIGURA 16 – APLICAÇÃO DA LEI DE PASCAL EXEMPLO PRÁTICO (SISTEMA HIDRÁULICO E GÁS)



FONTE: <https://shutr.bz/3KGNCzE>. Acesso em: 10 mar. 2022.

- **elevadores hidráulicos:** são acionados através de um cilindro hidráulico que pode ser instalado lateralmente com o auxílio de polias e cabos de aço para elevar a cabina ou com o cilindro instalado abaixo da cabina, enterrado ou não, acionando a cabina diretamente. A Figura 17 mostra um desenho esquemático de um elevador hidráulico de um trator agrícola;

FIGURA 17 – DESENHO ESQUEMÁTICO DE UM ELEVADOR HIDRÁULICO (TRATOR AGRÍCOLA)

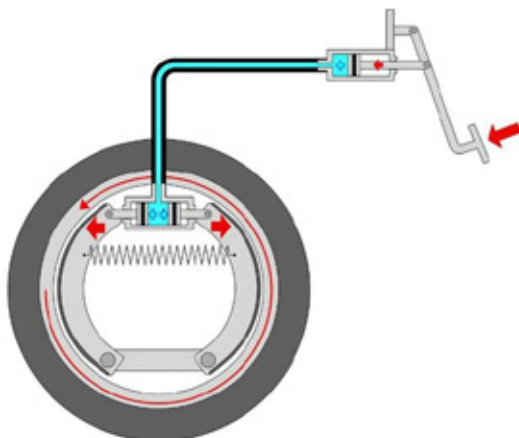


ESQUEMA DO ELEVADOR HIDRÁULICO DE UM TRATOR

FONTE: <https://shuttr.bz/3icZ8Xw>. Acesso em: 10 mar. 2022.

- **freios hidráulicos:** em sistemas de freios hidráulicos, existe um reservatório para óleo ou fluido, sendo que o líquido passa pela mangueira e acontece a frenagem do disco;

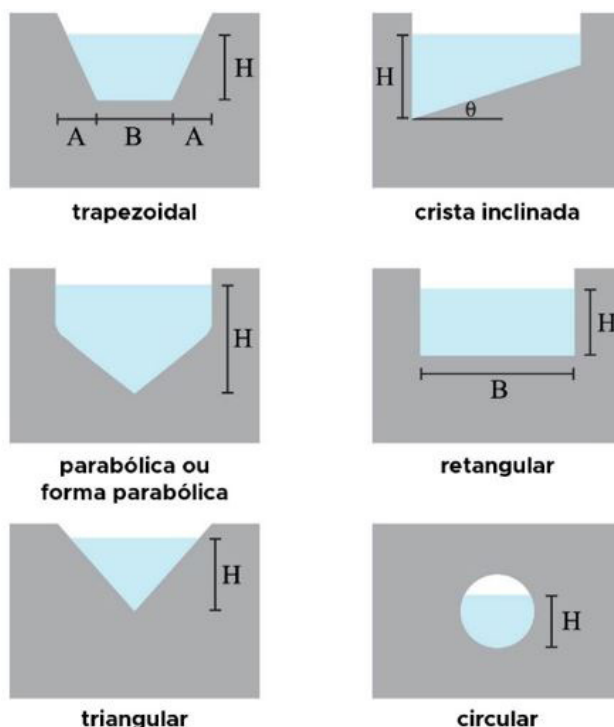
FIGURA 18 – FREIO DE TAMBOR HIDRÁULICO DE AUTOMÓVEL



FONTE: <https://www.shutterstock.com/pt/image-vector/hydraulic-drum-brake-automobile-1691995039>. Acesso em: 10 mar. 2022.

- **barragens:** os sistemas de barragens oferecem vários benefícios, ou seja, pode-se trabalhar com a produção de energia elétrica e para o abastecimento de água, uso para população ou para fins agrícolas, o que permite o uso da irrigação para sistemas produtivos na agricultura. A Figura 19 mostra um desenho esquemático de barragens de acordo com a forma geométrica;

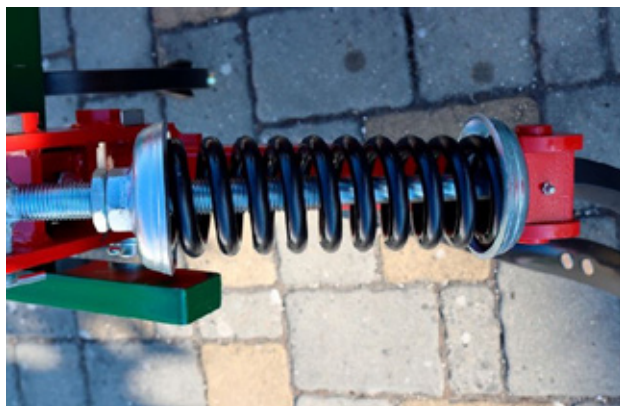
FIGURA 19 – DESENHO ESQUEMÁTICO DE BARRAGENS E SUAS FORMAS GEOMÉTRICAS



FONTE: <https://shutr.bz/3lcvk7F>. Acesso em: 10 mar. 2022.

- **caixas d'água:** são sistemas destinados ao armazenamento de água para consumo humano, agrícola ou qualquer outra função que requer o seu uso;
- **sistemas de amortecedores:** são sistemas compostos por elementos flexíveis, que são os amortecedores, molas, barra estabilizadora, entre outros. Esses dispositivos têm como principal objetivo promover conforto às pessoas e dar estabilidade e segurança ao veículo agrícola. A Figura 20 mostra um amortecedor para uso agrícola.

FIGURA 20 – MOLA DE METAL DO TIPO PRETA, COM HASTE DE AÇO, USADA EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS



FONTE: <https://shutr.bz/36g1EJH>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Com isso, a utilização dos princípios de Pascal contribui bastante para a formulação prática de vários dispositivos mecânicos e suas construções sendo baseadas no desempenho de novas tecnologias que são aplicadas na atualidade.

2.7 MEDIDORES DE VAZÃO

A medição de vazão em sistemas hidráulicos tornou-se mais presente devido à aplicação de vários processos em sequência que ocorreu na indústria de modo geral. Em virtude disso, foram formuladas novas soluções tecnológicas para desenvolver novos medidores baseados em exemplos práticos e estudos de comportamentos de fluidos.

Na hidráulica, os medidores de vazão exercem um papel fundamental, sendo um equipamento que demanda ter experiência na calibração, manutenção e disponibilidade de peças para reposição.

Para isso, em sistemas hidráulicos agrícolas, existem critérios para a escolha dos medidores, como, por exemplo: vazão operacional, características do fluido, características de instalação, características de operação, exatidão, facilidades de comunicação, custos, facilidade de instalação e manutenção, confiabilidade.

Em sistemas industriais agrícolas, o transporte de materiais se dá, em grande parte, através da movimentação de tubulações. Na aplicação de processos industriais agrícolas, a medida de vazão é extremamente importante, pois existem duas formas básicas de medir vazão: quantidade de massa e volumétrica que corresponde ao volume. Assim, a quantidade transportada pode ser medida em unidades de volume ou unidades de massa, como, por exemplo, litros, metros cúbicos, quilos, toneladas. No entanto, a vazão instantânea é mensurada em l/m, kg/h e m³/h. Diante disso, podemos destacar os medidores de quantidade e volumétricos.

Em sistemas de vazão instantânea, são utilizados **medidores de quantidade** de combustível ou água consumida. Isso acontece bastante em hidrômetros e bombas de combustível, seja gasolina, diesel e álcool. A seguir, segue um medidor de quantidade por peso e volume, sendo apresentado, na Figura 21, um medidor de água consumida.

FIGURA 21 – MEDIDOR DE ÁGUA CONSUMIDA



FONTE: <https://shutr.bz/3u2nwQS>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Os medidores de quantidade por peso são instrumentos, utilizados para mensurar sólidos em quilos ou toneladas, como, por exemplo, o uso da balança industrial para atividades agrícolas. A Figura 22 demonstra um conjunto técnico de balanças digitais industriais.

FIGURA 22 – CONJUNTO TÉCNICO DE BALANÇAS DIGITAIS INDUSTRIAIS



FONTE: <https://shutr.bz/3tcH3yU>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Já os **medidores volumétricos** são instrumentos utilizados para mensurar a quantidade de fluido que passa pela tubulação, normalmente sendo empregados nesses dispositivos medidas volumétricas. A Figura 23 mostra medidores de gás natural em fileira.

FIGURA 23 – MEDIDOR DE GÁS NATURA EM FILEIRA



FONTE: <https://shutr.bz/3ial09K>. Acesso em: 10 mar. 2022.

O erro que mais acontece em sistemas de medição de vazão é o seguinte: em vez de escolher um sensor que é capaz de operar adequadamente, tenta-se justificar o uso de um dispositivo mais barato. Assim, as aquisições mais baratas podem levar a custos muitos mais caros. Quanto a medidores de vazão, podem ser do tipo: magnéticos, saída analógica, ultrassônicos portáteis etc.

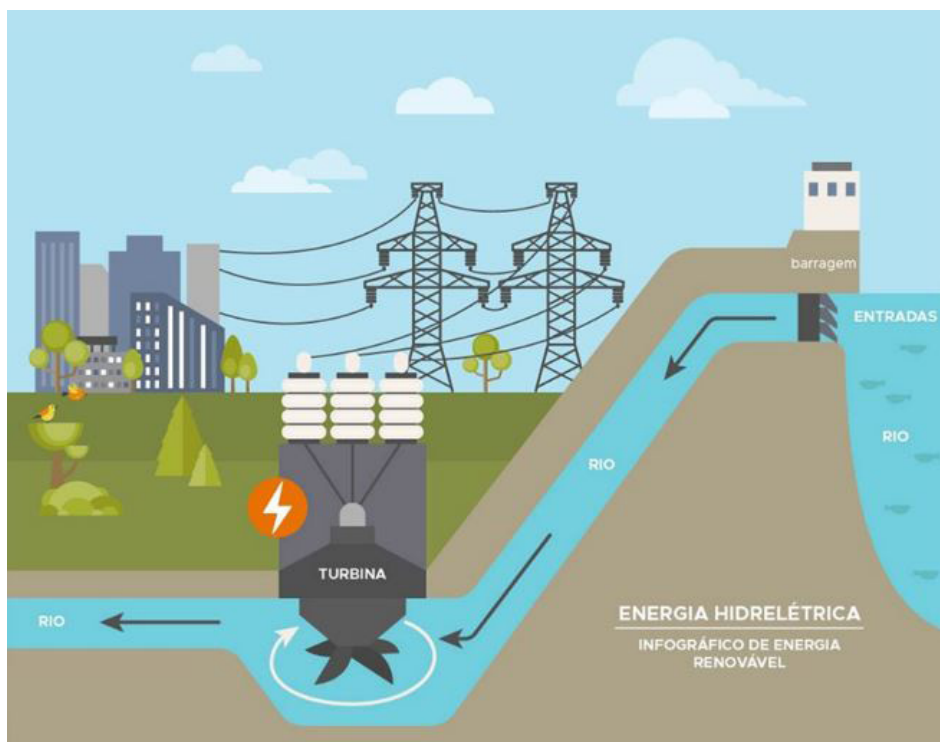
- **Medidor de vazão com saída analógica:** para conexão com dispositivos de controle, existem medidores de vazão com saída analógica que pode ser embutida ou opcional para os mais diversos tipos de aplicações.
- **Medidores de vazão eletrônicos:** o medidor ultrassônico de fluxo mede a velocidade do fluido com ultrassom para, assim, obter a vazão desse fluido. A maioria dos medidores ultrassônicos utiliza a energia elétrica para escolher o medidor mais indicado, devendo-se levar em conta o formato do tubo, fixação do medidor, e tipo de fluido transportado, por exemplo.

Cada um desses medidores utiliza métodos de medida diferentes para obter a vazão do fluido:

- **medidores de vazão *doppler* ultrassônicos portáteis:** um exemplo é o medidor de vazão da série FD 613 que emprega uma avançada tecnologia de medição de transição de fase, fornecendo avaliações de velocidade de fluxo precisas e confiáveis em sistemas de tubulação fechada;
- **ultrassônicos por efeito *doppler* e tempo de trânsito:** para o efeito doppler, calcula-se a discrepância de constância entre o sinal emitido e o sinal recebido. A diferença de fase é originada pela reflexão sonora ou espalhamento resultante de partículas em suspensão contidas no fluido, o que altera a frequência do sinal incidente.

A calibração destes medidores torna-se importante, a partir do momento em que os resultados da medição de vazão estão associados a transações comerciais, como a venda de gasolina em um posto de combustível ou até mesmo os testes de desempenho hidráulico de equipamentos agrícolas, ou ainda as turbinas de uma hidrelétrica quanto ao fluxo de funcionamento.

FIGURA 24 – USINA HIDRELÉTRICA (INFOGRÁFICO DE ENERGIA RENOVÁVEL)



FONTE: <https://shutr.bz/3CIU4TY>. Acesso em: 10 mar. 2022.

A vazão, por sua vez, é uma grandeza que precisa de vários recursos tecnológicos para a construção de medidores e transmissores. Na atualidade, existem várias inovações quanto a sistemas de medição de vazão, sendo influenciados pela aplicação de princípios físicos utilizados. Assim, o avanço contínuo dos medidores de vazão tende a crescer em função das exigências das indústrias de processo e da concorrência entre os fabricantes.

Diante disso, as empresas poderão desenvolver práticas alternativas para medição de vazão, sendo capazes de disponibilizar mais qualidade aos processos e produtos dentro do setor industrial agrícola, promovendo, assim, uma conformidade dos mesmos.

RESUMO DO TÓPICO 3

Neste tópico, você adquiriu certos aprendizados, como:

- São importantes os conceitos de hidrostática e pressão hidrostática em sistemas hidráulicos agrícolas e aplicações.
- É preciso compreender os princípios de Arquimedes, Stevin e Pascal quanto às formulações matemáticas e aplicações práticas.
- É necessário entender os medidores de vazão e funcionalidades quanto ao uso e suas aplicações no mercado.
- É imprescindível compreender a diferença de pressão em um líquido em equilíbrio.

AUTOATIVIDADE



- 1 O uso de instrumentos de medição de pressão é extremamente importante para a tomada de decisão na hidráulica agrícola. Diante disso, existe um instrumento usado para leituras locais da pressão, possuindo, normalmente, uma conexão com o processo e um display (quando eletrônico) ou ponteiro (quando mecânico) para que se possa ler a pressão localmente. Sobre instrumento, assinale a alternativa correta:
 - a) ☐ Termômetro.
 - b) ☐ Sensor.
 - c) ☐ Manômetro.
 - d) ☐ Potenciômetro.

- 2 Pressão é uma grandeza matemática que é dada pela razão de uma força aplicada perpendicularmente sobre uma superfície e a área da superfície. Dessa forma, na engenharia hidráulica, existem pressões exercidas pelo peso da coluna de fluido em equilíbrio (isto é, a pressão devida somente ao líquido). Sobre o termo "pressão", assinale a alternativa correta:
 - a) ☐ Pressão hidrostática ou pressão manométrica ou pressão efetiva.
 - b) ☐ Pressão estática ou pressão dinâmica ou física.
 - c) ☐ Pressão dinâmica ou cinética ou diferencial.
 - d) ☐ Pressão física e pressão diferencial.

- 3 Nascido em Bruges, localizada na atual Bélgica, possuiu feitos importantes em vários campos, porém, na física, suas obras concentram-se em dois deles: a estática e hidrostática, sendo a última tratada hoje. Sobre o nome do cientista, assinale a alternativa correta:
 - a) ☐ Simon Stevin, físico, matemático, engenheiro.
 - b) ☐ Arquimedes, químico, mecânico, matemático.
 - c) ☐ Leonardo da Vinci, matemático, mecânico, físico.
 - d) ☐ Pascal, físico e matemático.

- 4 Para melhor entender como calcular e aplicar o princípio de Pascal, é necessário lembrar que a pressão sobre um corpo é definida como a razão entre a força aplicada e a área na qual esta força é aplicada. Na hidráulica agrícola, o uso de pressão é de extrema importância, pois consegue resolver diversos problemas. Diante disso, disserte sobre como, no princípio de Pascal, é aplicada a pressão.

- 5 A medição de vazão em sistemas hidráulicos é um dos itens relativamente importantes, pois, com eles, é possível mensurar a quantidade de líquidos que escoam em um determinado tempo. Diante disso, para a medição de vazão, existem vários equipamentos precisos que auxiliam no monitoramento e tomada de decisão para esses sistemas hidráulicos. Disserte sobre os tipos de medidores de vazão.

HIDRODINÂMICA: TEOREMA DE BERNOULLI

1 INTRODUÇÃO

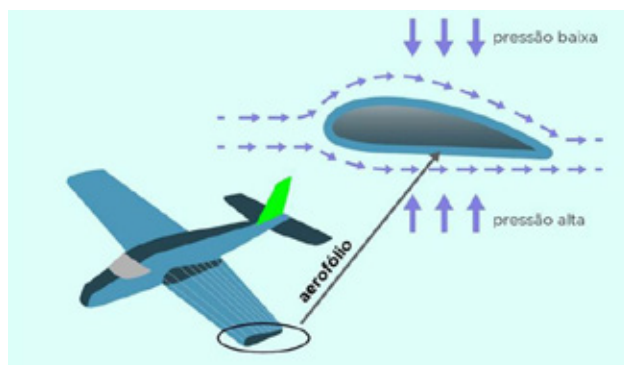
Na engenharia, a hidrodinâmica exerce um papel fundamental na resolução de vários problemas ligados ao escoamento de fluidos. Diante disso, entender as suas características e também como se comportam sob a ação de forças volumétricas é de extrema importância, ou seja, forças que atuam sobre todo volume do fluido, que são chamadas de forças externas.

Na comparação com o estudo dos sólidos, encontramos uma importante diferença: as forças internas que uma camada de fluido exerce sobre as forças adjacentes não devem ser desconsideradas, sendo essas forças internas chamadas forças de superfície.

O físico suíço Daniel Bernoulli foi quem desenvolveu o princípio para o escoamento dos fluidos, afirmando que, quando uma velocidade de partícula de um fluido aumenta enquanto ela se escoa ao longo de uma tubulação de corrente, a pressão do fluido deve diminuir.

Com isso, permitiu-se entender porque é que os aviões conseguem voar. Um exemplo de aplicação é que na parte superior da asa a velocidade do ar é maior, ou seja, as partículas correm uma distância maior no mesmo tempo, sendo que a pressão na parte superior é menor do que na superfície inferior, o que acaba de criar uma força de sustentação de baixo para cima, como mostra a Figura 25.

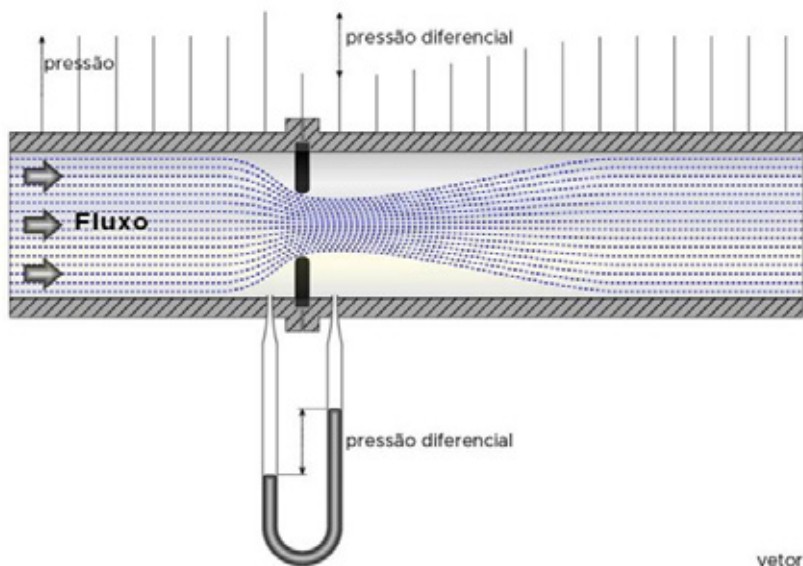
FIGURA 25 – PRINCÍPIO DE DANIEL BERNOULLI (SEÇÃO TRANSVERSAL DA ASA DO AVIÃO)



FONTE: <https://www.shutterstock.com/pt/image-vector/airplane-wing-cross-section-subject-physics-1765632065>. Acesso em: 10 mar. 2022.

A aplicação de Bernoulli pode ser inserida em escoamento de líquido com tubo de diâmetros diferentes, ou seja, o diâmetro central do tubo menor do que nas duas extremidades, já que o regime de escoamento tende a ser rápido na zona mais estreita e ter pressão menor. Com isso, permite-se calcular a velocidade do fluido em tubos horizontais por meio da diferença de pressão.

FIGURA 26 – SENSOR DE FLUXO DE ORIFÍCIO (APLICAÇÃO DE DIFERENÇA DE PRESSÃO)



FONTE: <https://shutr.bz/3wazpaf>. Acesso em: 10 mar. 2022.

A Figura 26 mostra um sensor de fluxo de orifício e a aplicação da diferença de pressão.

2 CONCEITOS DE HIDRODINÂMICA

A hidrodinâmica é o estudo do movimento dos fluidos. Sua aplicação prática acontece em conceitos de força, velocidade e aceleração para sistemas de abastecimento de água, irrigação das terras, entre outros.

Tipos e escoamento:

- escoamento estacionário: é definido como regime laminar, sendo obtido quando a velocidade de escoamento é pequena, ou seja, quando a velocidade de escoamento for a mesma em todos os pontos. Ex.: a água de um rio calmo, escoamento de ar e gases;

- escoamento não estacionário: ocorre quando a velocidade do fluido oscila no decorrer de um certo período, como, por exemplo, quedas de água em virtude das rochas e outros obstáculos. Em sistemas não estacionários, a viscosidade do fluido e o diâmetro da tubulação influenciam bastante do direcionamento dos fluidos, isso acontece em virtude da viscosidade, pois aparecem forças de movimento entre as camadas do fluido, ocasionando, assim, a perda de energia mecânica.

3 VAZÃO

O estudo de medição da velocidade da vazão da água consiste na aplicação da hidrometria, sendo de extrema importância no uso da agricultura, pois fornece meios para os produtores agrícolas durante suas atividades e na tomada de decisão, sendo que auxilia na quantificação de água em sistemas produtivos agropecuários. Diante disso, pode-se destacar a vazão de água de irrigação que é aplicada em projetos, o que permite fazer o uso de forma racional da água que esteja na fazenda.

Os flutuadores (sinalizadores como boias, garrafas plásticas ou de vidro) também podem ser utilizados para determinar a vazão através da velocidade superficial do escoamento. Conforme Evangelista (2011), esta velocidade superficial é, na maioria das vezes, superior à velocidade média do escoamento que corresponde a 80% ou 90% da velocidade superficial. Apesar de existirem estruturas automáticas para controle da vazão derivada, como as desenvolvidas por Stringam e Pugh (2002) e Craig *et al.* (2006), a maioria delas necessita de energia externa para o seu funcionamento. Normalmente, essas estruturas são acionadas por sistemas fotovoltaicos isolados, cujo custo de implantação é elevado, atingindo, em média, 11,00 EUR por Watt, segundo Shayani *et al.* (2006), o que pode aumentar consideravelmente o custo de instalação de tais estruturas. Assim, uma opção mais viável economicamente é o emprego de estruturas automáticas acionadas pela energia hidráulica disponível nos canais.

A vazão ou descarga é o volume de líquido que atravessa uma seção transversal por unidade de tempo. Este fluido pode ser líquido, gás ou vapor. De acordo com Martins (1998), Delmée (2003), Martim (2005), Bega (2006) e Cassiolato e Alves (2008), também pode ser definida como a quantidade volumétrica (ou mássica) de um fluido que escoar por um elemento primário, que represente o instrumento que interage com o escoamento para produzir uma medida por unidade de tempo: $Q = \frac{V}{t}$, em que:

- Q = vazão
- V = volume do fluido
- t = tempo
- Obs: Sua unidade no SI é m^3/s .

No Sistema Internacional de Medidas, a vazão é expressa em m^3/s , mas é muito comum utilizar outras unidades de medida, como m^3/h , para dimensionamento de sistemas de irrigação agrícola por aspersão, L/min, que pode se utilizada na aplicação

de torneiras e chuveiros residenciais, L/h, uma unidade de medida usada para sistemas de irrigação por gotejamento de hortaliças. A seguir, segue o equacionamento da vazão: $Q = A \cdot V$.

Assim, a vazão pode ser determinada pela multiplicação da área da seção transversal pela velocidade média do escoamento nesta seção (Equação 2).

Exemplo de aplicação: calcular a vazão que flui a uma velocidade de 2 m/s em uma tubulação de 50 mm de diâmetro.

$$\text{Solução: } Q = A \cdot V = \frac{\pi \cdot 0,05^2}{4} \cdot 2 = 0,0039 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 3,9 \text{ L/s}.$$

4 EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

Na hidráulica agrícola, o equacionamento da continuidade é correlacionado com a velocidade de escoamento laminar, ou seja, a velocidade do fluido em vários pontos diferentes não muda com o tempo em uma área disponível para o fluido fluir.

FIGURA 27 – APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

Equação de continuidade

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$



FONTE: <https://shutr.bz/3ic5PZS>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Na Figura 27, o tubo possui uma área maior (A_1) e outra menor (A_2). Para cada uma das áreas, o fluido possui uma velocidade, sendo v_1 a velocidade na área maior e v_2 a velocidade da área menor.

5 TEOREMA DE BERNOULLI PARA FLUIDOS PERFEITOS

A aplicação do teorema de Bernoulli resulta na conservação da energia. Diante disso, o escoamento permanente do fluido é a soma das alturas piezométricas (P/γ), cinética ($V^2/2g$), e geométrica (z), sendo na linha de corrente que mantém constante, como mostra a equação: $\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 = \text{constante}.$

- Quantidade de trabalho ou movimentação do fluido contra a pressão em sistemas hidráulicos, denominada energia de pressão (P/γ).
- Velocidade de escoamento do fluido na tubulação, denominada energia cinética ($V^2/2g$).
- Posição da massa em relação a um referencial de posição, denominada energia gravitacional (z).

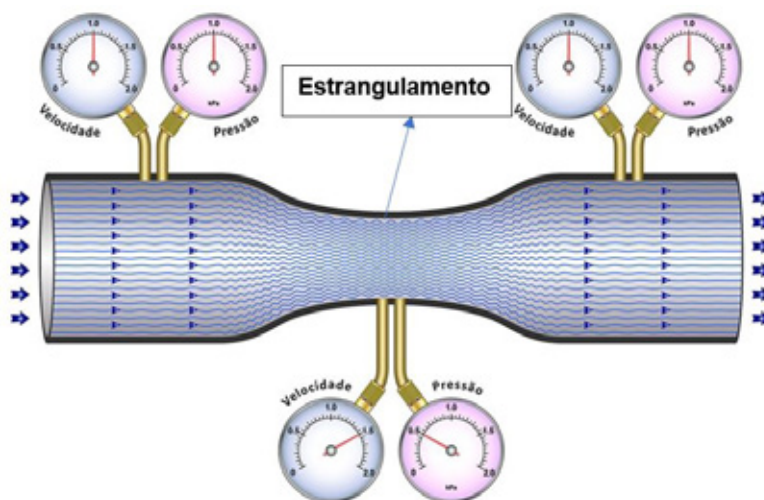
As unidades devem ser expressas em pressão em termos de altura de fluido (mca).

6 APLICAÇÕES PRÁTICAS DO TEOREMA DE BERNOULLI

Para fluidos perfeitos, pode-se ter aplicações práticas em que as perdas de energia podem ser consideradas desprezíveis, como, por exemplo, o tubo de Venturi e do tubo de Pitot, como mostrado na Figura 28.

No **tubo de Venturi**, a aplicação da seção é convergente gradual, sendo que, em sequência, acontece o estrangulamento denominado garganta e uma seção divergente gradual como mostra a Figura 28.

FIGURA 28 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM TUBO DE VENTURI, EM ESCALAS DE VELOCIDADE E PRESSÃO

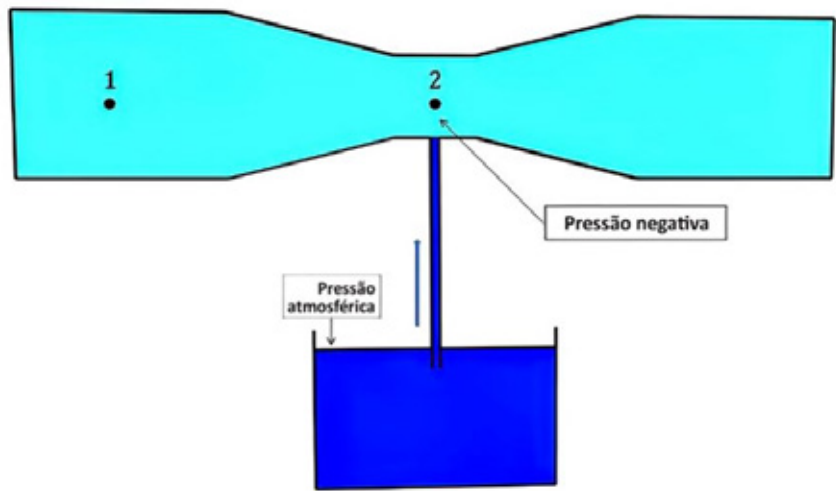


FONTE: <https://shutr.bz/3w5jwNz>. Acesso em: 10 mar. 2022.

A diminuição da pressão devido ao aumento da velocidade, pelo equacionamento na aplicação do teorema de Bernoulli, é denominada de estrangulamento. O princípio de Bernoulli está relacionado à transformação de energia, sendo que a energia de pressão é convertida em energia cinética, e, quando se passa pela região de estrangulamento, muda para energia de pressão para o tubo principal.

Na agricultura, é utilizado como injetor de fertilizantes, como mostra a Figura 29, e, em fertirrigação, há medidores de vazão em tubulações. Para que o sistema injetor de fertilizantes funcione, é preciso ter uma vazão mínima na tubulação para que aconteça uma pressão negativa na região do estrangulamento. Sendo assim, a pressão atmosférica terá a sua funcionalidade de sucção de fertilizante e a água da tubulação.

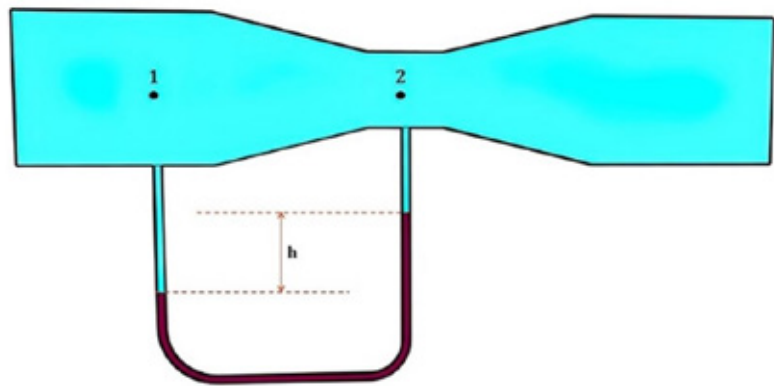
FIGURA 29 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM TUBO DE VENTURI UTILIZADO COMO INJETOR DE FERTILIZANTES NA FERTIRRIGAÇÃO



FONTE: Adaptada de Junior (2021).

No tubo de Venturi, o medidor de vazão precisa trabalhar em conjunto com o medidor de pressão, denominado manômetro. Na Figura 30, o tubo de Venturi está ligado a um manômetro diferencial. Além dessa, podem existir outras configurações possíveis, como com piezômetros, manômetros metálicos, digitais etc.

FIGURA 30 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM TUBO DE VENTURI UTILIZADO COMO MEDIDOR DE VAZÃO EM TUBULAÇÕES



FONTE: Adaptada de Junior (2021).

A vazão escoando pela tubulação é dada pela equação $Q = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \Delta P}{\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^4 - 1}}$.

7 REGIMES DE ESCOAMENTO

Na hidrodinâmica, é importante conhecer conceitos cinemáticos e hidrostáticos, sendo que os mesmos apresentam propriedade como, pressão, densidade, viscosidade etc. Diante disso, torna-se necessário compreender os efeitos resultantes do movimento de um fluido, como é o caso da perda de carga.

Para isso, é necessário compreender o movimento dos fluidos, entender a direção da trajetória, variação de tempo, variação na trajetória, movimento de rotação quanto à viscosidade e quanto a meio livre ou forçado.

7.1 QUANTO À VARIAÇÃO NO TEMPO

Classificam-se como **permanente (estacionário)** ou **variado (transitório)**. No **regime permanente**, as propriedades podem variar ao longo do fluido, mas não ao longo do tempo, sendo em movimento ou não. Assim, um fluido pode possuir diferentes valores de pressão em sua extensão, porém esses valores não sofrerão mudanças com o tempo.

Um exemplo de aplicação é um grande reservatório com água que terá pressão nula (escala relativa de pressões) quando em contato com a atmosfera. O mesmo não pode ser dito sobre a pressão no fundo. Ademais, independentemente do tempo decorrido, esses valores não sofrerão qualquer alteração.

Já no **regime variável ou não permanente**, isso pode variar em alguns pontos com o passar do tempo, como a velocidade, massa específica, pressão etc.

7.2 QUANTO À VARIAÇÃO DO VETOR VELOCIDADE

Pode ser uniforme ou variado (não uniforme):

- **regime uniforme** ocorre quando todas as seções transversais forem iguais e a velocidade média fora a mesma. Este tipo de regime ocorre em tubulações longas de diâmetro constante;
- **regime variado** ocorre quando a velocidade variar de ponto a ponto, como, por exemplo, correntes convergentes, originárias de orifícios e também nas correntes de seção.

7.3 QUANTO AO MOVIMENTO DE ROTAÇÃO

Quando as partículas do fluido possuírem rotação em relação a um dos eixos, será **rotacional (vorticoso)**. Portanto, cada partícula estará sujeita à velocidade angular ω em relação ao seu centro de massa. Em virtude da viscosidade, o escoamento dos fluidos reais é sempre do tipo rotacional.

Caso contrário, será dito **irrotacional**, quando as partículas não se deformam, desprezando a influência da viscosidade.

7.4 QUANTO À TRAJETÓRIA DAS PARTÍCULAS

Na engenharia hidráulica, o estudo de escoamento de fluidos é de suma importância, pois o escoamento é um processo de transferência de moléculas de um fluido, ou seja, os mesmos podem abranger parâmetros físicos ao longo do espaço e do tempo durante seu comportamento.

Quando se avalia um determinado escoamento, faz-se necessário considerar o comportamento do vetor velocidade do fluido ao se deslocar por uma dada região. De acordo com Fox e McDonald (2006), definindo-se velocidade instantânea por meio do vetor velocidade, pode-se inferir que a velocidade de determinado elemento de fluido em um dado instante é definida em termos das coordenadas espaciais x , y e z , e pelo tempo de deslocamento, conforme mostra na equação $V = (x, y, z, t)$.

Quando o escoamento é transmitido pela massa específica do fluido, caracteriza-se como escoamento compressível e incompressível. Fluidos que possuem massa específica variável ao longo de uma trajetória (a exemplo de alguns gases) apresentam escoamento caracterizado como compressível, enquanto fluidos que apresentam massa específica constante (a exemplo dos líquidos) apresentam escoamento definido como incompressível, segundo Welty *et al.* (2008), Fox e McDonald (2006) e Bird *et al.* (2004).

De acordo com Çengels (2007), quando duas camadas fluidas se movem uma em relação à outra, desenvolve-se uma força de atrito entre elas e a camada mais lenta tenta reduzir a velocidade da camada mais rápida. Tal resistência interna ao escoamento é quantificada pela propriedade do fluido chamada de viscosidade.

IMPORTANTE



Os escoamentos em que os efeitos do atrito são significativos denominam-se escoamentos viscosos. Entretanto, em alguns escoamentos há regiões onde as forças viscosas são desprezíveis quando comparadas às forças de inércia e pressão, conforme Çengel (2007).

O estudo das transições padrões de escoamento durante o fluxo de uma mistura gás-líquido no interior de um duto baseia-se em mecanismos físicos estabelecidos para cada transição. De acordo com Taitel e Dukler (1980), ao longo de seu escoamento, a mistura pode desenvolver vários padrões de fluxo trazendo consigo a necessidade de, primeiramente, definir alguns termos básicos referentes ao escoamento.

Com isso, Osborne Reynolds foi um físico e engenheiro mecânico britânico que teve interesse pela hidráulica e hidrodinâmica, sendo seus estudos direcionados para o uso de escoamento experimental em regime laminar e regime turbulento. Também introduziu um termo importante quanto ao número adimensional da mecânica dos fluidos, hoje conhecido como número de Reynolds. Hoje, seus estudos de escoamento sustentam a maior parte dos modelos turbulentos em fluidodinâmica computacional ou dinâmica dos fluidos computacionais.

Diante disso, seus modelos de movimento alternam entre três estados a depender do **número de Reynolds**: laminar, transitório e turbulento.

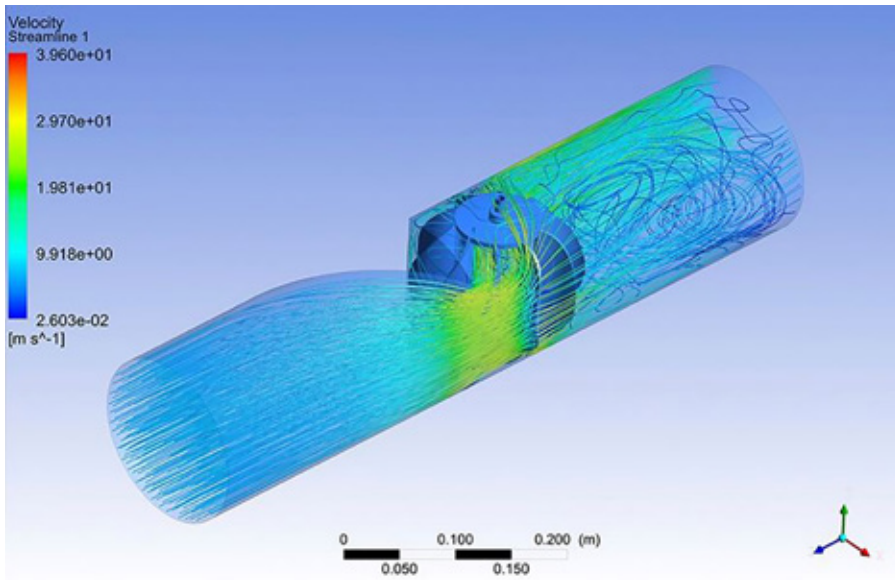
- No escoamento **laminar**, as partículas se movem em camadas paralelas ou em lâminas de trajetória bem definidas. Em geral, ocorre a baixas velocidades e/ou em tubulações de grande diâmetro e/ou em fluidos com alta viscosidade.
- O escoamento **transitório** é aquele em que há algumas flutuações intermitentes do fluido em um escoamento laminar, embora não seja suficiente para caracterizar um escoamento turbulento.
- Já no escoamento **turbulento**, as partículas do fluido se misturam rapidamente enquanto se movimentam. O movimento irregular ocasiona flutuações aleatórias no campo tridimensional de velocidade. A Figura 31 mostra os fluxos de escoamento laminar e turbulento.



FONTE: <https://shutr.bz/3CKbxLI>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Em engenharia, a turbulência é um fenômeno comumente indesejável, pois seu movimento implica na transferência de quantidade de movimento dentro da massa líquida. A Figura 32 mostra uma aplicação de simulação via modelo 3D de uma turbina hidráulica tipo arrasto instalada em tubulação para projeto de geração de hidroeletricidade, usando-se o software ANSYS. Logo, esse movimento aleatório cria maior resistência ao escoamento.

FIGURA 32 – SIMULAÇÃO VIA MODELO 3D, USANDO O SOFTWARE ANSYS



FONTE: <https://shutr.bz/3tg0w1T>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Número de Reynolds em tubos:

- $Re < 2000$ = Escoamento laminar
- $2000 < Re < 2400$ = Escoamento em transição
- $Re > 2400$ = Escoamento turbulento

Assim, temos que $Re_D = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu}$, sendo:

- V é a velocidade do fluxo;
- D é uma dimensão linear característica (comprimento percorrido do fluido; diâmetro hidráulico, etc.);
- ρ densidade do fluido (kg / m^3);
- μ viscosidade dinâmica (Pa.s);
- ν viscosidade cinemática (m^2 / s); $\nu = \mu / \rho$.

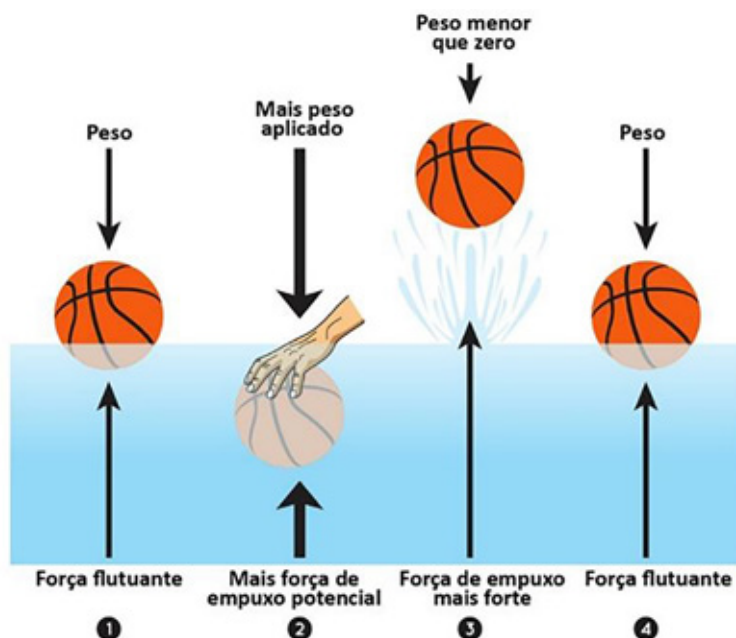
A razão entre forças da inércia em elementos de fluídos e os efeitos viscosos no mesmo elemento é denominada número de Reynolds (Re).

Com um Re pequeno, será possível desprezar os efeitos da inércia. Já com um Re grande, tem-se efeitos viscosos pequenos em relação a da inércia. Assim, não é só a velocidade que determina a característica do escoamento (massa específica, viscosidade e dimensão do duto são igualmente importantes, pois são esses parâmetros combinados que produzem o número de Reynolds).

Na análise de escoamento em fluidos, é muito comum utilizar-se de volumes de controle, ou seja, dependendo do objetivo da análise e das condições conhecidas dos sistemas em estudo, pode-se definir como sendo uma região do espaço de interesse limitada por superfícies de controle ou delimitação onde ocorre o direcionamento de massa.

A massa fluida contida no volume de controle está associada à força peso, que é uma ação da gravidade, cujo nome é força do corpo. O peso, por sua vez, influencia no direcionamento do fluido da mesma forma que se pode influenciar o peso sobre o movimento de uma esfera quando arremessada. Assim, as forças que estão contidas sobre a superfície são forças que direcionam a matéria interna e adjacentes às superfícies de controle, ou seja, essas forças tem a capacidade de modificar o escoamento de um sistema. Quando se tem forças resultantes em uma massa fluida, contida em volume de controle, tem-se a soma dessas forças de superfície. A Figura 33 mostra um exemplo de experimento da bola na superfície da água aplicando pressão com a mão.

FIGURA 33 – DIAGRAMA INFOGRÁFICO DE PESO E FLUTUABILIDADE MOSTRANDO O EXPERIMENTO DA BOLA NA SUPERFÍCIE DA ÁGUA APLICANDO PRESSÃO COM A MÃO



FONTE: <https://shutr.bz/3l8zQEk>. Acesso em: 10 mar. 2022.

A aplicação de regimes de escoamento na engenharia é de extrema importância, pois contribui para a tomada de decisão em diversas áreas da hidráulica agrícola, principalmente quando se trata de escoamento laminar, transição e turbulento.

LEITURA COMPLEMENTAR



DIMENSIONAMENTO DE BOMBAS HIDRÁULICAS COM USO DO SCILAB

Marcos Vinícius Evangelista Torres

Otávio Paulino Lavor

Sharon Dantas Cunha

Manoel Januário da Silva Júnior

Wesley de Oliveira Santos

RESUMO

O homem primitivo transportava água em baldes ou conchas, mas, com a formação de grupos maiores, este processo foi mecanizado. Atualmente, convivemos com modernas máquinas de fluxos e de grandes potências. No sistema de tubulação, a vazão depende da potência da bomba e das perdas de cargas, distribuídas e localizadas. Para se obter a vazão devida para o sistema de tubos, pode-se aplicar a equação da energia e, assim, encontrar a potência necessária para o deslocamento do fluido. Dessa forma, o presente trabalho tem por finalidade elaborar um algoritmo no Scilab para dimensionamento de bombas hidráulicas com o emprego das equações da Mecânica dos fluidos e da Hidráulica. Por meio de uma revisão bibliográfica, foi realizada a análise de conceitos e equações essenciais para o dimensionamento de bombas hidráulicas. O trabalho conduz o desenvolvimento do algoritmo por meio das equações que descrevem as perdas de cargas nos sistemas de tubulações hidráulicas. Dessa forma, pode-se concluir que o estudo da Mecânica dos Fluidos e da Hidráulica é de fundamental importância para o estudo de bombas, sobretudo, muito relevante no contexto da engenharia, e que os softwares estão facilitando cada vez mais a realização de projetos e obtenção dos referidos resultados.

Palavras-chave: Perda de carga. Escoamento. Número de Reynolds. Tubos.

INTRODUÇÃO

O homem primitivo transportava água em baldes ou conchas, mas, com a formação de grupos maiores, este processo passou a ser mecanizado. Assim, as primeiras máquinas de fluxo desenvolvidas foram rodas de conchas e bombas de parafuso para elevar água (FOX *et al.*, 2015).

Atualmente, convivemos com modernas máquinas de fluxos e de grandes potências. A operação normal dessas máquinas consiste em oferecer energia ao líquido para que possa fornecer o trabalho representado pela transferência de seu peso entre dois pontos que se considerem, cessando as resistências que se apresentarem em seu percurso (MACINTYRE, 2016).

Os sistemas de tubulações são encontrados em diversos projetos de engenharia e, por isso, foram e têm sido estudados extensivamente. Ademais, existe um escasso volume de teoria junto a uma ampla quantidade de experimentação (WHITE, 2011).

De acordo com Çengel e Cimbala (2007), o fluido de um sistema de tubulação típico percorre através de várias conexões, válvulas, curvas, cotovelos, tês, entradas, saídas, extensões e reduções, além dos tubos. Esses elementos interrompem o escoamento suave do fluido e geram perdas adicionais devido à separação do escoamento e a mistura que eles induzem. Para um sistema de tubulação, a vazão depende da potência da bomba e das perdas de cargas, distribuídas e localizadas. Com isso, para que se obtenha a vazão necessária para o sistema de tubos, pode-se aplicar a equação da energia e, assim, encontrar a potência necessária para o deslocamento do fluido.

Desta forma, é possível reconhecer a importância da Mecânica dos fluidos e da Hidráulica no dimensionamento de bombas hidráulicas. Logo, o problema básico dos sistemas de tubulações é, com o fornecimento da geometria dos tubos (circular) e de seus componentes adicionais (conexões, válvulas, curvas, cotovelos, tês, entradas, saídas, extensões e reduções), mais há vazão desejada para o escoamento e as propriedades do fluido (WHITE, 2011).

Partindo deste contexto, este trabalho tem por objetivo determinar a potência de bombas hidráulicas com o uso do Scilab, que se trata de uma linguagem de programação para diversas aplicações científicas e da engenharia.

METODOLOGIA

Foi desenvolvido um algoritmo no SCILAB referente à perda de carga em condutos forçados visando o dimensionamento de bombas hidráulicas. A realização desse algoritmo ocorreu por meio da utilização das equações de perda de carga e, a partir de um determinado projeto hidráulico, foram fornecidos os dados do mesmo, ou seja, a vazão desejada, comprimento da tubulação do sistema, diâmetro da tubulação, tipos de acessórios e suas quantidades respectivamente, além do material da tubulação para que, dessa forma, a potência da bomba seja determinada.

Durante a execução do Scilab, várias janelas podem ser utilizadas, tal como a janela de trabalho do Scilab 5.5.2. Assim, é no console do software em que podem ser realizados cálculos e compilados programas sem salvar as alterações. Ainda na tela inicial, encontram-se a barra de menus suspenso com cinco opções: arquivo, editar, controle, aplicativos e ajuda.

O editor de textos do Scilab, SciNotes, no qual pode ser elaborado o script de programas e funções, pode ser acessado através do menu aplicativo ou diretamente no ícone. É no SciNotes que é realizada toda a linguagem de programação.

Inicialmente, são dadas algumas instruções e considerações de valores adotados na construção do algoritmo para que haja a sua perfeita execução. Outros valores introduzidos na construção foram as perdas de cargas localizadas, que foram adquiridas pela tabela fornecida pela empresa Tigre.

As equações para obtenção dos resultados foram organizadas sequencialmente para que o algoritmo executasse corretamente. Para dar início à execução do algoritmo, é necessário clicar no ícone executar, que instantaneamente abrirá o console do Scilab. É no console em que todos os dados são fornecidos ao programa para que seja possível a realização dos cálculos e a obtenção dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente algoritmo foi baseado nas equações da Mecânica dos Fluidos e Hidráulica, e o resultado obtido pelo algoritmo é o mesmo obtido manualmente. O algoritmo foi criado apenas como ferramenta prática para maior rapidez do resultado e diminuição de erros nos cálculos. A potência de bomba obtida é a potência a ser adicionada ao fluido. Portanto, a potência padronizada ou instalada do conjunto moto-bomba deve ser consultada em tabelas dos fabricantes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A determinação da bomba para qualquer tipo de sistema é uma tarefa que exige um pouco de conhecimento técnico e do local a ser aplicado. Assim, foram fundamentais conhecimentos das áreas de Mecânica dos Fluidos, da Hidráulica além de um pouco de programação para a realização do algoritmo.

A produção deste projeto foi bastante enriquecedora, pois foi possível por em prática grande parte dos conhecimentos adquiridos nas áreas de Mecânica dos Fluidos, Hidráulica e Cálculo Numérico. Com a aplicação do algoritmo projetado, além da obtenção da potência da bomba hidráulica, facilitou-se também a execução do projeto hidráulico obtendo de forma prática e rápida os referidos resultados.

FONTE: TORRES, M. V. E. *et al.* Dimensionamento de bombas hidráulicas com uso do Scilab. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS – V CONPESC, 2020, online. **Anais eletrônicos do V CONAPESC. S/L: 2020.** Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2020/TRABALHO_EV138_MD1_SA_ID424_08062020112407.pdf. Acesso em: 3 jan. 2022.

RESUMO DO TÓPICO 4

Neste tópico, você adquiriu certos aprendizados, como:

- São importantes os conceitos de hidrodinâmica e aplicações para sistemas hidráulicos agrícolas para sistemas produtivos.
- É preciso compreender os princípios da equação da continuidade e teorema de Bernoulli para fluidos perfeitos.
- É necessário compreender os tipos de escoamento em sistemas hidráulicos, buscando a resolução de diferentes problemas acontecem na engenharia.
- É imprescindível compreender o equacionamento do que envolve o Tubo de Venturi por meios de representação esquemática.

AUTOATIVIDADE



- 1 A equação da continuidade relaciona a velocidade de escoamento laminar de um fluido (em que a velocidade do fluido em qualquer ponto fixo não muda com o tempo) com a área disponível para o seu fluir. Sobre o assunto, assinale a alternativa correta:
 - a) ☐ Matemática.
 - b) ☐ Física.
 - c) ☐ Hidráulica agrícola.
 - d) ☐ Matemática e física.

- 2 A hidrodinâmica, conhecida como dinâmica dos fluidos, é a área da física que estuda as propriedades do movimento dos fluidos. Para se estabelecer equações da hidrodinâmica, são necessários conceitos. Sobre o assunto, assinale a alternativa correta:
 - a) ☐ Hidrostáticos e cinemáticos dos fluidos.
 - b) ☐ Matemáticos quanto à aplicação de fluidos.
 - c) ☐ Físicos e químicos.
 - d) ☐ Matemáticos e físicos.

- 3 Na hidráulica agrícola, existem formas de se estudar e aplicar formulações matemáticas para resolução de problemas sobre hidrodinâmica. Diante disso, a hidrodinâmica é o estudo do movimento dos fluidos. Sobre sua aplicação prática, assinale a alternativa correta:
 - a) ☐ Sistemas de abastecimento de água, irrigação das terras, entre outros.
 - b) ☐ Sistemas elétricos e hidráulicos.
 - c) ☐ Sistemas de armazenamento de combustível.
 - d) ☐ Sistemas hidráulicos.

- 4 A experiência de Reynolds demonstrou a existência de dois tipos de escoamentos, o escoamento laminar e o escoamento turbulento. O experimento teve como objetivo a visualização do padrão de escoamento de água através de um tubo de vidro, com o auxílio de um fluido colorido (corante). Na engenharia, existem várias formas de se resolver problemas quanto ao fluxo de escoamentos. Disserte sobre o que é escoamento turbulento em sistemas hidráulicos.

- 5 O movimento do líquido pode ser classificado de diversas maneiras, podendo ser quanto à direção da trajetória, variação no tempo, variação na trajetória, movimento de rotação quanto à viscosidade, quanto ao meio (livre ou forçado). Disserte sobre o que é escoamento laminar em sistemas hidráulicos.

REFERÊNCIAS

ABIMAQ/CSEI. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS – CÂMARA SETORIAL DE EQUIPAMENTOS DE IRRIGAÇÃO. Atualização da área irrigada brasileira. **Informe Interno**. 2015.

BAPTISTA, M.; LARA, M. **Fundamentos de engenharia hidráulica**. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

BAPTISTA, M.P. (Org). **Hidráulica aplicada**. São Paulo: ABRH, 2003.

BEGA, E.A. *et al.* **Instrumentação industrial**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência/IBP, 2006.

BIRD, R.B.; STEWART, W.E.; LIGHTFOOT, E.N. **Fenômenos de transporte**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

BOLLMANN, A. **Fundamentos de automação industrial pneumática**. São Paulo: ABHP, 1997.

BOSCH, R. **Manual de tecnologia automotiva**. 25 ed. São Paulo: Editora Blücher, 2005.

BRAGA FILHO, W. **Fenômenos de transporte para engenharia**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

BRUNETTI, F. **Mecânica dos fluidos**. 2 ed. revisada. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

CASSIOLATO, C.; ALVES, E.O. Medição de Vazão. **Profibus – Profinet**, São Paulo, 2018.. Disponível em: http://www.profibus.org.br/files/artigos/Artigo_Vazao_CI_2008.pdf. Acesso em: 06 jan. 2022.

ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos fluidos: fundamentos e aplicações**. São Paulo: McGraw-Hill, 2007.

COLETTI, C. *et al.* Water quality index using multivariate factorial analysis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, p. 517-522, 2010.

CRAIG, K.R.; ELSER, P.G.; ALLEN, L.; LANGEMAN, P. **Irrigation gate system**. Int. Cl. E02B 7/40. U.S. n. 7.114.878 B2, 19 nov. 2004, 3 out. 2006.

DELMÉE, G.J. **Manual de medição de vazão**. 3 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

EVANGELISTA, A.W.P. **Hidrometria: medição de vazão**. Material docente – Universidade Federal de Goiás. Disponível em: https://www.agro.ufg.br/up/68/o/2.1_Hidrometria_Condutores_livres.pdf. Acesso em: 9 jan. 2022.

FIALHO, A.B. **Automação hidráulica**: projetos, dimensionamento e análise de circuitos. 7 ed. São Paulo: Érica, 2018.

FOX, R.W.; McDONALD, A.T. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

FOX, R.W.; PRITCHARD, P.J.; MCDONALD, A.T. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

GUEDES, A.S. **Hidráulica**. Pelotas: UFPEL, 2018.

HAMMERSCHMIDT, U. *et al.* A pulsed thermal-flow (PTF) sensor measures velocity of flow and thermal diffusivity. **Springer Science+Business Media**, 2019.

HILLS, D.J.; YITAYEW, M. Bubbler Irrigation. In: LAMM, F.R. *et al.* **Developments in agricultural engineering**. Amsterdã: Elsevier, 2007.

JENSEN, M.E. **Design and operation of farm irrigation systems**. 3 ed. St. Joseph (MI): ASAE, 1980.

JUNIOR, J.B.T. **Hidráulica agrícola**. Florianópolis: UFSC, 2021.

LENCASTRE, A. **Hidráulica geral**. Portugal: Hidroprojecto, 1983.

MAIA, A. C. S. *et al.* Estudo da adição do biodiesel de mamona ao óleo diesel mineral sobre a massa específica e viscosidade cinemática. In: Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel, 2006, Brasília. **Anais**. Brasília: ABIPTI, 2006.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W.L.C. **Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças**. Brasília: Embrapa, 1998.

MARTIM, A.L.S.S. **Avaliação do desempenho de um medidor de vazão eletromagnético em situações práticas reais de instalação**. 2005. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

MARTINS, J. **Motores de combustão interna**. 2 ed. Porto: Publindústria, 2006.

MARTINS, N. **Manual de medição de vazão**: através de placas de orifício, bocais e venturis. Rio de Janeiro: Interciência/Petrobras, 1998.

MORAN, M.J. *et al.* **Introdução à engenharia de sistemas térmicos**. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

MUNSON, B.R. **Fundamentos da mecânica dos fluidos**. 4 ed. São Paulo: EDGARD BLUCHER, 2004.

PRUSKI, F.F. (Org). **Hídros**: dimensionamento de sistemas hidroagrícolas. Viçosa: UFRV, 2006.

QUIRINO, T.Q. **Desenvolvimento de um medidor de vazão não intrusivo utilizando calorimetria inteligente**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica) – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

RINALDI, P.C.N. **Parâmetros de desempenho de tratores agrícolas de pneus comercializados no Brasil**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

ROTAVA, O. **Aplicações práticas em escoamento de fluidos**: cálculo de tubulações, válvulas de controle e bombas centrífugas. São Paulo: LTC, 2011.

SHAYANI, R.A.; OLIVEIRA, M.A.G.; CAMARGO, I.M.T. Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 2006, Brasília. **Anais**. Brasília: Sociedade Brasileira de Planejamento Energético, 2006.

SOTELO AVILA, G. **Hidráulica general**. México: Ed. Limusa, 1980.

STRINGAM, B.L.; PUGH, C.A. **Automated farm turnout**. Int. CI7. F16K 21/18. U.S. n. 2002/0066484 A1, 06 Dez. 2000, 06 jun. 2002.

TAITEL, Y., BARNEA, D., DUCKLER, A. E. Modeling Flow Pattern Transitions from Steady Upward Gas-liquid Flow in Vertical Tubes. **AIChE Journal**, v. 26, p. 345-354, 1980.

TSUTIYA, M.T. **Abastecimento de água**. 3 ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

VARELLA, C.A.A. **Introdução ao estudo dos tratores agrícolas**. Material docente – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/motores_e_tratores.htm . Acesso em: 14 maio 2016.

WELTY, J.R. *et al.* **Fundamentals of momentum, heat, and mass transfer**. 5 ed. New York: John Wiley & Sons, 2008.

ESCOAMENTO FORÇADO: TUBOS E ACESSÓRIOS

OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

A partir do estudo desta unidade, você deverá ser capaz de:

- entender os conceitos de perda de carga;
- entender os conceitos de aspersores e gotejadores;
- conhecer os tipos de sistemas de irrigação;
- entender os conceitos de sifões;
- observar a aplicação de água em irrigação por superfície em sistemas agrícolas.

PLANO DE ESTUDOS

Esta unidade está dividida em três tópicos. No decorrer dela, você encontrará autoatividades com o objetivo de reforçar o conteúdo apresentado.

TÓPICO 1 – CONDUTOS FORÇADOS

TÓPICO 2 – ORIFÍCIOS: ASPERSORES E GOTEJADORES

TÓPICO 3 – SIFÕES

CHAMADA

Preparado para ampliar seus conhecimentos? Respire e vamos em frente! Procure um ambiente que facilite a concentração, assim absorverá melhor as informações.





CONFIRA A TRILHA DA UNIDADE 2!

Acesse o
QR Code abaixo:



CONDUTOS FORÇADOS

1 INTRODUÇÃO

Neste tópico, abordaremos os conceitos de escoamento relacionados aos condutos forçados. Os escoamentos, em geral, ocupam uma boa parte no estudo relacionado aos regimes de deságue em campo agrícola e no cotidiano das operações industriais. Dessa forma, o uso das melhores práticas de escoamento auxilia no transporte adequado e uso geral da água.

Com isso, o comprimento das tubulações sempre foi um fator a ser considerado, não somente no quesito custo, mas também nas perdas operacionais que ocasionalmente podem ocorrer nesses regimes de escoamento.

Um tubo de comprimento grande torna-se um desafio para o escoamento, uma vez que a gravidade e o atrito são acentuados e, aliado aos obstáculos como curvas e acessórios, provoca uma perda operacional na energia de escoamento. Isso faz com que o fluxo não se mantenha de modo contínuo e passe a perder pressão, enfraquecendo, dessa maneira, a velocidade de escoamento.

Assim, o reconhecimento dessas variáveis operacionais fornece aos operadores as melhores condições para estabelecer escoamento e determina características e condições para que o desempenho hidráulico possa ser mantido o mais constante possível. Sendo assim, será esse o estudo que será feito ao longo desse primeiro tópico.

2 PERDA DE CARGA CONTÍNUA

Um regime de escoamento em conduto fechado é aquele que não possui um ponto de contato do fluido com a atmosfera. Nesse caso, o escoamento é garantido pelas condições de canalização, sendo o tipo de material relevante no fluxo de trabalho.

Segundo Cavalcanti (1998), uma condição econômica ideal de escoamento é aquela em que o diâmetro do tubo e seu respectivo comprimento sejam idealmente calculados para que o melhor fluxo operacional seja garantido. Isso é necessário, pois, por um lado, uma vazão em excesso pode provocar desperdícios ou danos aos processos, e, por outro lado, uma vazão fraca pode provocar atrasos ou baixo desempenho operacional.

No âmbito do campo agrícola, o escoamento em condutos forçados serve para suprir a demanda de água para os processos de irrigação, nos quais o solo é umedecido, seja no processo de plantio, ou na necessidade de terraplanagem para adequação do solo à atividade agrícola.

Assim, o escoamento deve ultrapassar os obstáculos da captação até o despejo controlado e adequado à condição operacional de tal modo que o que seja selecionado em relação à vazão possa ser, de fato, operacionalizado para o processo da lavoura.

Em regimes de escoamento forçado, o fluido sofre influência direta das paredes do tubo, gerando atrito interno. Com isso, em canalizações muito longas, o fenômeno da aderência às paredes do tubo é percebido através da queda de escoamento, ou seja, por meio da pressão que impulsiona o fluido, o que é também agravado através de inserções de acessórios como curvas, válvulas, registros ou elementos que influenciam diretamente no regime de escoamento.

Nesse sentido, Doorenbos (1988) afirma que uma característica do escoamento contínuo é o deslocamento do fluido em linha reta, mantendo-se uniformemente o fluxo sem o mínimo de turbulência. Porém, se não houver um escoamento contínuo através de um novo ganho de impulso na forma de energia hidráulica, o escoamento perde força, dando origem à aderência percebida pelo comprimento da canalização.

INTERESSANTE



O princípio da aderência de Newton exalta a fixação de partículas molhadas em uma superfície sólida. Essa aderência é o que garante que um objeto simplesmente seja molhado. Dessa maneira, quanto mais rugosa for a superfície sólida, mais aderente será o fluido nessa superfície e o sólido se tornará mais molhado. Por isso, a rugosidade do material do tubo é importante.

Os fatores que afetam diretamente a perda de carga em um sistema canalizado são o comprimento do tubo, o seu diâmetro, a sua rugosidade, as propriedades dos fluidos e os acessórios. Por isso, todos esses fatores devem ser perfeitamente previstos em um projeto que envolva escoamento de fluidos.

No caso da hidráulica agrícola, todas as tubulações podem ser dimensionadas a partir do ponto de vista da água. A água utilizada em meio agrícola é, normalmente, doce e possui, ocasionalmente, algumas partículas de sólidos, tais como areia ou pedregulhos, principalmente quando é captada de lagos, açudes e rios. Em situações desse tipo, o sistema deve prever a captura desses sólidos, principalmente se houver sistemas de bombeio, embora atualmente já se tenha equipamentos hidráulicos que suportem essa condição de escoamento sem que haja algum problema mecânico.

De acordo com Tagliaferre *et al.* (2006, p. 550),

[...] o dimensionamento adequado de um sistema de irrigação localizada requer o conhecimento sobre a perda de carga que ocorre nas tubulações de polietileno. No caso da aplicação de água residuária, deve-se levar em consideração a perda de carga proporcionada pelos sólidos totais nela presentes. Hughes & Brighton (1974) mencionaram que o escoamento turbulento da mistura de sólidos em água, em que a fase sólida não é muito dispersa, pode produzir menores coeficientes de atrito que no escoamento turbulento de água; isto ocorre porque fluidos dessa natureza apresentam perfil de velocidade mais achatado que os fluidos newtonianos adquirindo, no escoamento em tubulações, a forma de “rolha”, isto é, forma-se uma camada de fluido estacionado em torno da parede da tubulação, diminuindo o efeito da rugosidade.

Frente a isso, a perda de carga contínua pode ser estabelecida através de diversas equações e ensaios determinados através de cálculos físicos com estudos empíricos sobre o sistema. E, nesse viés, há uma adaptação do estudo de permeabilidade de Darcy para emprego em sistemas que envolvam perda de carga em regimes de escoamento em sólidos, que é o caso do escoamento em tubos retilíneos.

Assim, um modo de determinar a perda de carga é através da equação genérica para perda de carga, conforme o estipulado pela Equação 1: $H_p = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$, onde H_p é a perda de carga, f é o fator de atrito, L é o comprimento equivalente da tubulação, D é o diâmetro do tubo, v é a velocidade de escoamento e g é a aceleração da gravidade.

O fator de atrito ou fator de fricção é um valor adimensional o qual pode ser estabelecido através de algumas condições. Uma dessas condições é o regime de escoamento provocado, podendo ser laminar ou turbulento. Essa condição de escoamento pode ser determinada através da Equação 2, pela qual se obtém o número de Reynolds: $Re = \frac{\rho \cdot D \cdot v}{\mu}$, onde Re é o número de Reynolds, ρ é a massa específica do fluido, D é o diâmetro de escoamento (geralmente, é o próprio diâmetro interno do tubo, pois o escoamento é forçado), v é a velocidade média de escoamento e μ é a viscosidade dinâmica do fluido. Se o número de Reynolds for menor que 2000, o regime de escoamento será laminar. Porém, caso seja maior, o regime será turbulento.

Caso o regime de escoamento seja laminar, o fator de atrito pode ser determinado através da Equação 3: $f = \frac{64}{Re}$.

Se o regime de escoamento for turbulento, pode-se obter o fator de atrito através do gráfico de Moody ou equação de Colebrook.



Há diversas formas de se obter o fator de atrito, sendo o seu emprego usado para cada situação em específico. Desse modo, recomendamos a pesquisa para a melhor obtenção desse número adimensional para que seja o mais próximo da situação em estudo.

Segundo Eching (1998), o diâmetro do tubo segue padrões comerciais, disponíveis nos diversos catálogos dos fabricantes. Dessa forma, cabe ao profissional que irá efetuar o dimensionamento da canalização escolher o diâmetro de tubo comercial que melhor atenda ao projeto em questão. Geralmente, os diâmetros de tubos são da ordem de polegadas ou milímetros, bem como selecionados segundo uma faixa catalogada comercialmente. Em geral, os diâmetros comerciais compreendem em milímetros: 20, 25, 32, 40, 50, 60, 75, 85 e 110. No entanto, quando o diâmetro ultrapassa esses valores, o tubo deve ser encomendado sob costura o qual deve ser fabricado especialmente para determinada aplicação em específico.

A Equação 1 para perda de carga é, normalmente, empregada para uso geral quando se deseja estabelecer a perda de carga em situações que envolvam escoamento em geral. Basicamente, pode ser empregada para qualquer tipo de fluido, porém sua utilização deve ser empírica, ou seja, observada e estudada para cada caso.

Naturalmente, no campo agrícola, os conceitos de perda de carga são preestabelecidos de acordo com os fabricantes aos quais esses tubos são conectados. Assim, a distribuição de água no campo envolve um estudo de aplicação que considera a abrangência da área em questão e a força ou pressão em que é empregada. Consequentemente, tudo isso vai depender de uma série de fatores como o tipo de cultura, solo e aplicações diversas em que se utilizam as condições de escoamento como fator principal operacional para o processo de irrigação.

Segundo Vilela *et al.* (2003, p. 182),

[...] frequentemente, os projetistas de sistemas de irrigação utilizam as equações de perda de carga existentes na literatura, considerando-se os diâmetros internos das tubulações informados pelos fabricantes. Contudo, em razão desses tubos serem produzidos com materiais plásticos, seus diâmetros podem modificar-se em virtude das variações na pressão de operação. Isso poderia influenciar na perda de carga real, o que resultaria em alterações nas condições hidráulicas projetadas. As características hidráulicas de um tubo perfurado de polietileno com espessura de parede de 200 mm, para um acréscimo de pressão de 90% dentro da faixa de operação recomendada pelo fabricante, há um aumento de 10,67% no diâmetro interno da tubulação.

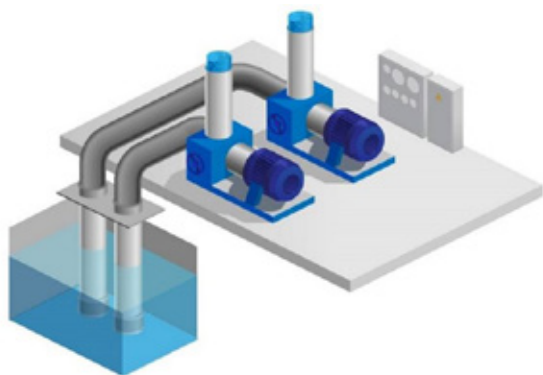
Em determinadas situações, o escoamento é utilizado não apenas para o emprego em irrigações, mas como também em situações em que há necessidade contínua de drenagem do solo. No caso da agricultura, o solo não pode ser extremamente umedecido, pois, dependendo da cultura, pode prejudicar a lavoura e o correto emprego de nutrientes estabelecidos pelas folhas ou espécie em cultivo. Sendo assim, após um criterioso estudo, o dimensionamento da quantidade de água deve maduramente ser dimensionado em quantidade ideal para a operacionalização das boas práticas de plantio. Então, havendo necessidade de drenagem contínua, inevitavelmente o processo de drenagem deve ser suficientemente dimensionado para que o solo tenha adequadas condições de plantio. Nesse caso, a tubulação cumpre um papel fundamental para o auxílio e emprego em situações que envolvam drenagem contínua e de modo constante.

Algumas equações podem ser devidamente adaptadas e tem surtido efeito positivo no emprego em determinadas situações, como, por exemplo, a Equação 3 de Hazen-Williams: $Hp = L \cdot \frac{10,641}{C^{1,85}} \cdot \frac{Q^{1,85}}{D^{4,87}}$, sendo L o comprimento equivalente de tubos retos, C o coeficiente que depende da natureza do material empregado no processo de fabricação do tubo e suas condições de paredes internas (esse valor é tabelado), D o diâmetro do tubo e Q a vazão volumétrica de escoamento.

Assim, a equação de Hazen-Williams é normalmente empregada em transporte de água e esgoto quando se deseja estabelecer essas condições de escoamento. O coeficiente C é um dado experimental que varia de 70 a 140 de modo que, quanto maior o valor, mais liso é internamente o tubo, sendo essa uma condição estabelecida pelo fabricante. Ou seja, quando se deseja efetuar o dimensionamento da perda de carga através da equação de Hazen-Williams, o fabricante do tubo deve fornecer o valor correspondente ao C ou indicar qual é a melhor condição para estabelecer a perda de carga da canalização que irá utilizar esses tubos.

De um modo geral, condutos forçados são estabelecidos por tubulações cuja pressão interna é diferente da pressão atmosférica. Alguns bons exemplos de escoamento em conduto forçado são as adutoras, interligações agrícolas entre reservatórios, instalações residenciais e prediais, tubos de sucção e recalque de bombas – como demonstrado na Figura 1 a seguir –, condutos que alimentam turbinas hidrelétricas etc.

FIGURA 1 – LINHA DE SUÇÃO DE BOMBA EM CONDUITO FORÇADO



FONTE: <https://shutr.bz/35T9Vnf>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Um fator importante para o estabelecimento das condições de escoamento é a velocidade média do fluido. Considerando que, na área agrícola, o dimensionamento das canalizações envolve o mesmo procedimento para as instalações residenciais, pode-se utilizar a norma ABNT NBR 5626, já que, em sistemas de abastecimento de água, empregam-se velocidades médias superiores a 3,5 m/s, valor ao qual definitivamente se estabelece a condição de escoamento em regime forçado.

Uma baixa velocidade de escoamento pode implicar em diversos problemas operacionais, tais como a incrustação de detritos sólidos provocando entupimentos e perdas de cargas acentuadas, retenção de ar ao longo da canalização e baixa eficiência na remoção de ar e demais partículas que eventualmente possam estar indo de encontro ao perfeito escoamento.

Para Espinoza (1980), por um outro lado, uma velocidade extremamente elevada (acima dos 0,6 m/s) pode também ocasionar diversos problemas operacionais, como cavitação em bombas, golpe de aríete e aumento da perda de carga. O fenômeno da cavitação ocorre em sistemas de sucção nos quais bolhas de ar são formadas devido à velocidade de escoamento intenso ou fraco que são implodidas no rotor de uma bomba centrífuga, causando baixo desempenho de escoamento. O golpe de aríete é o deslocamento da massa de ar devido à intensa velocidade de arraste de líquido que provoca, após sua passagem, o deslocamento de massa de ar que agride válvulas, conexões, emendas ou curvas danificando a tubulação, causando vibrações e descolamento de partes conectadas, o que pode provocar colapso no sistema de escoamento.

O ideal, em sistemas de escoamento, é que se tenha uma velocidade que esteja de acordo com o máximo que o sistema hidráulico pode fornecer, envolvendo plena eficiência e economia de energia com bombeio. Nesse caso, diz-se que o sistema de escoamento é o econômico, pois utiliza o máximo do projeto estabelecido com o mínimo de energia empregada, sendo o escoamento o mais próximo do ideal para o sistema que se deseja estabelecer.

Segundo Alencar (2006, p. 104),

[...] hoje se afiguram situações de graves conflitos ambientais quanto ao uso dos recursos hídricos em quase todas as principais bacias hidrográficas do Distrito Federal. Entre os principais problemas que têm comprometido o desenvolvimento sustentável do DF, estão: o crescimento acelerado da população e o aumento do consumo de água; a expansão da área irrigada sem estudos adequados de impacto ambiental; a contaminação das águas por agrotóxicos e por esgotos não tratados; as erosões e assoreamentos; as queimadas e desmatamentos; a construção de estradas, represas e outras obras de infraestrutura sem os cuidados previstos em lei ou sem autorização dos órgãos competentes; os loteamentos, as invasões e a ocupação desordenada de terras rurais e áreas de preservação ambiental. Para a manutenção do desenvolvimento regional sustentável, deve-se buscar o equilíbrio entre as ações voltadas para o crescimento econômico e a conservação do meio ambiente. À medida que a água se torna escassa em uma região, o conhecimento de parâmetros hidrológicos relacionados com o uso desse recurso hídrico passa a ter fundamental importância para o seu gerenciamento adequado, visando a minimizar as restrições e os conflitos pelo seu uso.

Nesse viés, Garcez (1988) afirma que todas essas informações são critérios plenamente relevantes para que se deseje estabelecer um bom projeto de transporte de fluidos. No campo da agricultura, o transporte de água tem se tornado um desafio constante para as infraestruturas locais, dependendo de lagos, cisternas, rios distantes ou qualquer outro meio em que a condição de escoamento é premissa para o plantio. Assim, não há uma fórmula ou procedimento geral para que possa se estabelecer um bom projeto de transporte de fluidos. Isso deve ser dimensionado e ajustado para cada caso em questão, cabendo fazer uso do bom senso, técnicas com embasamento teórico confiável e experiências anteriores que possam garantir o bom funcionamento operacional do sistema de irrigação ou bombeio através de sistemas de drenagem.

3 DIÂMETROS DE TUBO E DIÂMETROS EQUIVALENTES

Uma tubulação não é só estabelecida através de tubos retos. As tubulações compreendem o conjunto de tubos e seus respectivos acessórios podendo ser curvas, válvulas, uniões, registros etc. e, para a determinação dessas perdas de cargas, normalmente, utiliza-se o método do comprimento dos tubos equivalentes. Para cada acessório disponível na tubulação, este corresponde a um comprimento equivalente a tubos retos nos quais há alguns meios de dimensionamento desses tubos de acordo com sistemas de canalização.

Os comprimentos equivalentes estão relacionados à perda estipulada pelo fabricante do acessório. Essa perda envolve um ensaio experimental cujos resultados são catalogados de acordo com o material e características construtivas do acessório. Cada acessório também é chamado de singularidade.

Sendo que cada acessório significa uma perda de carga na canalização, deve-se tomar o cuidado ao selecionar esse tipo de peça. Selecionar acessórios demais significa criar mais obstáculos ao escoamento, o que pode fazer muita diferença em sistemas de bombeio. As bombas centrífugas são dimensionadas de acordo com os obstáculos que ela tem que vencer e, caso encontre muitos, deverá suprir em potência, o que faz com que o gasto de energia elétrica seja maior. Por isso, ao inserir qualquer elemento de tubulação em um projeto de bombeio, deve-se checar se a bomba selecionada atende ao novo parâmetro estabelecido quanto à perda de carga.

De acordo com Neto *et al.* (2013, p. 1313),

[n]os projetos hidráulicos de irrigação, as perdas de carga totais são contabilizadas visando a maximizar a uniformidade de distribuição de água e a selecionar um conjunto motobomba mais adequado ao sistema de irrigação, minimizar os custos anuais e de implantação do projeto. Com o uso da informática, cálculos são resolvidos com facilidade, permitindo o emprego de modelos cada vez mais complexos para o cálculo da perda de carga nos sistemas de irrigação. A elasticidade dos tubos de polietileno tende a aumentar seu diâmetro quando se eleva a pressão e, com isso, tende-se a estimar maiores perdas de carga do que aquelas que realmente ocorrem, elevando, conseqüentemente, a potência do sistema. Além do consumo energético, a pressão excessiva na linha lateral pode elevar a vazão dos emissores, fazendo com que estes operem fora das condições previstas no projeto.

Naturalmente, não são todos os diâmetros de tubos que podem ser encontrados nos catálogos de fabricante. Sendo os diâmetros selecionados de acordo com o disponível nos catálogos, os materiais (geralmente PVC) compreendem um diâmetro interno que é estabelecido a partir da subtração do diâmetro externo com duas vezes a espessura do tubo. Isso indica que, caso a especificação de diâmetro de tubo esteja fora do catálogo, deve-se dimensionar o diâmetro interno (o qual influenciará diretamente no regime de escoamento) de acordo com o determinado pelo diâmetro externo e espessura de tubo. Nessa situação, tem-se tubos não convencionais.

Assim, a utilização de acessórios e tubos não convencionais são para projetos muito especificamente aplicados para situações extremas. Geralmente, seguindo as normas para distribuição de água fria, pode-se dimensionar um conjunto de tubulação de acordo com a disponibilidade de todos os acessórios e tubos existentes no mercado.

Há muitas consultorias profissionais que prestam o serviço de dimensionamento de tubulações hidráulicas. No entanto, deve-se atentar ao conceito empregado para o desenvolvimento de projetos de irrigação ou captação de água até determinado ponto, pois o comprimento e o diâmetro da tubulação influenciam diretamente nos custos de projeto, sendo, muitas vezes, superdimensionados para o sistema que tem a necessidade do escoamento.



NOTA

Não há critério para superdimensionamento de tubos, porém, geralmente, ele é estabelecido a partir da necessidade de escoamento. Caso seja uma quantidade muito superior, no caso em específico da agricultura, pode ocasionar sérios prejuízos e desperdícios a curto prazo.

Em se tratando de diâmetros equivalentes, os dados tabelados são substituídos nas equações de perda de carga, geralmente pela letra D, como nas Equações 1 e 3. Então, basta efetuar a somatória dos valores relacionados aos diâmetros equivalentes e submeter ao cálculo real.

Difícilmente, uma tubulação não tem acessórios, pois o sistema de canalizações geralmente possui curvas, válvulas ou registros que servem para o controle do fluxo ou acomodação da tubulação em determinada estrutura.

RESUMO DO TÓPICO 1

Neste tópico, você adquiriu certos aprendizados, como:

- O escoamento em conduto forçado é aquele que ocorre em um sistema em que não há contato a atmosfera.
- O escoamento em conduto forçado serve para suprimir a demanda por água nos sistemas de irrigação da lavoura, na área agrícola.
- Os tubos possuem uma perda de pressão devido à rugosidade interna e comprimento, resultando no que se chama de perda de carga.
- O fluido utilizado no escoamento para os sistemas de dimensionamento é a água e devem ser determinados todos os cálculos a partir dessas propriedades físicas.
- Uma tubulação é composta por tubos e acessórios, sendo que cada peça, embora fundamental para o funcionamento operacional, representa obstáculos ao escoamento.
- Um dos vários métodos para determinação de perda de carga é o do comprimento equivalente, através da equação de Hazen-Williams.

AUTOATIVIDADE



- 1 A perda de carga contínua é empregada em tubos cuja dimensão representa linhas retas, juntamente com acessórios e curvas que contribuem para que a pressão de escoamento seja reduzida. Sobre esse contexto, assinale a alternativa correta:
- a) ☐ A perda de carga pode ser estimada por equação que envolve os desníveis e formas de energia de escoamento.
 - b) ☐ A perda de carga só é dimensionada através de tubos rugosos.
 - c) ☐ A perda de carga é um efeito apenas em tubulações retas de sucção em motobombas.
 - d) ☐ A irrigação agrícola não utiliza tubos rugosos, sendo a perda de carga desprezível.
- 2 Para a determinação de um regime de escoamento, pode-se empregar a equação de Reynolds uma vez que estipula se o regime é laminar ou turbulento. Isso irá depender de uma faixa de valores que será analisado a partir do resultado da equação. Com base nas definições de Reynolds, analise as afirmativas a seguir:
- I- O escoamento será laminar se o número de Reynolds for menor do que 2000.
 - II- O escoamento será turbulento se o número de Reynolds for menor do que 2400.
 - III- O escoamento será turbulento se o número de Reynolds for 5000.

Assinale a alternativa correta:

- a) ☐ As afirmativas I e II estão corretas.
 - b) ☐ Somente a afirmativa II está correta.
 - c) ☐ As afirmativas I e III estão corretas.
 - d) ☐ Somente a afirmativa III está correta.
- 3 O diâmetro de tubos segue uma tabela comercial ao qual os projetos devem estar mais adequados e disponíveis com os materiais que têm no mercado. Quanto aos materiais dos tubos, esses devem estar adequados ao tipo de operação e, geralmente, na agricultura, são de PVC. De acordo com esse contexto, classifique V para as sentenças verdadeiras e F para as falsas:
- ☐ Se o diâmetro do tubo for acima da tabela comercial, deverá ser encomendado.
 - ☐ Não há tubos fora daquilo que é o especificado como comercial.
 - ☐ Os parâmetros comerciais são estabelecidos através de normas e demandas de venda.

Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta:

- a) () V - F - F.
- b) () V - F - V.
- c) () F - V - F.
- d) () F - F - V.

- 4 Os acessórios são dispositivos que são inseridos nos tubos para controlar o fluxo e vazão de irrigação, sendo necessários para que atividades de operação e manutenção possam ser efetuadas de modo controlado. Disserte sobre o uso de acessórios em tubos de irrigação.
- 5 O desnível em tubulações pode contribuir significativamente para o aumento da perda de carga. Nessa situação, deve-se avaliar a necessidade de bombeio para auxiliar o vencimento dos desníveis e recalques de terreno. Sob esse contexto, disserte sobre o posicionamento dos tubos de irrigação.

ORIFÍCIOS: ASPERSORES E GOTEJADORES

1 INTRODUÇÃO

Nesse tópico, abordaremos os conceitos da irrigação localizada. Os aspersores e gotejadores são tipos de orifícios empregados nas canalizações de irrigação justamente para empregar água em um local específico no plantio.

O dimensionamento de aspersores e gotejadores é o mesmo empregado no conceito de orifícios em tubulações de escoamento, utilizando as técnicas da hidráulica para o desenvolvimento da agricultura de precisão.

Veremos também, nesse tópico, quais são os parâmetros a serem considerados para adotar a irrigação localizada e os sistemas de irrigação, como avaliar um sistema de irrigação localizado e efetuar o sistema de manutenção.

Portanto, o emprego da tecnologia é fundamental para o dimensionamento de sistemas hidráulicos aliado às boas práticas de precisão, o qual deve ser explorado a rigor dentro do conceito de dimensionamento dos aspersores e gotejadores.

2 ASPERSORES E GOTEJADORES

A irrigação localizada consiste em aplicar água em uma determinada quantidade e precisão em uma determinada lavoura. Através desses sistemas, como pode ser verificado na Figura 2 a seguir, utilizam a água de modo preciso e econômico para o emprego correto da hidratação do solo e das plantas.

FIGURA 2 – IRRIGAÇÃO LOCALIZADA



FONTE: <https://shutr.bz/3whxQam>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Na irrigação localizada, a água é aplicada diretamente nas raízes da planta, de tal modo que todo o sistema seja automatizado. Esse método se torna eficiente e sofisticado, levando em consideração que se exige mais cuidado com o plantio e com o desenvolvimento da cultura. Assim, esse sistema não é só o mais econômico, mas também o mais ambientalmente correto.

Operacionalmente, o método da irrigação localizada ocorre em baixa pressão e vazão de água, sendo algumas vezes sistemas fixos, porém, devido ao sistema de automação, os custos são relativamente elevados. Porém, a economia com água e energia (muitas vezes escassos no campo) compensam os custos de implantação desse sistema, uma vez que há relativa equivalência entre as partes operacionais e o ganho esperado com o sistema.

Segundo Oliveira (2010, p. 888),

[...] é importante destacar que não existe um método melhor que o outro em relação à fisiologia da planta, porém eles diferem na sua adaptabilidade em relação às condições locais de solo, topografia, clima, cultura, qualidade de água, fatores econômicos e determinadas influências externas e agronômicas. Cada sistema apresenta suas vantagens e desvantagens. Independentemente do sistema de irrigação utilizado, a literatura é unânime ao enfatizar a importância de se controlar adequadamente a aplicação, otimizando o custo de água e energia e de outros fatores envolvidos na condução de uma cultura irrigada. Na agricultura irrigada, uma produção eficiente e rentável deve constituir o principal objetivo econômico, buscando sempre receitas maiores que os custos ou, no mínimo, que as receitas e despesas sejam iguais. Desta maneira, é importante conhecer o grau de risco envolvido na aquisição de novas tecnologias. Estes riscos são decorrentes de incertezas econômicas proporcionadas pela variação do preço de venda do produto, taxa de juros, custos

da água, vida útil do sistema de irrigação e taxa de manutenção ocorrida com o manejo do sistema de irrigação, bem como variação na produtividade ao longo dos anos.

Dessa forma, um método muito utilizado na agricultura localizada é o de gotejamento e o de microaspersão ou, simplesmente, aspersão. Esses sistemas têm como premissa o dimensionamento de filtros que evitem o entupimento das saídas dos emissores. Assim, todo conjunto de irrigação localizada desse tipo compreende: sistema de bombeamento ou captação, medição de vazão, tubulação, cabeçote de controle com sistemas de injeção de fertilizantes e filtração, medição de pressão através de manômetros, registros e válvulas, tubos de distribuição, emissão lateral com linhas e os emissores (aspersores e gotejadores).



DICA

Consulte na internet os aspersores e gotejadores não convencionais. Há diversos trabalhos acadêmicos sobre o emprego desses sistemas de modo não profissional em que a utilização de pequenos sistemas automatizados com placas Arduino empregam muito bem o conceito.

Os sistemas de bombeamento são necessários uma vez que os métodos de aspersão e gotejamento são efetuados por meio de pressurização de água através de canalizações de recalque. No quesito dimensionamento, não há diferença para o estabelecimento desses sistemas em razão do deslocamento de fluido de uma localidade para outra.

Segundo Sousa (1999), a medição de vazão deve ser efetuada através de medidores devidamente calibrados e estabelecidos de acordo com a funcionalidade na aplicação desses sistemas de vazão. Em decorrência da dosagem correta de água, os medidores de vazão contribuem para que se possa determinar qual é a quantidade de água por tempo que o sistema de irrigação precisa de acordo com as necessidades do solo. Inevitavelmente, deve-se prever possíveis pequenas variações nos medidores, sendo essas pequenas margens de erro já previstas pelos fabricantes. Dessa maneira, os medidores de vazão devem ser instalados em tubos retos, longe de curvas, conexões, ligações e demais acessórios, pois isso pode fazer com que o erro seja absurdamente propagado, levando a equívocos grosseiros de leitura. Naturalmente, um equipamento de boa procedência deve ter indicações do fabricante de onde é melhor efetuar o processo de instalação.

O cabeçal ou cabeçote de controle é um sistema que compreende a filtração e a inserção de fertilizantes em mistura com a água. Assim, a dosagem é feita através dos acessórios instalados na tubulação composta geralmente por: válvula de retenção, filtros, injetores de produtos químicos, manômetros e tanques de mistura.

Por sua vez, as tubulações que compõem o sistema de aspersão e gotejamento são geralmente de PVC, porém as linhas laterais podem também ser de polietileno. Nos sistemas de gotejamento, as linhas que são laterais (os tubos gotejadores) podem possuir paredes mais grossas ou finas.

Já os medidores de pressão (manômetros) são essenciais para controle e aferição da pressão nos gotejadores e aspersores. A diferença ocasionada pela pressão pode contribuir operacionalmente no desentupimento de tubos, identificação de vazamentos, manutenção de filtros etc.

Segundo Maldonado (2015, p. 403),

[...] a água doce é um recurso essencial no uso doméstico, industrial e agrícola. Como o consumo global de água dobra a cada 20 anos, mais de duas vezes a taxa de crescimento da população, e com o aumento das taxas de poluição e sobre-exploração, a disponibilidade de água em muitas regiões do mundo tem reduzido. Nesse contexto, a quantificação e o gerenciamento quali-quantitativo dos recursos hídricos disponíveis tornam-se de primordial importância. A aquisição de dados fluviométricos depende de campanhas de campo, em geral custosas, e se os procedimentos não forem seguidos de modo correto e rigoroso, os resultados não terão a precisão adequada. Deste modo, torna-se cada vez mais importante o conhecimento do real valor de uma das mais básicas variáveis hidrológicas: a vazão. Os métodos de medição de vazão foram desenvolvidos, inicialmente, a partir do Renascimento, com medições de velocidades superficiais em rios realizadas por Leonardo da Vinci (1452-1519) com flutuadores. Como a vazão não pode ser determinada de um modo direto em rios, é necessário estimá-la por intermédio de variáveis possíveis de se medir, como largura e profundidade do canal e velocidade do fluido.

Atualmente, as válvulas e registros controlam o fluxo de água e suas respectivas distribuições. Normalmente, em um sistema de irrigação localizado, encontram-se válvulas do tipo esfera, borboleta, gaveta, hidráulica, alívio de pressão e de ar.

Nos tipos de irrigação por aspersão e gotejamento, os emissores cumprem papel fundamental. O que diferencia esses sistemas de irrigação são justamente esses dispositivos emissores. No caso do sistema por gotejamento, são instalados gotejadores, conforme a Figura 3, ao longo de uma linha de tubulação, chamados tubos gotejadores aplicando vazões de 0,5 a 10 litros por hora.

FIGURA 3 – TUBO GOTEJADOR



FONTE: <https://shutr.bz/3tckQkr>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Os sistemas de gotejamento são empregados em vários processos do nosso dia a dia, como nos equipamentos de aplicação de soro hospitalar, bombas peristálticas em dosagem de produtos químicos industriais etc. Esse conceito explicita a aplicação dosada de quantidade de líquido em um determinado sistema. Dessa forma, a agricultura de precisão tem sido desenvolvida constantemente graças aos sistemas de gotejamento por meio dos quais a engenharia agrícola pôde desenvolver métodos de aplicação exata de quantidades de água.

Os sistemas aspersores, como indicado na Figura 4, normalmente são empregados quando a agricultura é do tipo pomar ou árvores com espaçamento largo. Eles apresentam maiores orifícios do que os de gotejamento, requerendo não tantas condições de filtragem. Entretanto, um problema que ocorre nesse meio de irrigação diz respeito aos desgastes dos bocais de saída de água devido à elevada pressurização. Além desse, outro problema comum é a ação do vento que provoca desuniformidade na irrigação. Desse modo, é importante observar as condições do vento ao se efetuar esse sistema de irrigação.

FIGURA 4 – ASPERSOR DE IRRIGAÇÃO



FONTE: <https://shutr.bz/3l8sWix>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Dentre as vantagens no uso de aspersores estão a economia de água, economia de mão de obra, controle de fluxo para aplicação de água e melhor preparo do terreno. Quanto às desvantagens, aos quais se referem às maiores limitações, estão os elevados custos de implementação inicial, a ação do vento, favorecimento do desenvolvimento de algumas doenças nas plantas, necessidade de filtragem rigorosa da água e o selamento do solo pela superfície.

Tucci (1993) explica que os sistemas de irrigação por aspersão são classificados de acordo com o emprego na área, podendo ser:

- **portátil:** as linhas se deslocam na área irrigada, onde a superfície é dividida em parcelas e aplicada diretamente nos vegetais;
- **semifixo ou semi-portátil:** as linhas principais e secundárias se deslocam nas posições da área irrigada;
- **fixo permanente:** as tubulações são enterradas e apenas os registros e aspersores afloram à superfície do terreno;
- **fixo temporário:** nessa situação as tubulações não são enterradas, sendo dispostas na superfície do terreno.

Além disso, os aspersores podem ser de giro normal com 360° ou setorial, sendo utilizados em áreas periféricas.

Portanto, elaborar um projeto de irrigação por aspersão envolve muitas informações importantes de acordo com o rendimento esperado. Deve-se efetuar, basicamente, um estudo de recursos disponíveis, disposição do sistema de campo e o dimensionamento do sistema, levando em consideração o dimensionamento das linhas laterais, linha principal, conjunto motobomba e sistema de tubulação. Cada sistema agrícola irá exigir uma demanda por irrigação por aspersão de tal modo que esse sistema deve ser adequado a atender a quantidade de culturas disponíveis e a extensão do terreno no qual será empregada a aspersão.

Conforme Paz (2002, p. 404),

[...] a minimização das perdas econômicas, ou redução da receita líquida, está relacionada à uniformidade de distribuição de água pelo sistema, ao preço do produto e ao custo da irrigação. Sistemas de irrigação que não apresentam boa uniformidade de distribuição de água não são apropriados quando o objetivo é o máximo retorno econômico. A operação ótima dos sistemas de irrigação baseada nas estratégias de otimização econômica para maximização da receita líquida proporciona níveis adequados de eficiência de aplicação, eficiência de armazenamento e área adequadamente irrigada. A uniformidade de distribuição, o custo da água e o valor pago pelo produto são fatores determinantes para a otimização de sistemas de irrigação, quando o objetivo é a maximização da receita líquida e a economia do recurso hídrico.

Assim, os sistemas de aspersão mecanizados têm a finalidade de utilizar menos mão de obra quando se deseja movimentar tubulações. Há diversos sistemas mecanizados, dentre os quais se destacam os de linha lateral autopropelida, aspersores autopropelidos e montagem direta. A disponibilidade dessa tecnologia e o seu emprego estarão de acordo com os recursos financeiros disponíveis para esse tipo de projeto.

3 SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO: TIPOS E PRINCÍPIOS

Os métodos de irrigação consistem em se aplicar água sobre uma superfície de terreno com a finalidade de desenvolver uma cultura. No tópico anterior, vimos dois métodos em específico de irrigação: gotejadores e aspersores. Desse modo, os sistemas de irrigação compreendem uma grande gama de aplicações conforme a necessidade e o desenvolvimento do estudo efetuado pelos produtores agrícolas.

Atualmente, as escolas que estudam as agriculturas têm se ocupado na descoberta de um desenvolvimento agrícola mais eficiente e que ofereça bons ganhos. Dessa forma, o emprego da água de modo correto envolve economia de recursos e mais expansão de lucro. No entanto, um fator que sempre atrapalhou a área agrícola é a demora e a incerteza relacionadas ao tempo de colheita.

Costa (1986) afirma que, em determinadas regiões do Brasil, a inviabilidade na captura de água torna terras ricas e produtivas em improdutivas. Assim, cada vez mais associado aos problemas ambientais e ocupação irregular do solo, falta mais água o que faz com que a irrigação do solo tenha se tornado uma atividade muito desafiadora, envolvendo o desenvolvimento de diversas técnicas inovadoras e auxílio de inovação tecnológica.

Por isso, quando o investimento em tecnologia é efetuado de modo acentuado, novos ganhos são estabelecidos em relação ao desenvolvimento da cultura agrícola. Porém, não são todos os produtores do Brasil que possuem essa capacidade de investimento, uma vez que os equipamentos são caros e importados a preço de dólar (geralmente mais valorizado do que a moeda brasileira).



INTERESSANTE

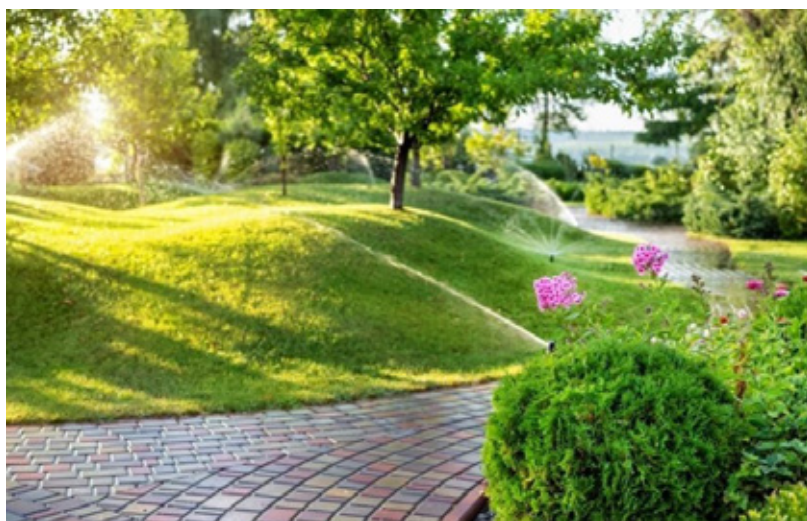
Para amenizar os custos e incertezas quanto à produção e plantio, muitos produtores se associam em cooperativas, pois, com essa estratégia, conseguem firmar parcerias importantes e reduzir o custo de aquisição de equipamentos, uma vez que o capital se torna maior quando os membros estão associados em uma corporação colaborativa.

Todo processo de irrigação envolve planejamento adequado quanto à captação e estratégias para a busca da água. Logo, o sistema ideal será aquele que atende a cultura e os que estão relacionados à economia de captação de água, salvo limitado à utilização de tecnologia.

Nesse sentido, pode-se dividir o sistema de irrigação em dois: localizada e por superfície. A irrigação localizada envolve aplicação de água dosada e controlada, reduzindo a superfície de solo molhado onde ocorrem menos perdas por evaporação. Assim, a eficiência desse sistema é bem maior, pois a economia gerada compensa os investimentos iniciais, principalmente em regiões onde a captação de água é menos favorecida.

Na irrigação por superfície (atualmente muito empregada em cultura de cereais e grãos), a água circula por gravidade no terreno com a parte central mais elevada do que as plantas. Sendo assim, a água desce por gravidade através de um canal mestre que abastece os demais. Esse tipo de irrigação pode ser verificado na Figura 5 a seguir.

FIGURA 5 – IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE



FONTE: <https://shutr.bz/37A7TJ5>. Acesso em: 10 mar. 2022.

A irrigação por superfície utiliza muito mais água do que a localizada e molha muito o solo. Desse modo, requer certa abundância de água de tal modo que supra as necessidades da cultura cultivada. Os grãos em geral, como os cereais, requerem muita água para cultivo, o que torna essa espécie agrícola um fator econômico muito importante que, inclusive, mexe com a bolsa comercial, sendo isso uma *comodity*.

De acordo com Fontaneli (2000, p. 2132),

[...] a manutenção de um sistema produtivo e estável por longo prazo requer o atendimento de outra necessidade fundamental, que é a proteção do solo com restos culturais. Essa prática, no sul do Brasil, torna-se difícil de ser atingida usando-se apenas culturas produtoras de grãos, principalmente no inverno, devido, por exemplo, à menor capacidade competitiva do trigo brasileiro, em alguns períodos, no mercado internacional. Uma opção como a canola é, ainda, incipiente. A região sul-brasileira produtora de grãos tem grande oportunidade de aumentar a lucratividade através da engorda de bovinos de corte na entressafra. Nesse período, os preços aumentam em decorrência da redução da oferta de boi gordo, em razão da escassez de boas pastagens. Destaca-se que a base forrageira da pecuária de corte sul-brasileira é a pastagem nativa, formada basicamente de espécies que crescem bem durante a primavera-verão, mas entram em dormência ou produzem muito pouco, devido às baixas temperaturas e geadas que queimam as pastagens, durante os meses de inverno; como consequência, os animais perdem peso e ocorre significativa taxa de mortalidade.

Assim, o sistema de irrigação por superfície é o mais antigo utilizado e ele pode ser empregado através de duas possibilidades: inundação e sulcos. No sistema de inundação, a água é aplicada em toda a superfície do solo, formando quase um lago de cultivo. Esse sistema é empregado na plantação de arroz e raízes. Já nos sistemas formados por sulcos, é empregada água somente nos espaços vazios em linha reta ao longo da superfície do solo.

Dourado Neto (1996) afirma que a vantagem da aplicação de irrigação por superfície é que é extremamente fácil e exige pouco ou nenhum recurso tecnológico, além de não ser afetada pelos ventos, bem como a qualidade da água não precisar ser um fator muito relevante. Também não requer sistemas de filtragem para que possa ter operacionalidade. Já como desvantagens, cita-se a necessidade de áreas planas, nas quais se deve realizar o nivelamento do terreno (e, muitas vezes, isso não é possível). Há também risco de erosão no solo, assim como o excesso de água pode trazer doenças e estresse às plantas e ao solo.

Dessa maneira, os tipos de irrigação e de cultura a serem escolhidos vão depender de uma série de fatores. Dentre esses fatores, pode-se considerar:

- **cultura:** utilização e método, qual irá se adaptar melhor, demanda;
- **solo e topografia:** textura do solo, velocidade de infiltração da água no solo, necessidade de nivelamento;
- **clima:** definição do clima da região (seco ou úmido), época e necessidade de água;
- **água:** disponibilidade e necessidade de construção de reservatórios.

Assim, é importante que a escolha do sistema de irrigação seja efetuada com estudos e definição clara da cultura cultivada. Nesse sentido, uma premissa principal para o início de qualquer processo de plantio é justamente a escolha do tipo de cultura, o desenvolvimento das propriedades do solo (tornando-o mais ideal possível para o plantio) e a criação de novas áreas de conhecimento e tecnologia.

O conhecimento de novas técnicas de plantio sempre deve ser uma constante para o desenvolvimento de qualquer cultura agrícola. Desde os primórdios da humanidade, a necessidade de água sempre se fez presente, seja para própria subsistência do homem, seja para o desenvolvimento da agricultura. Logo, nenhum solo ou região será melhor para o plantio se não tiver disponibilidade de água. Por isso, a engenharia agrícola se debruça diariamente para o desenvolvimento de novas técnicas de plantio e disseminação do conhecimento para o desenvolvimento agrícola, pois, cada vez mais, a demanda por alimentos aumenta e isso dá esperança a muitos pequenos produtores que desejam efetuar a expansão dos seus negócios. E tudo isso se deve a disponibilidade de água.

Conforme Furtado (2003, p. 168),

[...] a cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado é a maior consumidora agrícola de água em nível mundial e, em particular, no Rio Grande do Sul, devido ao grande percentual de áreas cultivadas por esta cultura serem irrigadas, provoca impactos desconhecidos sobre o meio aquático. O carreamento de nutrientes, tais como nitrogênio, fósforo e potássio e de agrotóxicos, que são lixiviados e conduzidos para o sistema de drenagem, origina a perda de recursos materiais e financeiros e agride a natureza, pois esses nutrientes e os defensivos agrícolas podem contaminar o meio ambiente, afetando as populações que fazem uso das águas dos corpos receptores. As principais técnicas de plantio do arroz no Rio Grande do Sul, são: plantio convencional, que consta do preparo do solo com aração e várias discagens, ou seja, uma movimentação muito intensa da camada superior do solo; plantio direto com pouca movimentação do solo e bem antecipado ao plantio, com o objetivo de usar um herbicida de ação total sobre o banco de inços que germinara no período entre o preparo do solo e o plantio e o plantio pré-germinado.

Assim, os sistemas de captação de água sempre devem estar disponíveis aos métodos de irrigação. E essa escolha e captação também devem ser efetuadas de modo muito criterioso de modo a viabilizar todo o tipo de plantio possível.

Naturalmente, as regiões em específico também devem contribuir economicamente para o desenvolvimento de novos métodos de irrigação. Sendo o Brasil um país de tamanho continental, o desenvolvimento da agricultura está muito fortemente ligado à cultura local e às novas técnicas de plantio e irrigação, que, por sua vez, devem contribuir para a criação de novas possibilidades de desenvolvimento do negócio.

Desse modo, cada lavoura é uma possibilidade de ganho diferente, porque de nada adianta um pequeno produtor querer ganhar lucros atuando sozinho em sua área, pois cada vez mais se faz necessário o desenvolvimento de novas parcerias de mercado para que a competição seja mais favorável ao desenvolvimento econômico. Logo, é importante um estudo contínuo de desenvolvimento de cultura de irrigação e negócio em estágios profissionais para que não somente ocorra o progresso social do campo, mas também toda uma cultura enraizada há muitos anos não se perca no desenvolvimento de novas perspectivas do campo.

Por isso, a irrigação tem se tornado uma atividade atrativa no campo da pesquisa. Os jovens estudantes têm proposto muitas ideias em pequenos protótipos de automação para que essa atividade possa se tornar cada vez mais viável. Assim, basta incentivar essas ideias e colocá-las na prática em campo real em grande escala para que novas fronteiras se desenvolvam, principalmente no desenvolvimento da soja, que é um potencial comercial elevado para o Brasil.

De acordo com Kuss (2008, p. 1134),

[...] a soja tem sido usada como uma alternativa para rotação de culturas nas lavouras irrigadas, sendo, nestes casos, semeada principalmente após a época recomendada. Nessas condições, ela apresenta perdas de rendimentos por estar exposta a fatores que podem ser limitantes à produtividade da cultura. A possibilidade de irrigação e o ajuste no arranjo de plantas poderão amenizar eventuais prejuízos de uma semeadura tardia. Os dois períodos mais sensíveis da soja à falta de água no solo são germinação e enchimento de grãos porque envolvem diretamente a formação dos componentes do rendimento. Uma melhor distribuição do arranjo de plantas na área resulta em acréscimo do rendimento de grãos e está associada a vários fatores, como o melhor uso da água devido ao fechamento mais rápido do dossel vegetativo, o maior sombreamento do solo, a melhor distribuição de raízes, a redução da competição intraespecífica, a maior habilidade na competição com plantas daninhas, a exploração uniforme da fertilidade do solo e a maior e mais rápida interceptação da radiação solar.

Com isso, o uso adequado da técnica de irrigação contribui para o aumento da produtividade e contribui para a redução das perdas na produção. Também é possível atenuar as perdas pela acentuação do clima e auxílio na aplicação de insumos. No Brasil, o desenvolvimento agrícola através da irrigação está presente em todas as localidades, fazendo com que cada região seja dona de uma safra produtiva e eficaz para o abastecimento nacional e internacional. Portanto, escolher o método de irrigação envolve processos também econômicos os quais devem ser efetuados de modo criterioso e técnico.

RESUMO DO TÓPICO 2

Neste tópico, você adquiriu certos aprendizados, como:

- A irrigação localizada é a aplicação de água através de sistemas aspersores e gotejadores com a finalidade e eficiência na irrigação.
- Os gotejadores são sistemas automatizados que efetuam o gotejamento da água através de tubos laterais que inserem água diretamente na raiz da planta.
- Os aspersores são sistemas de irrigação que utilizam o espalhamento de água em culturas como pomares e árvores, favorecendo o espalhamento de água.
- Os sistemas de irrigação por superfície são os mais antigos e empregados em situações com abundância de água, podendo ser inundados ou por sulcos.
- O desenvolvimento econômico da agricultura depende diretamente do estudo de sistemas de irrigação que torna viáveis os processos de cultura agrícola.
- A economia é diretamente influenciada pelo desenvolvimento agrícola, já que a falta de água pode provocar colapso na balança comercial.
- A escolha do melhor sistema de irrigação envolve critérios técnicos com base no tipo de região e cultura cultivada.

AUTOATIVIDADE



1 Os sistemas de irrigação localizada contribuem significativamente para a economia de energia e distribuição correta da dosagem de água diretamente na localidade das plantas. Esse sistema é automatizado e controlado através de parâmetros de operação. Sobre a irrigação localizada, assinale a alternativa correta:

- a) ☐ A irrigação localizada faz parte da agricultura de precisão, requerendo certa infraestrutura.
- b) ☐ O desenvolvimento da irrigação localizada requer baixo nível de automação e controle.
- c) ☐ Não há necessidade de tratamento de água, representando isso uma vantagem no uso desse tipo de irrigação.
- d) ☐ Os custos iniciais de implementação da agricultura localizada são bem baixos.

2 Os aspersores têm a vantagem de efetuar o espalhamento da água através de uma superfície de modo automatizado e localizado. O seu acionamento depende da necessidade de implementação das chuvas que, em determinadas regiões, são escassas. Com base nesse contexto, analise as afirmativas a seguir:

- I- Os aspersores envolvem o emprego de pouca água, o que gera grande economia na irrigação.
- II- Em situações de clima úmido, o emprego de aspersores pode representar um ganho ainda mais significativo.
- III- Os aspersores sofrem ação do vento, acentuando desperdícios em algumas aplicações.

Assinale a alternativa correta:

- a) ☐ As afirmativas I e II estão corretas.
- b) ☐ Somente a afirmativa II está correta.
- c) ☐ As afirmativas I e III estão corretas.
- d) ☐ Somente a afirmativa III está correta.

3 Os gotejadores são um meio de aplicação de água eficiente através de linhas laterais, uma vez que, com uma certa automação, a planta é corriqueiramente irrigada até a raiz, com significativa economia de água. O emprego desse sistema possibilitou uma revolução na lavoura, pois a água em quantidade correta pôde ser empregada associada à periodicidade de aplicação de defensivos agrícolas, facilitando o controle e dosagem desse componente. Sobre esse contexto, classifique V para as sentenças verdadeiras e F para as falsas:

- () Os gotejadores são o meio de irrigação localizada mais complexo de se empregar.
- () Os gotejadores são meios automatizados de se aplicar defensivos agrícolas fortes.
- () O custo inicial de instalação de gotejadores é um tanto elevado.

Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta:

- a) () V - F - F.
- b) () V - F - V.
- c) () F - V - F.
- d) () F - F - V.

- 4 Os tipos de irrigação envolvem o emprego sistematizado de aplicação de água através das condições atuais do terreno, sendo o seu dimensionamento levado em conta de acordo com fatores climáticos e econômicos. A escolha do tipo de irrigação envolve uma série de fatores operacionais e climáticos, não somente do ponto de vista do agricultor, mas também da cultura cultivada. Disserte sobre os sistemas de irrigação empregados em solos úmidos.
- 5 A irrigação localizada representa um pequeno processo de automação na aplicação de água, sendo o início do processo de mecanização e automatização de atividades do campo. Esse gerenciamento pode ser efetuado reduzindo mão de obra. Conforme a tecnologia vai se desenvolvendo, a tendência é que a disponibilidade desse recurso tecnológico fique mais em conta. Neste contexto, disserte sobre a mecanização e a irrigação agrícola.

SIFÕES

1 INTRODUÇÃO

Neste tópico, abordaremos os fundamentos de sifões. Naturalmente, isso não se limita àquele dispositivo utilizado nas pias e lavatórios residenciais, mas mais do que isso, é um conceito.

Dessa forma, o escoamento em conduto forçado envolve o uso e aplicação de distribuições de ramais de água. Esses ramais, por sua vez, compõem o conjunto de tubos que são distribuídos para melhor processo de irrigação. Assim, o deslocamento gravitacional da água favorece o escoamento e utiliza menos sistemas de bombeio, podendo esse sistema ser empregado em situações em que a energia elétrica é indisponível.

Abordaremos também a irrigação por superfície, fornecendo mais fundamentos práticos dessa aplicação de irrigação para o desenvolvimento agrícola. Em grande parte do Brasil, a irrigação ocorre através da distribuição de água superficial.

2 CONCEITOS DE SIFÕES

O conceito de sifão é empregado em condutos forçados. Essa ideia provém de deslocamento sob linha de pressão. Dessa forma, em condições reais, o escoamento de um tubo ocorre se houver condições gravitacionais para que haja deslocamento.

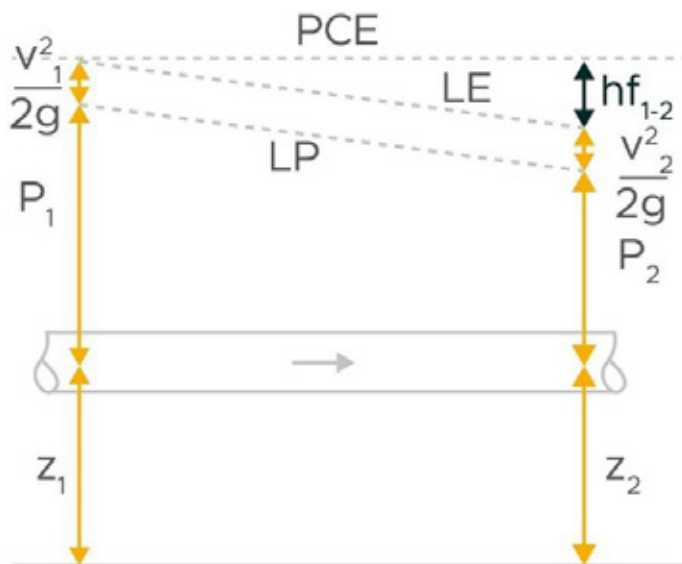
Para efetuar uma análise de escoamento, deve-se traçar uma linha imaginária de referência, chamado plano de referência. Esse plano, que também é chamado de plano de carga efetivo, é a linha que marca a altura da carga inicial (no caso, a água), através de seções de movimento sucessivas. Assim, cada extremidade do tubo forma uma linha piezométrica como se fossem colunas de água. Sendo assim, para que ocorra escoamento, é necessário que haja pressão adequada e que a água tenha energia para escoar. Essa energia pode ser quantificada através da Equação 4 de Bernoulli:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + hf.$$

As relações $\frac{v_1^2}{2g}$ e $\frac{v_2^2}{2g}$ são as respectivas energias cinéticas nos pontos 1 e 2 dos tubos e $\frac{P_1}{\gamma}$ e $\frac{P_2}{\gamma}$ são as colunas piezométricas. As grandezas z_1 e z_2 são as cotas de pressão, enquanto hf é a perda de carga na canalização.

A Figura 6 mostra a aplicação da relação de escoamento em um tubo de seção qualquer.

FIGURA 6 – APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO DE BERNOULLI EM DUAS SEÇÕES



FONTE: Adaptado de Santos (2022)

O escoamento ideal em um tubo será aquele em que a linha de energia (LE) está abaixo do plano de carga efetivo (PCE), assim como a linha piezométrica (LP). Com isso, quando há aplicação de acessórios, existe a possibilidade de que essas linhas se alterem ao longo do trecho. De certo modo, para que sejam traçadas, deve-se conhecer as condições de pressão, velocidade e cargas na posição no trecho em estudo e, por isso, as águas residuárias requerem um pouco de atenção nesses sentidos.

De acordo com Carvalho (2008, p. 88),

[...] a utilização de águas residuárias para a irrigação ou tratamento deverá consistir em fator econômico fundamental para o produtor, já que a água captada em lagos e rios passará a ser taxada, de acordo com a nova legislação sobre o uso da água em todos os estados brasileiros. Entretanto, projetos de irrigação ou de tratamento de águas residuárias requerem dados técnicos referentes à situação encontrada na prática. O tipo de fluido e, consequentemente, a sua perda de carga em tubulações são fundamentais no dimensionamento das tubulações e das bombas desses sistemas, uma vez que a altura manométrica representa a energia fornecida ao líquido suficiente para vencer o desnível geométrico e as perdas de carga ocorridas ao longo do percurso. As características hidráulicas do escoamento de águas residuárias nas tubulações são praticamente desconhecidas, podendo levar técnicos a cometerem erros consideráveis no dimensionamento de sistemas de bombeamento. Existem poucos trabalhos que abordam detalhadamente o assunto, provavelmente devido ao grau de complexidade envolvido, por se tratar de um fluido com comportamento diferente da água.

Para traçar a linha de carga, é necessário determinar todos os obstáculos da canalização desde o local de captação de água até o ponto de irrigação. A partir daí, tem-se um gráfico conceitual que pode ser empregado para disponibilização física dos tubos de acordo com suas condições de pressão.

O sifão corresponde ao conduto forçado cujo ponto fica acima do plano de carga efetivo. Para que haja um escoamento, é necessário encher previamente esse conduto com água (escorvar) através de um processo de aspiração por uma das extremidades do tubo. Quando a água entra no tubo, o desnível provoca o deságue da água até a saída. Assim, a pressão com que sairá depende da altura do tubo acima do plano de carga efetivo.

Um processo semelhante de sifonagem é quando há necessidade de captação de combustível através de um tanque de combustível de veículo. Nesse caso, insere-se uma mangueira dentro do tanque e, após efetuar a sucção na extremidade de saída, o combustível começa a sair espontaneamente até ser interrompido. Esse fato pode ser observado na Figura 7 a seguir.

FIGURA 7 – EFEITO DE SIFONAÇÃO DO COMBUSTÍVEL



FONTE: <https://shutr.bz/3ibq21L>. Acesso em: 10 mar. 2022.

As condições de escoamento de um sifão obedecem a equação de Bernoulli (Equação 4):

- aplicação da equação no ponto situado acima do nível de água, de um reservatório ou ponto de captação ao ponto de saída, pois, desse modo, a velocidade média do fluido deve ser positiva, desde que a boca de saída esteja abaixo do plano efetivo de carga;
- aplicação da equação de Bernoulli entre o ponto de entrada e o vértice (ponto mais alto do tubo no plano de carga efetivo), sendo que essa elevação deve ser sempre inferior à altura da pressão atmosférica local;

- aplicação da equação de Bernoulli do vértice ao ponto de saída, sendo que o ponto de saída não pode se prolongar indefinidamente, pois a perda de pressão pode influenciar negativamente o escoamento.

O dimensionamento desses sistemas de escoamento envolve aplicação direta de equação de Bernoulli e envolve uma série de disponibilidades físicas.

Conforme Darli (2015, p. 162), temos que:

[...] para que os emissores tenham baixa vazão, o diâmetro da seção de escoamento da água no emissor (labirinto) deve ser reduzido. Entretanto, há uma condição oposta a ser cumprida: o diâmetro da seção de escoamento do emissor deve ser o maior possível para reduzir o risco de entupimento, que se apresenta como um dos principais problemas no manejo dos sistemas de irrigação localizada. As respectivas condições tratadas são vistas pelos fabricantes de forma variada e como consequência existem no mercado muitos tipos de emissores. A espessura da parede dos tubos usados como laterais varia muito, dependendo da durabilidade esperada e se o sistema será enterrado. Quanto mais delgadas forem as suas paredes menores o custo de produção. Os espaçamentos também são bem variados, de 0,1 m até 1,0 m entre emissores. Estes podem ser de fluxo turbulento e não apresentam dispositivos de compensação de pressão, ou autocompensantes, que dispõem de dispositivos de autorregulação da vazão.

Dessa forma, o sifão é caracterizado por ser de baixa velocidade e vazão, sendo empregado largamente na agricultura de irrigação por superfície, principalmente na irrigação por sulcos, conforme exemplificado na Figura 8 a seguir.

FIGURA 8 – SIFÕES UTILIZADOS NA IRRIGAÇÃO POR SULCOS



FONTE: <https://shutr.bz/3JgDDAS>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Assim, a vazão do sifão vai depender do comprimento, diâmetro, material do tubo e carga com a qual está trabalhando. Ao se selecionar um sifão, toda a vazão dependerá mais da carga do que dos elementos que compõem o material. Em média, os diâmetros comerciais variam entre $\frac{3}{4}$, 1, 1 $\frac{1}{2}$, 1 $\frac{3}{4}$, e 2 polegadas com tamanhos de até 1,50 metros, sendo feitos de plástico.

3 APLICAÇÃO DE ÁGUA EM IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE

A irrigação por superfície é uma técnica empregada desde a antiguidade para espalhamento de água sobre uma determinada extensão de terreno. Nessa situação, a água se distribui por gravidade, através de menor custo e espalhamento. O método de implantação é bem mais em conta do que os de irrigação localizada, o que o torna aplicável até mesmo ao pequeno produtor.

O solo ideal para aplicação da irrigação por superfície é o do tipo argilo-arenoso cuja textura varia de fina a média, em declividade uniforme e pequena. Inclusive, a maior despesa de implantação desse sistema está justamente no nivelamento.

A água, então, é aplicada através de sulcos, inundações, corrugação ou faixas. Independentemente do tipo do método, como já foi visto no tópico anterior, é a opção mais barata.

No entanto, quando esses sistemas são pessimamente projetados, há desperdícios e problemas de rendimento na irrigação. Desse modo, o mais indicado para esse sistema é o solo de baixa infiltração de água e terrenos cuja topografia é plana, sendo que o bom desempenho é considerado quando a água é aplicada de modo totalmente uniforme. Ademais, se comparado aos métodos de irrigação localizada, a irrigação por superfície tem o problema de uniformidade na distribuição em toda a extensão do terreno.

De acordo com Lima (2015, p. 251),

[...] a infiltração é o fator mais importante na irrigação por superfície, pois controla a quantidade de água que entra no solo e, consequentemente, o avanço e a recessão. No entanto, a infiltração é um dos parâmetros mais difíceis de serem determinados, com precisão, no campo. Os diversos modelos podem ser utilizados para descrever a infiltração da água e sua distribuição no perfil do solo. A infiltração é um processo complexo, dependente das propriedades físicas do solo, do seu conteúdo inicial de água, da forma de umedecimento e das variações de permeabilidade devidas ao movimento da água na superfície e ao ar retido nos poros. Em irrigação por superfície, a infiltração varia acentuadamente com a sequência das irrigações. Isto se deve às variações que ocorrem na rugosidade e na geometria da superfície em que se verifica o escoamento. Sabe-se que, para avaliar a irrigação, os parâmetros de infiltração são de fundamental importância. A hidráulica dos sistemas de irrigação por gravidade tem sido estudada em um tempo relativamente curto.

Atualmente, o setor de irrigação é o maior consumidor de água, uma vez que as bacias hidrográficas possuem os perímetros definidos para a irrigação por superfície. Dessa forma, um dos motivos para o baixo rendimento na irrigação por superfície é que o sistema é pouco automatizado.

Para que um solo seja preparado para irrigação por superfície, há uma técnica que envolve corte, aterramento e transporte ou aplainamento mudando a característica original do terreno de modo a tornar uniforme e plana a superfície do terreno. Esse sistema de irrigação envolve algumas fases de implementação de acordo com a lavoura, o que está relacionado ao avanço, reposição, depleção e recessão.



DICA

Para o estudo e preparo do solo, recomenda-se o estudo das propriedades e características através dos conceitos da Mecânica dos Solos. Nesse sentido, é importante o reconhecimento do tipo de solo, pois há técnicas de terraplanagem que devem ser empregadas para o correto plantio de uma lavoura inteira.

A fase de avanço começa com aplicação da água onde a mesma é finalizada, quando o fim da parcela a ser empregada é encerrada. Para adequação em sulcos, colocam-se estacas espaçadas a partir da cabeceira de modo a anotar os tempos de avanço de água.

A reposição ocorre quando a frente é avançada até o fim da parcela de irrigação, com a sua finalização da vazão no início da área. Entretanto, essa prática, infelizmente, apresenta menor rendimento face à falta de recursos hídricos.

A fase de depleção é o tempo entre a interrupção do fornecimento de água e o surgimento de remoção, sendo essa fase a de duração menor em que a irrigação por sulcos passa quase despercebida, podendo, por essa razão, ser desprezada.

A fase de recessão envolve o início da fase de depleção até quando não há mais água no solo, momento em que, nas condições normalizadas, inicia-se o ponto de derivação. Essa fase pode ser representada por uma reta paralela.

Um fator importante ao se considerar a captação de águas para irrigação por superfície é a poluição. Segundo Christovão (1957, p. 90),

[...] é óbvio que águas poluídas usadas na irrigação constituirão uma das fontes de poluição e contaminação não só do solo como também dos próprios vegetais, sendo de longa data conhecida a capacidade de sobrevivência de microrganismos intestinais, comensais ou patogênicos, nos esgotos e nas águas, sobejamente demonstrada

por inúmeras investigações realizadas a respeito. Dada a comprovada capacidade de sobrevivência dos microrganismos patogênicos intestinais em hortaliças, estas, uma vez contaminadas, poderão facilmente servir de veículo de infecção aos seus manipuladores nas operações de colheita, transporte ou venda e, de maneira mais direta, aos consumidores. Dentre os vegetais consumidos crus encontram-se veículos de infecção menos eficientes, como todos aqueles que, apresentando superfície lisa e pequena em relação à sua massa, possuem capacidade reduzida de retenção de microrganismos. As hortaliças cujas folhas constituem a parte comestível e principalmente aquelas que apresentam numerosas folhas imbricadas e de superfície irregular, oferecem condições para retenção e sobrevivência muito maiores dos microrganismos nelas depositados através da água de irrigação.

Logo, quando a água atinge a superfície do solo pela irrigação, ela deve estar livre para o processo de retenção, no qual a passagem da água se dará através dos espaços vazios do solo.



INTERESSANTE

Os espaços vazios do solo podem ser estudados e calculados através do estudo da Mecânica dos Solos chamado poro-pressão. A poro-pressão refere-se à pressão provocada pelos espaços vazios existentes no solo. Quando ocupados pela água, os espaços vazios tornam o solo mais rígido, uma vez que a água é fluido incompressível.

Para o desenvolvimento de uma irrigação por sulcos, são necessários alguns levantamentos de dados para a construção desse sistema, como: umidade de campo, umidade no ponto de murcha permanente, densidade do solo, espaço de infiltração, e dados da cultura e do clima. Porém, muitas dessas informações requerem intensas formas de pesquisa em fontes oficiais que buscam formas de decisão e informação para irrigação.

Assim, em regiões onde o clima árido é presente, deve-se ter um bom planejamento para o processo de irrigação. Nesses locais ermos, a tecnologia não se faz presente, o que agrava ainda mais a aplicação da agricultura de precisão. Desse modo, o processo está ligeiramente limitado pela bacia hidrográfica disponível. Os açudes, como mostra a Figura 9 a seguir, cumprem o papel de suprir vigorosamente a lavoura nessas regiões extremas.

FIGURA 9 – AÇUDE



FONTE: <https://shutr.bz/3tYi6Xa>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Portanto, a atividade de racionalização é um dever ético em projetos de irrigação por meio dos quais as ciências agrárias devem desenvolver novos métodos econômicos e rentáveis da sustentabilidade da lavoura através da economia e implementação de boas práticas.

LEITURA COMPLEMENTAR



PERDA DE CARGA EM MICROTUBOS E CONECTORES UTILIZADOS EM MICROASPERSÃO

Danieli B. Zitterell
José A. Frizzone
Osvaldo Rettore Neto
Mario N. Ullmann

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de ajustar equações que estimam a perda distribuída de carga em microtubos utilizados em microaspersão e a perda localizada de carga na passagem lateral do fluxo por meio dos conectores na linha lateral. A perda distribuída de carga foi determinada em quatro diâmetros de microtubos com nove a dez repetições para 15 vazões por meio da aplicação do teorema de Bernoulli. O fator de atrito (f) foi estimado fixando-se o valor de $m = 0,25$ e calibrando-se o valor do parâmetro c (0,290). A perda localizada de carga foi determinada por diferença entre perda de carga no microtubo mais conector e perda de carga no microtubo. Dois modelos de conectores foram utilizados e caracterizados quanto ao diâmetro interno e dimensões. Uma aproximação matemática foi proposta para calcular a perda localizada de carga com base em coeficiente de carga cinética do conector (K'), que leva em consideração as dimensões do conector e do microtubo e independência das forças viscosas para $Re > 5.000$. As variações de vazão e de pressão entre os emissores situados nos extremos da linha lateral mostraram-se sensíveis à perda de carga na passagem lateral pelo conector mais a perda de carga no microtubo.

Palavras-chave: perda localizada de carga; perda distribuída de carga; comprimento equivalente; coeficiente de carga cinética.

INTRODUÇÃO

A alta uniformidade de distribuição de água permite a otimização do uso da água, da energia e de nutrientes. Para garantir alta uniformidade, é indispensável um dimensionamento hidráulico adequado, exigindo que características hidráulicas dos seus componentes sejam conhecidas. Como a microirrigação conta com elevado número de tubulações e peças acessórias, a perda de carga em microtubos e conectores pode assumir valores consideráveis nos projetos desses sistemas.

Microtubos e conectores são componentes indispensáveis na montagem de um sistema de microaspersão. A perda de energia causada pelo microtubo é alta devido ao seu pequeno diâmetro interno, que pode variar de 2,8 a 7 mm. Assim, uma perda adicional é causada pela presença do conector que, ao ocupar área interna da seção do microtubo, modifica as linhas de fluxo e causa turbulência.

Diversas relações matemáticas são utilizadas nos cálculos de perda de carga. Dentre elas, a equação de Darcy-Weisbach, que é uma das mais completas para o cálculo da perda de carga em tubulações, já que envolve todas as variáveis responsáveis pelo fenômeno. Sua fórmula é representada pela equação abaixo, em que o fator de atrito f varia de acordo com a condição de escoamento e deve ser determinado por meio de equações matemáticas para cada regime: $hf = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$.

No regime laminar, o fator de atrito pode ser determinado pela equação de Hagen-Poiseuille ($f = 64/Re$), sendo dependente apenas do número de Reynolds (Re). Para o regime turbulento, além do número de Reynolds, a estimativa do valor f depende da rugosidade relativa das paredes do tubo (ε/D), em que ε é a rugosidade absoluta do tubo.

No escoamento turbulento completo em tubos rugosos, f pode ser calculado pela equação de Colebrook-White (PORTO, 1998; ROMEO *et al.*, 2002; YOO e SINGH, 2005; SONNAD e GOUDAR, 2006; CARDOSO *et al.*, 2008). Essa é uma combinação das equações de Prandtl e de Von Karman, válida para $0 \leq \varepsilon/D \leq 0,05$ e $2 \cdot 10^3 \leq Re \leq 10^8$. É válida também para o caso limite de tubos lisos ($\varepsilon \rightarrow 0$) e escoamento completamente turbulento. Todavia, Bernuth (1990) considera esse método ineficiente para o cálculo de perda de carga em tubos plásticos de pequenos diâmetros.

No escoamento turbulento completo em tubos lisos, o coeficiente f independe da rugosidade do conduto, já que o tamanho das asperezas não influi na turbulência do escoamento. Nesse caso, a equação de Von Karman (PORTO, 1998) pode ser utilizada para Re entre $4 \cdot 10^3$ e $3,4 \cdot 10^6$.

No regime turbulento em tubos lisos, Blasius propôs a equação abaixo fundamentada nas leis da similaridade, que é dada em função apenas do número de Reynolds, válida para $4 \cdot 10^3 \leq Re \leq 10^5$: $f = \frac{c}{Re^m}$, em que, c e m são os coeficientes de Blasius, 0,316 e 0,25, respectivamente.

De acordo com Alves e Porto (2002) e Bernuth (1990), a equação de Blasius é válida para tubos hidraulicamente lisos desde que Reynolds não ultrapasse 105. Quando Re é muito elevado, a precisão é reduzida, pois o fator de atrito se aproxima de zero. Quando $Re < 4 \cdot 10^3$, em regime laminar ou zonas críticas, a equação de Blasius superestima o fator de atrito. Para o escoamento na zona de transição, $2 \cdot 10^3 \leq Re \leq 3 \cdot 10^3$, o fator de atrito pode ser aproximado por um valor constante, igual a 0,04 (YITAYEW, 2009).

Para Juana *et al.* (2002), a introdução do fator de atrito de Blasius na equação de Darcy-Weisbach promove uma estimativa precisa das perdas de carga em regimes turbulentos com baixa rugosidade para $3 \cdot 10^3 \leq Re \leq 10^5$. Bernuth (1990) comenta que a combinação dessas duas equações resulta em uma equação dimensionalmente homogênea (ambas possuem bases teóricas), sendo exata para tubos plásticos, quando $Re \leq 10^5$, e adequada para tubos de pequenos diâmetros, já que Re , nesse intervalo, não é restritivo em sistemas com diâmetros inferiores a 80 mm. Além disso, mudanças de viscosidade podem ser facilmente corrigidas por meio de fatores disponíveis em tabelas.

A presença do conector no microtubo provoca perda localizada adicional devido à ocupação de uma área interna da seção do microtubo que modifica as linhas de fluxo e causa turbulência. Essas perdas são comumente desconsideradas nos projetos e, como consequência, obtêm-se diâmetros e comprimentos de linhas errôneos (YILDIRIM, 1997).

Assim, a perda localizada de carga é expressa classicamente pela variação da energia cinética multiplicada por um fator K_{eq} , como mostrado: $hf_L = K \frac{v^2}{2g}$, em que hf_L é a perda de carga localizada, m, e K é o coeficiente de carga cinética ou de resistência de perfil, adimensional.

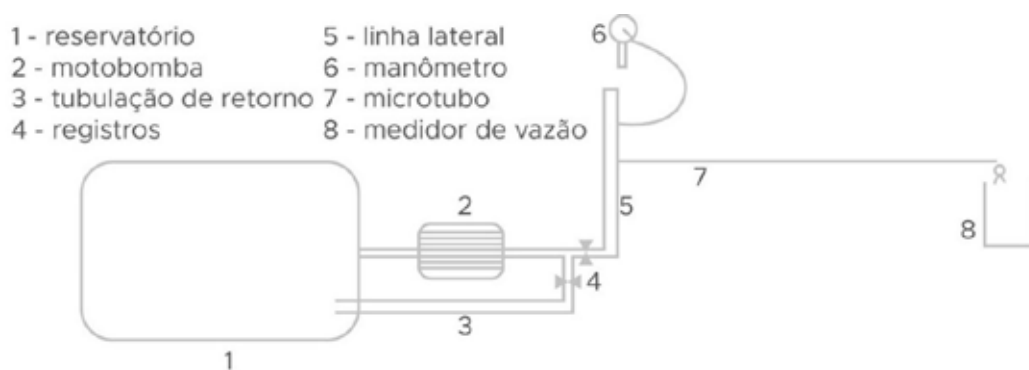
O coeficiente K depende das características geométricas da peça e do número de Reynolds, reduzindo com o aumento de Re até certo limite a partir do qual se mantém constante (BAGARELLO *et al.*, 1997; PROVENZANO e PUMO, 2004; JUANA *et al.*, 2002; CARDOSO e FRIZZONE, 2007).

O presente trabalho tem como objetivo ajustar equações que estimam a perda distribuída de carga em microtubos de diferentes diâmetros, bem como a perda localizada de carga provocada pela passagem lateral do fluxo em conectores de microaspersores com a linha lateral.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido no Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, Piracicaba/SP. A bancada de testes e seus elementos estão esquematizados na Figura 1 a seguir. Com o objetivo de evitar variações de vazão, o conjunto motobomba foi ligado a um inversor de frequência, que manteve sua rotação constante. Diferentes vazões foram obtidas pelo controle dos registros. As pressões na entrada do microtubo foram monitoradas por manômetro digital (escala 0 - 1.500 kPa) com fundo de escala de um dígito decimal.

FIGURA 1 - ESQUEMA DA INSTALAÇÃO UTILIZADA NA DETERMINAÇÃO DA PERDA DE CARGA. LAYOUT OF THE EXPERIMENTAL INSTALLATION FOR HEAD LOSS



Para a determinação da perda distribuída de carga no microtubo, um segmento de tubo de PVC de 50 mm de diâmetro e 1 m de comprimento com final fechado foi instalado. Essa linha possuía uma tomada de pressão e um orifício, em que o microtubo foi inserido e fixado com resina epoxi.

A seção de escoamento dos microtubos foi determinada em 20 segmentos em forma de anéis, medindo-se o diâmetro e a espessura das paredes em um projetor óptico de perfil, marca Starrett, modelo HB 400.

CONCLUSÕES

O fator de atrito da equação universal de perda de carga para os microtubos estudados, com diâmetros internos de 4,47; 5,66; 4,09 e 4,63 mm, pode ser estimado pela equação de Blasius, com $c = 0,290$ e $m = 0,25$, para fins de cálculo da perda contínua de carga.

A perda localizada de carga na passagem lateral do conector pode ser expressa em função do comprimento do conector e da carga cinética nessa passagem corrigida por um coeficiente K' igual a 50,2 para qualquer conjunto microtubo/conector.

O coeficiente de carga cinética (K') variou pouco em função do número de Reynolds, podendo ser considerado constante, para aplicações práticas, a partir de Re 5.000, para cada conjunto microtubo/conector estudado.

Em termos de comprimento equivalente, a perda localizada de carga no conector pode ser expressa em função de uma potência (0,25) da velocidade de escoamento no microtubo, corrigida por um coeficiente que é diretamente proporcional ao comprimento do conector e a uma potência do diâmetro do microtubo (5,25), e inversamente proporcional a uma potência do diâmetro do conector.

As variações de vazão e de pressão entre os emissores situados nos extremos da linha lateral mostraram-se sensíveis à perda de carga na passagem lateral pelo conector mais a perda de carga no microtubo.

FONTE: ZITTEREL, D. *et al.* Perda de carga em microtubos e conectores utilizados em microaspersão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 591-604, out.-dez. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/m3HLp5XGcLSRz9Gy5vzpHqx/?lang=pt#> . Acesso em: 13 fev. 2022.

RESUMO DO TÓPICO 3

Neste tópico, você adquiriu certos aprendizados, como:

- Os sifões são empregados como fortes conceitos para implementação da irrigação por superfície, sendo aproveitados dos conceitos hidráulicos do posicionamento de tubos através de planos de carga hidráulico e linhas de energia.
- Os métodos empregados com sifões são os mesmos que utilizam conceitos hidráulicos para posicionamento dos tubos, tornando o escoamento viável pelo deslocamento de pressão, utilizando a equação de Bernoulli em um comprimento desses tubos.
- Uma característica principal dos sifões é que eles devem possuir canalização de baixo comprimento e possuem baixa vazão. Há uma série de implicações operacionais para o emprego desse conceito, principalmente o hidráulico.
- A irrigação por superfície é empregada quando há baixa tecnologia disponível ou o tipo de cultura demanda muita água, devendo ser estudado e empregado conforme a necessidade da lavoura e ausência de chuvas.
- Embora possua elevados custos em determinadas situações, muitas lavouras ainda necessitam da aplicação dessa técnica, principalmente a do arroz, a qual possui elevada demanda nacional e internacional.
- Novas técnicas de irrigação devem ser desenvolvidas de tal maneira que o desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos possa se tornar viável e os alimentos mais disponíveis e baratos.

AUTOATIVIDADE



1 Os sifões são conceitos de hidráulica com a finalidade de tornar a agricultura de superfície viável na aplicação de água em alguns tipos de cultura, tendo a necessidade de abertura de sulcos para passagem de água. Sobre esse contexto, assinale a alternativa correta:

- a) ☐ O comprimento dos tubos dos sifões deve ser curto.
- b) ☐ Os sulcos devem ser construídos em solo com elevada infiltração.
- c) ☐ Os sifões devem ser aplicados somente em pomares.
- d) ☐ O deslocamento sobre pressão em sifões ocorre graças ao ar atmosférico.

2 O plano efetivo de carga envolve o deslocamento e aplicação da equação de Bernoulli, a qual é uma evolução da equação de Euler para movimento através de energia. Para que isso ocorra, algumas condições como desnível e velocidade devem ser satisfeitas. Com base nas características de hidráulica para deslocamento, analise as afirmativas a seguir:

- I- A linha de energia e as linhas de carga são as mesmas.
- II- A coluna hidráulica deve ser nula.
- III- O desnível favorece a energia cinética, favorecendo o escoamento.

Assinale a alternativa correta:

- a) ☐ As afirmativas I e II estão corretas.
- b) ☐ Somente a afirmativa II está correta.
- c) ☐ As afirmativas I e III estão corretas.
- d) ☐ Somente a afirmativa III está correta.

3 Um dos modos de aplicação de sifões foram inspirados em deslocamento de fluidos através de tanques. Há a necessidade de que o tubo seja escorvado para que o escoamento seja espontâneo até onde se deseja despejar a água. De acordo com esse contexto, classifique V para as sentenças verdadeiras e F para as falsas:

- ☐ O escorvamento serve para dar impulso ao fluido, aproveitando a cinética do deslocamento.
- ☐ A escorva equilibra a pressão atmosférica favorecendo o escoamento.
- ☐ Somente o posicionamento do tubo já é o suficiente para que o escoamento ocorra.

Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta:

- a) () V - F - F.
- b) () V - F - V.
- c) () F - V - F.
- d) () F - F - V.

4 A irrigação por superfície contribuiu por muitos anos para o desenvolvimento da agricultura embora utilize muita água e, atualmente, seja a maior consumidora de recursos hídricos para o plantio, devendo ser melhorada constantemente. Disserte sobre a possibilidade de inovação na irrigação de superfície.

5 A agricultura de superfície é facilitada em áreas cujo terreno é facilitado pela baixa infiltração, sendo essa característica fundamental para que não se perca água pela percolação de água no solo e pela evaporação. Logo, o solo tem papel fundamental na irrigação. Disserte sobre a importância do reconhecimento do tipo de solo antes do plantio e seu papel na irrigação.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, D. B. S. de; SILVA, C. L. da; OLIVEIRA, C. A. da S. Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal. **Engenharia Agrícola [on-line]**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 103-112, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162006000100012>. Acesso em: 13 fev. 2022.

CARVALHO, J. A. *et al.* Desempenho de bomba centrífuga operando com água residuária do processamento do café. **Engenharia Agrícola [on-line]**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 86-94, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162008000100009>. Acesso em: 18 fev. 2022.

CAVALCANTI, J. E. A.; COSTA, F. A. **Impactos socioeconômicos do perímetro irrigado do Gorutuba nos municípios de Janaúba e Porteirinha**. Montes Claros: CODEVASF, 1998.

COSTA, E. F.; COUTO, L. Função de produção e eficiência no uso da água pela cultura do sorgo granífero. *In*: **Relatório técnico anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo 1980-1984**. Sete Lagoas, MG: EMBRAPA-CNPMS, 1986.

TAGLIAFERRE, C. *et al.* Perda de carga em tubulação de polietileno conduzindo água residuária de suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande/PB, v. 10, n. 3, p. 549-553, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/237277765_Perda_de_carga_em_tubulacao_de_polietileno_conduzindo_agua_residuaria_de_suinocultura1/fulltext/0255195f0cf2975c3a0433c8/Perda-de-carga-em-tubulacao-de-polietileno-conduzindo-agua-residuaria-de-suinocultura1.pdf. Acesso em: 13 fev. 2022.

CHRISTOVÃO, D. de A. Relatividade do significado do índice coliforme e proposição de índice corrigido. **Arquivos da Faculdade de Higiene e Saúde Pública da Universidade de São Paulo**, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 89-96, jun. 1957.

DALRI, A. B. *et al.* Caracterização hidráulica e técnica de tubos emissores não regulados. **Revista Caatinga [on-line]**, Mossoró, v. 28, n. 4, p. 161-169, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n418rc>. Acesso em: 18 fev. 2022.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. W. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. **Estudios FAO**, Roma, 33, 1988.

DOURADO NETO, D. Balanço hídrico cíclico e sequencial: estimativa de armazenamento de água no solo. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, XI, setembro 1996, Jaguariúna/SP. **Anais**. Jaguariúna/SP: EMBRAPA, 1996, p.30-42.

ECHING, S. California irrigation management information system (CIMIS). *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FRUTICULTURA IRRIGADA, 1998, Ilha Solteira. **Anais do Simpósio Internacional de Fruticultura Irrigada**. Ilha Solteira: UNESP/FEIS - Área de Hidráulica e Irrigação, 1998.

ESPINOZA, W.; AZEVEDO, J.; ROCHA, L. D. Densidade de plantio e irrigação suplementar na resposta de três variedades de milho ao déficit hídrico na região de cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 15, n. 1, p. 85-95, 1980.

FONTANELI, R. S. *et al.* Análise econômica de sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira [on-line]**, Brasília, v. 35, n. 11, p. 2129-2137, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000001100002>. Acesso em: 15 fev. 2022.

FURTADO, R. D.; LUCA, S. J. de. Técnicas de cultivo de arroz irrigado: relação com a qualidade de água, protozoários e diversidade fitoplanctônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [on-line]**, Campina Grande/PB, v. 7, n. 1, p. 165-172, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662003000100027>. Acesso em: 15 fev. 2022.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2.ed. revista e atualizada. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1988.

KUSS, R. C. R. *et al.* Populações de plantas e estratégias de manejo de irrigação na cultura da soja. **Ciência Rural [on-line]**, Santa Maria/RS, v. 38, n. 4, p. 1133-1137, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000400036>. Acesso em: 15 fev. 2022.

LIMA, A. F. Determinação analítica da performance da irrigação por sulcos abertos e em declive. **Revista Ceres [on-line]**, Viçosa, v. 62, n. 3, p. 251-258, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562030004>. Acesso em: 18 fev. 2022.

MALDONADO, L. H., WENDLAND, E. C.; PORTO, R. de M. Avaliação de métodos de baixo custo para medição de vazão em córregos. **Revista Ambiente & Água [on-line]**, Taubaté/SP, v. 10, n. 2, p. 402-412, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1293>. Acesso em: 14 fev. 2022.

NETO, O. R. *et al.* Quantificação do erro na determinação da perda contínua de carga em tubos elásticos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 6, p. 1312-1321, nov./dez. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/TQ-9FgZzSL4f3HdfbZyTvgmN/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 13 fev. 2022.

OLIVEIRA, E. L. de *et al.* Manejo e viabilidade econômica da irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro acaíá considerando seis safras. **Engenharia Agrícola [on-line]**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 887-896, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162010000500011>. Acesso em: 13 fev. 2022.

SOUSA, S. A. V. **Programa computacional para simulação da ocorrência de veranicos e queda de produção**. 1999. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

PAZ, V. P. da S. *et al.* Otimização do uso da água em sistemas de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [on-line]**, Campina Grande/PB, v. 6, n. 3, p. 404-408, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662002000300004>. Acesso em: 14 fev. 2022.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1993.

VILELA, L. A. A. *et al.* Alteração no diâmetro e na perda de carga em tubos de polietileno submetidos a diferentes pressões. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [on-line]**, Campina Grande/PB, v. 7, n. 1, p. 182-185, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662003000100030>. Acesso em: 13 fev. 2022.

ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO

OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

A partir do estudo desta unidade, você deverá ser capaz de:

- ter clareza acerca dos conceitos de estações de bombeamento;
- conhecer as estações de bombeamento;
- entender o funcionamento de bombas hidráulicas e análise de projetos de hidráulica;
- observar a importância das estações de bombeamento;
- ter clareza acerca dos conceitos de condutos livres;
- conhecer as principais formas geométricas utilizadas em canais;
- entender a aplicação da fórmula de manning em sistemas agrícolas;
- entender as aplicações de hidrograma de projeto;
- observar a importância dos condutos livres na agricultura.

PLANO DE ESTUDOS

Esta unidade está dividida em três tópicos. No decorrer dela, você encontrará autoatividades com o objetivo de reforçar o conteúdo apresentado.

TÓPICO 1 – ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

TÓPICO 2 – CONDUTOS LIVRES

TÓPICO 3 – CRITÉRIOS RELACIONADOS À ESCOLHA DA VAZÃO DE PROJETO DA ELEVATÓRIA



CHAMADA

Preparado para ampliar seus conhecimentos? Respire e vamos em frente! Procure um ambiente que facilite a concentração, assim absorverá melhor as informações.



CONFIRA A TRILHA DA UNIDADE 3!

Acesse o
QR Code abaixo:



ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

1 INTRODUÇÃO

Boa parte da energia mundial nos dias atuais é utilizada em sistemas de bombeamento, sendo a sua maioria usada para bombeamento de águas, um processo importante no ciclo de vida das nações mundiais.

Na agricultura, o uso de equipamentos em estações de bombeamento envolve bastante entendimento do assunto. Com o passar dos anos, a utilização de equipamento tecnológicos tornou-se de extrema importância para a resolução de vários problemas da agricultura moderna, já que se pode utilizar de estações de bombeamento para captar água para irrigação e drenagem, sendo que o mesmo é um componente fundamental para vários sistemas produtivos agrícolas.

As estações de bombeamento contêm equipamentos com o objetivo de bombear fluidos de um lugar para outro, sendo que as mesmas podem ser utilizadas em diversas variedades de sistemas de infraestrutura para o fornecimento de água a canais e reservatórios, drenagem de terrenos de baixa altitude e até mesmo remoção de esgoto para estações de tratamento.

Existem estações de bombeamento que transportam o lodo doméstico, resíduo industrial líquido ou lodo agrícola. Elas, que são mais modernas, são frequentemente monitoradas e mantidas usando-se de um computador chamado de gerenciador de estações de bombeamento, pois o uso desses computadores oferece várias vantagens, permitindo-se que a estação opere continuamente sem a necessidade de o quadro de funcionários trabalhar todos os dias, sendo, assim, uma ferramenta de automação de extrema importância. A Figura 1 a seguir mostra um exemplo de estação de bombeamento de água.

FIGURA 1 – ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA E ENCANAMENTO



FONTE: <https://shutr.bz/35Z4dA4>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Diante disso, um sistema de abastecimento de água é um conjunto de instalações e processos que visa o fornecimento de água com qualidade, quantidade e pressão suficientes ao uso doméstico, público, comercial, entre outros (POLESE, 2010). No entanto, a compressão dos sistemas de abastecimento de água é variável, pois depende da localidade, topografia e das características do manancial (TSUTIYA, 2006).

Em estações de bombeamento, existem equipamentos primordiais para o bom funcionamento da mesma, que se compõem, geralmente, de:

- **Sala de máquinas e dependências complementares:** na sala de máquinas, existem equipamentos elétricos como cabines e comando, chaves de partida e proteção de motores, instrumentos pra leitura de medição elétrica ou hidráulica. Esses instrumentos dependem de grandezas hidráulicas, como volume a ser bombeado e altura de elevação. A Figura 2 a seguir mostra uma sala de bombas de refrigeração em uma estação de filtragem industrial de uma usina.

FIGURA 2 – SALA DE BOMBAS DE REFRIGERAÇÃO EM UMA ESTAÇÃO DE FILTRAGEM INDUSTRIAL DE UMA USINA



FONTE: <https://shutr.bz/3lcCYPx>. Acesso em: 10 mar. 2022.

- **Poço de sucção:** é um sistema de compartimento de dimensões limitadas, no qual boa parte da tubulação conduz água ou esgoto para bomba. A Figura 3 a seguir mostra um exemplo prático de poço de água subterrânea com tubos de PVC ou sistema de bombeamento de água subterrânea.

FIGURA 3 – POÇO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA COM TUBOS DE PVC



FONTE: <https://shutr.bz/3CIMcC6>. Acesso em: 10 mar. 2022.

- **Tubulações e órgãos acessórios:** são dispositivos fixos mecânicos utilizados em tubulações destinados principalmente a facilitar a inspeção e limpeza dos coletores, como, por exemplo: válvulas do tipo gaveta, válvulas de retenção, válvulas de pé, manômetro, vacuômetro, manovacuômetro. Em tubulações de casa de bombas, são geralmente de ferro fundido com juntas de flange e, quando os diâmetros são maiores, utilizam-se tubos de aço. A Figura 4 a seguir mostra uma montagem de tubulação de flange de aço.

FIGURA 4 – TUBO DE AÇO (MONTAGEM DE TUBULAÇÃO DE FLANGE)



FONTE: <https://shutr.bz/36lyqJg>. Acesso em: 10 mar. 2022.

- **Equipamentos elétricos:** são dispositivos como chaves de partida e proteção de motores, instrumentos de controle, transformadores e dentre outros. Os mesmos são fontes de energia elétrica para funcionar uma subestação de usina e sistemas agrícolas. A Figura 5 a seguir mostra um painel de interruptores elétricos industriais de uma usina.

FIGURA 5 – PAINEL DE INTERRUPTORES ELÉTRICOS INDUSTRIAIS NA SUBESTAÇÃO DA USINA



FONTE: <https://shutr.bz/3KGYNs6>. Acesso em: 10 mar. 2022.

- **Dispositivos auxiliares:** são dispositivos que permitem mensurar a quantidade total de água bombeada, com os quais se tem a possibilidade de indicar a posição do nível de água no poço, como, por exemplo: medidor de vazão, medidor de nível etc. Tais dispositivos permitem o uso da tecnologia 5G para sistemas inteligentes de monitoramento de água para localizar vazamentos, paradas ou distúrbios em tubulações.

2 TUBULAÇÕES DE SUÇÃO E RECALQUE

Em sistemas de tubulação, a energia transformada em máquinas hidráulicas se classifica em três situações: motora, geradora e mista. Na engenharia hidráulica, as máquinas mais usuais são as bombas hidráulicas, que se classificam como mecanismo gerador, pois convertem energia mecânica em hidráulica. Quando acontece o processo de conversão de energia, as bombas hidráulicas direcionam energia para um determinado líquido com a finalidade de transportá-lo de um ponto para o outro em uma determinada tubulação ou tanque (FIALHO, 2018).

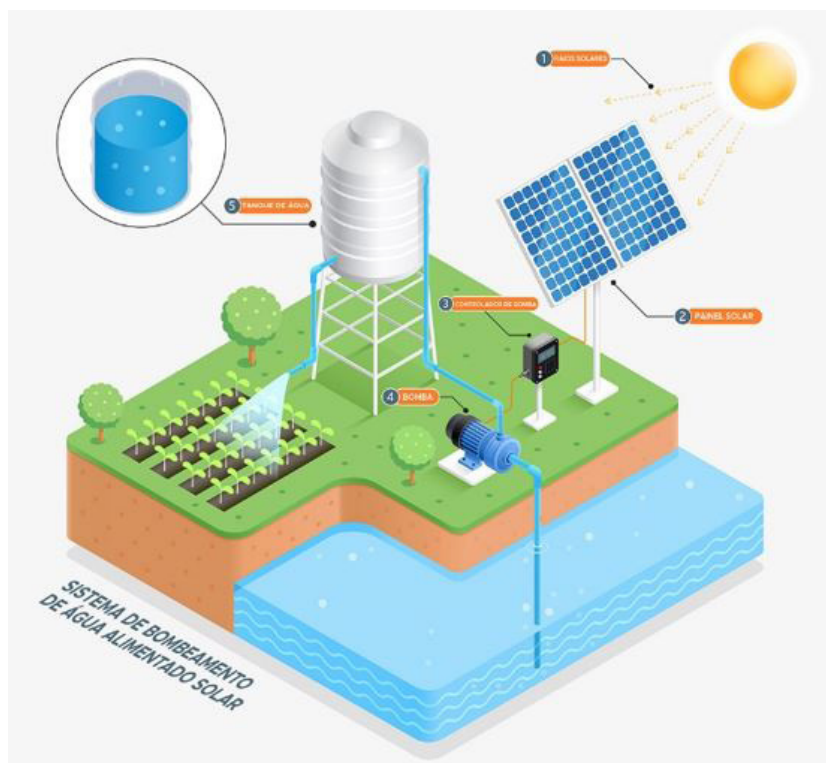
Um dos primeiros registros aos quais se tem acesso quanto ao uso de bomba pertence aos egípcios, que a utilizavam para a agricultura. O primeiro dispositivo foi desenvolvido em 1.500 a.C, sendo denominado de picota, e era constituído por pedaços longos de madeira perpendiculares, os quais eram preso a um recipiente com água, fazendo com que o peso na extremidade conseguisse içar o recipiente. Mesmo com a evolução tecnológica, esse tipo de bomba antiga é utilizado até hoje, contribuindo para o desenvolvimento de pequenas comunidades agrícolas (SILVA, 2018).

Diante disso, o uso de bombas hidráulicas tanto na agricultura como na indústria é de extrema importância, pois visa transportar um determinado líquido de um lugar para outro, sendo que as bombas mais utilizadas nas indústrias são do tipo centrífugas.

Essas são máquinas hidráulicas cuja funcionalidade é distribuir energia a um determinado líquido, fazendo que transporte o mesmo de um ponto para o outro. No mercado, quanto a sua aplicação, existem diversos modelos, sendo a bomba centrífuga a mais usada, o que acontece por conta de sua fácil construção e manutenção, sendo que a mesma se permite na maioria dos projetos de bombeamento.

Na Figura 6 a seguir, pode-se observar o esquema de uma bomba transportando um determinado líquido de um tanque para outro tanque.

FIGURA 6 – SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA MOVIDO POR ENERGIA SOLAR



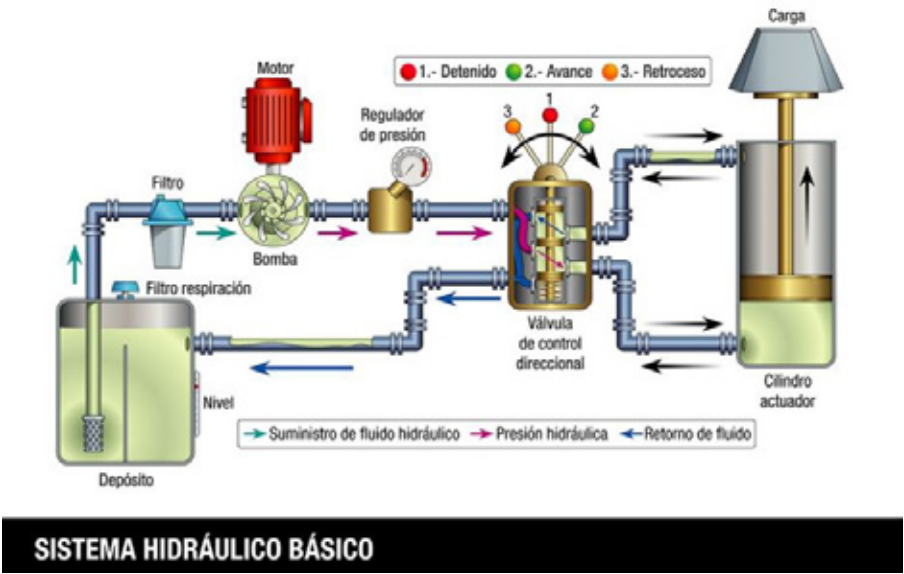
FONTE: <https://shutr.bz/3JmM9ys>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Em sistemas de tubulação hidráulica de uma bomba, o que vem antes da mesma é denominado de linha de sucção, enquanto a tubulação que vem após é a linha de recalque.

Nas linhas de sucção, há canos, mangueiras ou tubos que distribuem fluido para sucção ou entrada de uma bomba ou compressor. Assim, a principal função de qualquer mangueira é ajudar a facilitar o direcionamento de fluidos de um lugar para outro, sendo que a viscosidade ou espessura e o peso do fluido bombeado são variáveis e de extrema importância para diversos projetos. São exemplos de peças nas linhas de sucção: curva de 90°, tubulação, válvula de pé.

Já, as linhas de recalque compõem o conjunto de tubulações, conexões, peças, acessórios, bombas e motores que permitem transportar uma certa vazão de água ou qualquer outro líquido para um determinado reservatório. São exemplos de linhas de recalque: tubulação, válvula de gaveta, válvula de retenção, ampliação concêntrica, redução excêntrica. A Figura 7 a seguir mostra uma exemplificação de um sistema hidráulico básico.

FIGURA 7 – SISTEMA HIDRÁULICO BÁSICO



FONTE: <https://shutr.bz/3KLolPA>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Assim, os sistemas hidráulicos têm uma grande variedade de aplicações, sendo de pequenos e grandes processos ligados à prática da engenharia hidráulica, contribuindo para a indústria e setores agrícolas.

3 BOMBAS HIDRÁULICAS

Os processos produtivos agrícolas tiveram uma evolução significativa, principalmente pelo o uso frequente da irrigação e a demanda por água, o que tornou necessário projetar instalações que possibilitem o fornecimento de água com maior rapidez e eficiência. Assim, o uso de bombas hidráulicas em projetos de irrigação tornou-se de suma importância, sendo que o mesmo se deve em virtude de conhecer e estudar os elementos fundamentais dos sistemas hidráulicos.

O uso de sistemas hidráulicos é bastante comum na agricultura, podendo ser definidos como a junção de componentes interligados com a função de levar ou transportar determinado fluido (LINSINGEN, 2001). Esses tipos de sistemas hidráulicos têm diversas aplicações no setor industrial com a finalidade de transportar o fluido nas etapas fabris, saneamento e cadeiras, sistemas pneumáticos etc.

O uso de bombas hidráulicas na engenharia esteve presente ao longo da história da humanidade, sendo que hoje está ligado diretamente ao número de projetos industriais e agrícolas para melhorar os sistemas produtivos de uma empresa. O acionamento destes dispositivos se dá através de motores elétricos e à combustão, ou por turbinas a vapor, sendo que seu acionamento acontece por energia mecânica e parte da energia fornece ao fluido pressão e energia cinética.

As bombas, de modo geral, possuem peças móveis que, com o passar do tempo, sofrem desgaste natural. Dessa forma, pode haver falhas de operação e manutenção, elas podem ocasionar desgastes, havendo até a parada do equipamento, e, com isso, resultar em um aumento dos custos de manutenção. Por isso, é necessário seguir os procedimentos adotados no manual do fabricante e uma correta manutenção e acompanhamento dos equipamentos a fim de reduzir os gastos.

Na agricultura, as bombas do tipo centrífugas são usadas em sistemas de irrigação, drenagem, termoeletricas, mineração, indústrias têxteis, centrais de refrigeração, combate a incêndios e outras aplicações, sendo que o componente com maior custo em sistemas hidráulicos, é a bomba hidráulica devido ao seu elevado custo de manutenção e aquisição (MACHINERY LUBRIFICATION, 2016).

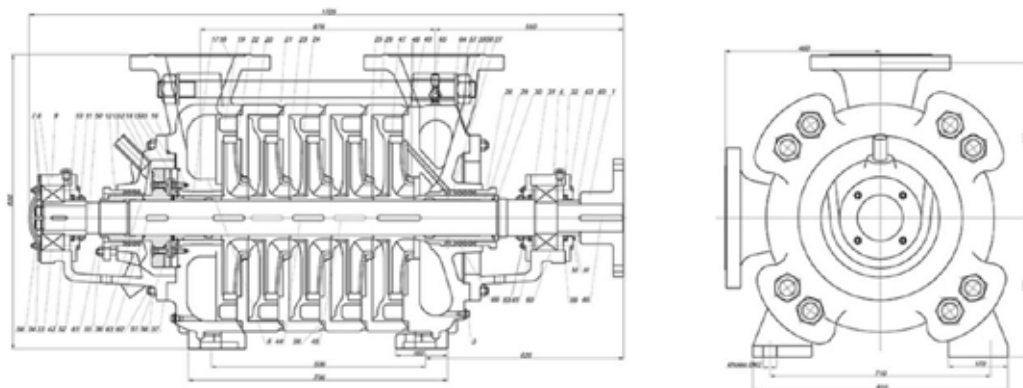
Em sistemas de bombas, podem ocorrer diversos problemas com grande frequência, o que ocasiona paradas e atrasos que são prejudiciais aos processos da indústria agrícola, sendo que os principais causadores são: bomba operando vazia, obstruções na tubulação, tanque vazio, mau dimensionamento da bomba e entre outras situações.

Na hidráulica agrícola, o uso de bombas, de modo geral, precisa apresentar características que são importantes para o seu pleno funcionamento. Dentre elas, pode-se destacar:

- **Resistência:** os sistemas de uma bomba precisam resistir aos esforços provenientes de pressão, erosão e efeitos mecânicos.
- **Facilidade de operação:** os sistemas de uma bomba precisam apresentar uma boa manutenção simplificada, sendo que as mesmas podem ser adaptáveis às mais usuais fontes de energia.
- **Alto rendimento:** os sistemas de uma bomba precisam transformar energia em trabalho hidráulico com o mínimo de perdas possíveis.
- **Economia:** o uso de equipamento ou dispositivos precisa ser compatível com as condições de mercado.

Em projeto hidráulicos, as bombas geram uma potência, fazendo com que o fluido preencha a área de tubulação, ou seja, evitando a falta de fluxo no sistema. A Figura 8 a seguir mostra um projeto gráfico mecânico de uma bomba centrífuga.

FIGURA 8 – PROJETO MECÂNICO DE UMA BOMBA CENTRÍFUGA



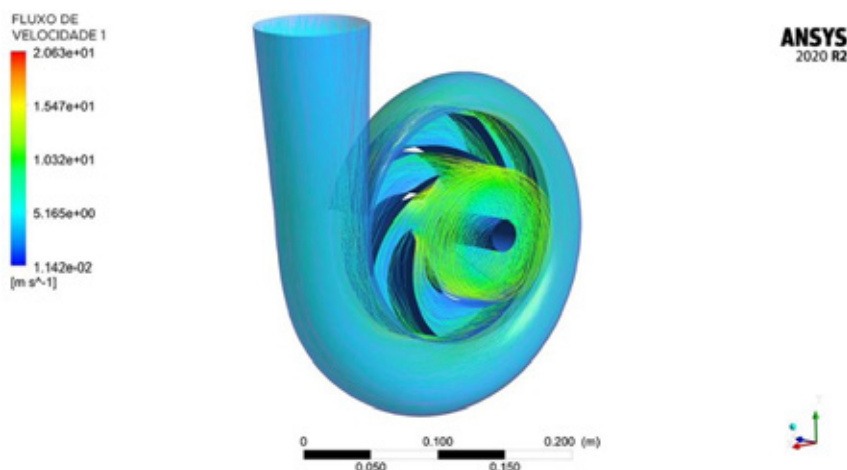
FONTE: <https://shutr.bz/3COCWw7>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Diante disso, as bombas são máquinas operatrizes hidráulicas cujo o objetivo é direcionar fluido com a finalidade de transportá-lo de um reservatório para outro. Sua classificação se dá pela aplicação ou forma de energia que é cedida ao fluido. A seguir, será apresentada a classificação dos principais tipos de bombas.

3.1 TURBO BOMBA OU BOMBA DINÂMICA (CENTRÍFUGA)

São dispositivos elementares cuja finalidade é transportar o fluido através da conversão de energia cinética de rotação para a energia hidrodinâmica do fluxo do fluido, sendo que a energia rotacional vem do motor elétrico. Podem ser classificadas como radial, fluxo misto e fluxo axial. A Figura 9 a seguir mostra um exemplo de bomba centrífuga em modelagem 3D pelo software ANSYS.

FIGURA 9 – BOMBA CENTRÍFUGA EM MODELAGEM 3D PELO SOFTWARE ANSYS



FONTE: <https://shutr.bz/3tZcn3w>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Na engenharia hidráulica, a escolha de uma bomba centrífuga deve observar algumas características de extrema importância, como:

- o conjunto curva bomba não poderá estar no ponto limite de diâmetro máximo nem ao mínimo para o rotor;
- a vazão de operação não poderá estar próxima da vazão máxima da bomba, pois sua pressão poderá variar;
- o maior rendimento da bomba deverá estar próximo do ponto de trabalho;
- a água limpa será o material considerado para poder traçar as curvas características para bombas do tipo centrífugas, sendo que, para outros fluidos, a potência deverá ser alterada em função da viscosidade e densidade do fluido.

Em função da direção do movimento do fluido dentro do rotor, estas bombas dividem-se em:

- **Bomba centrífuga radial:** são dispositivos elementares em que a movimentação do fluido se dá do centro para a periferia do rotor, no sentido perpendicular ao eixo de rotação.
- **Bomba de fluxo misto (hélico-centrífugas):** são dispositivos elementares em que movimento do fluido ocorre na direção inclinada (diagonal) ao eixo de rotação.
- **Bomba axial (helicoidais):** são dispositivos elementares em que o movimento do fluido ocorre paralelamente ao eixo de rotação.

3.2 BOMBAS VOLUMÉTRICAS OU DESLOCAMENTO POSITIVO

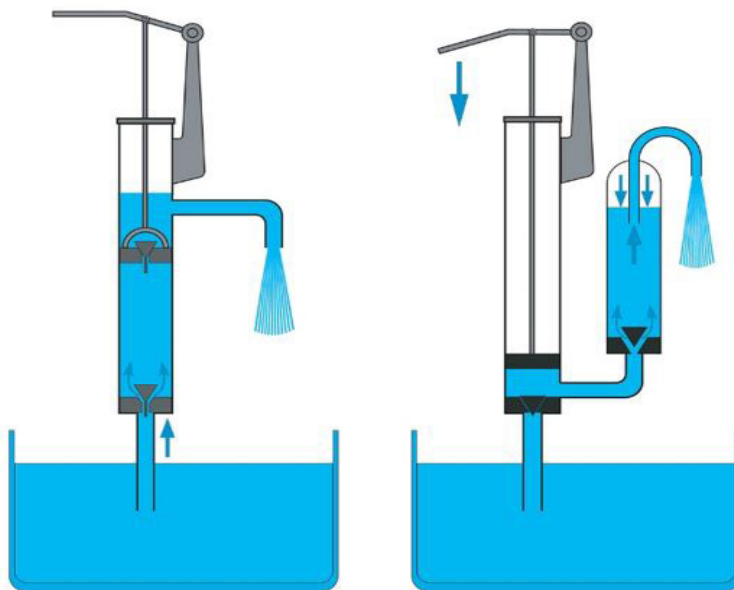
São sistemas mecânicos que trabalham em função da movimentação do fluido, nos quais ocorrerá o acionamento do órgão de impulsão da bomba, o que irá obrigar o fluido a executar o mesmo movimento que está sujeito a este impulso, sendo do tipo êmbolo, engrenagem, lóbulos e palhetas. Estes sistemas do tipo volumétricos visam ocupar e desocupar espaço no interior da bomba, sendo que o movimento geral do fluido de trabalho se dá na mesma direção das forças a ele transmitidas, denominadas de deslocamento positivo.

Na engenharia hidráulica, as bombas volumétricas se dividem em:

- **Êmbolo ou alternativas:** são do tipo pistão, diafragma, membrana.
- **Rotativas:** são do tipo engrenagens, lóbulos, palhetas, helicoidais, fusos, parafusos, peristálticas.

A Figura 10 a seguir mostra uma ilustração vetorial visual do princípio de bombas do tipo pistão.

FIGURA 10 – ILUSTRAÇÃO VETORIAL DE UMA BOMBA DO TIPO PISTÃO



FONTE: <https://shutr.bz/3CKjeSc>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Arquimedes foi um grande cientista que desenvolveu o parafuso de Arquimedes ou bomba do tipo parafuso, uma máquina historicamente usada para transferir água de um corpo para valas de irrigação. A Figura 11 a seguir mostra uma bomba do tipo parafuso ou helicoidal.

FIGURA 11 – BOMBA DO TIPO PARAFUSO (USADA PARA TRANSFERIR ÁGUA PARA VALAS DE IRRIGAÇÃO)



FONTE: <https://shutr.bz/3wasttD>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Na hidráulica agrícola, as bombas centrífugas do tipo radial são as mais utilizadas e o seu funcionamento acontece por duas zonas de pressão diferenciadas, sendo uma de baixa pressão (sucção) e outra de alta pressão (recalque).

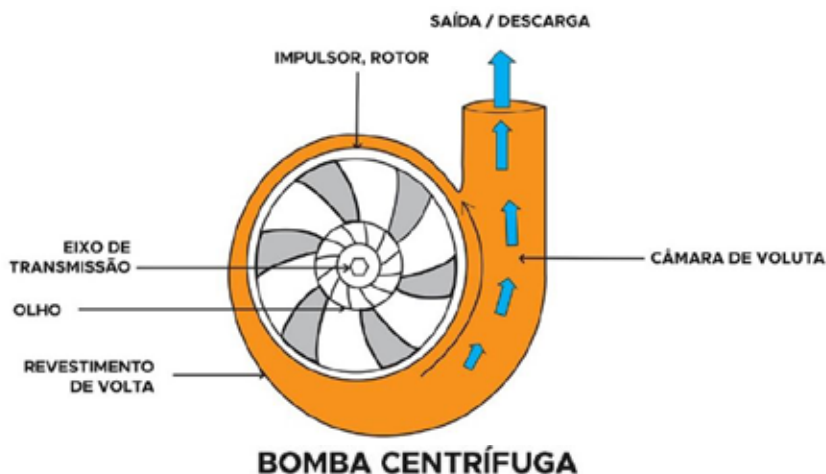
Para que a formação das duas zonas de pressão aconteça, é necessário que, na parte interna da bomba, tenha-se a transformação de energia mecânica de potência, que precisa ser fornecida por uma máquina do tipo motriz, podendo ser o motor ou a turbina. Em sequência, acontece a aplicação da energia cinética, a qual irá deslocar o fluido. E, depois, em maior escala tem-se a energia de pressão, a qual irá adicionar carga ao fluido para que vença as alturas de deslocamento.

Diante disso, torna-se necessário conhecer as três partes fundamentais de uma bomba:

- **Corpo (carcaça):** sistema que envolve o rotor, o qual condiciona o fluido e direciona o mesmo para a tubulação de recalque.
- **Rotor (impelidor):** sistema que se constitui de um disco provido de pás (palhetas) que impulsionam o fluido.
- **Eixo de acionamento:** sistema que transmite a força motriz ao qual está acoplado o rotor, causando, assim, o seu movimento rotativo.

No uso de uma bomba, antes do funcionamento, é necessário que a sua carcaça e a tubulação de sucção estejam totalmente preenchidas com fluido a ser bombeado. A Figura 12 a seguir mostra a parte gráfica mecânica de uma bomba centrífuga que é utilizada para induzir vazão ou elevar um líquido de um nível baixo para um nível alto.

FIGURA 12 – PARTE GRÁFICA MECÂNICA DE UMA BOMBA CENTRÍFUGA

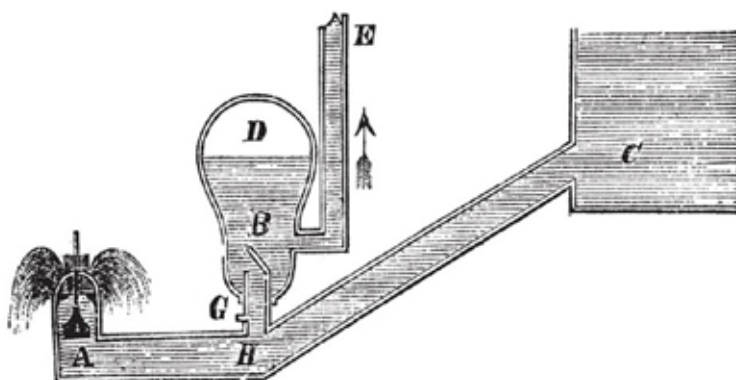


FONTE: <https://shutr.bz/364eXgt>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Na engenharia hidráulica, o uso de bombas é ferramenta de extrema importância, pois está ligada ao transporte de fluidos de um determinado local para outro. As suas aplicações são bastante vastas e, abaixo, seguem algumas delas:

- **Bombas centrífugas:** são utilizadas para sistemas de irrigação, drenagem e abastecimentos de águas, sendo o seu uso de extrema importância, pois está ligado à produção agrícola mundial.
- **Bombas de injeção de gás:** são utilizadas para o abastecimento a partir de poços profundos.
- **Carneiro hidráulico e bombas a pistão:** são utilizadas para o abastecimento em propriedades rurais, sendo esse tipo de sistema de baixo custo para produtores da agricultura familiar. A Figura 13 a seguir mostra um desenho esquemático de um carneiro agrícola.

FIGURA 13 – DESENHO ILUSTRATIVO DE UM CARNEIRO AGRÍCOLA ANTIGO



FONTE: <https://shutr.bz/361CUoP>. Acesso em: 10 mar. 2022.

- **Bombas rotativas:** são utilizadas para o combate a incêndio e abastecimento doméstico, sendo de suma importância tanto para residências, indústrias e etc. A Figura 14 a seguir mostra um sistema de automação de combate a incêndio, com o uso de bomba rotativa.

FIGURA 14 – SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE COMBATE A INCÊNDIO POR ASPERSOR



O sistema automático de extinção de incêndio (automação de incêndio) é um complexo de dispositivos técnicos, cuja principal tarefa é impedir a propagação de fumaça, monóxido de carbono e fogo no caso de uma fonte de incêndio (ou seja, na eliminação do fogo). A instalação de automação de incêndio deve ser realizada apenas por um especialista licenciado e com vasta experiência, uma vez que a instalação de tais equipamentos é uma questão de engenharia complexa, cuja solução é impossível sem alta qualificação e experiência adequada do instalador.

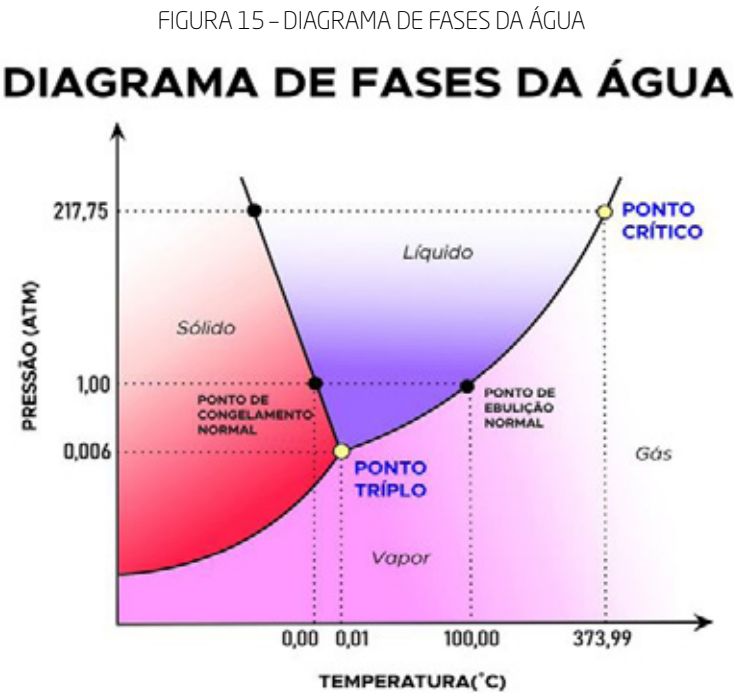
FONTE: <https://shutr.bz/3CMfRKD>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Na hidráulica agrícola, a cavitação em bombas do tipo centrífugas é um processo de formação de bolhas de vapor em um líquido, sendo que a mesma é a mudança do estado físico de um líquido para vapor devido às diferenciações contidas na pressão, ou seja, há a redução da pressão em um sistema até que o líquido iguale a pressão de vapor equivalente à temperatura correspondente. Em sistemas de cavitação, isso pode ocorrer também quando a temperatura do líquido bombeado for aumentada.

Quanto à cavitação, ela pode ser dividida em dois tipos: cavitação do tipo vaporosa e gasosa. Cavitação gasosa ocorre quando a pressão cai abaixo da pressão de saturação, porém mantém-se acima da pressão de vapor, sendo caracterizado pela presença de um grande número de núcleos gasosos. No entanto, quando a pressão cai

rapidamente e abaixo da pressão de vapor do líquido, uma liberação significativa de gás pode ocorrer com um crescimento repentino de núcleos vaporosos, ocorrendo, assim, a cavitação vaporosa (CANNIZZARO; PEZZINGA, 2005).

Segundo Wylie (1992), ambos os tipos de cavitação podem ocorrer durante transição de baixa pressão. A Figura 15 a seguir mostra o diagrama com as fases da água se suas tendências à solidificação, ebulição e cavitação.



FONTE: <https://shutr.bz/365r9NY>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Em sistemas hidráulicos, quando ocorre o processo de cavitação, são ouvidos ruído e vibrações, sendo que, quanto maior forem as bombas utilizadas, maiores serão esses efeitos. Nas bombas, pode ser provocado o desgaste progressivo até a deformação dos rotores e das paredes internas da bomba, o que irá comprometer a queda de rendimento caso o problema não seja resolvido. Em sistemas de bombeamento, a cavitação pode ocorrer por altura inadequada da sucção, por problema hidráulico e operacional. A Figura 16 a seguir mostra um rotor com desgaste progressivo.

FIGURA 16 – ILUSTRAÇÃO DE UM ROTOR OU IMPULSOR COM DESGASTE PROGRESSIVO



FONTE: <https://www.shutterstock.com/pt/image-photo/impeller-648455506>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Para Alcover Jr. e Pukasiewicz (2012) e Mesa *et al.* (2010), a corrosão causada pelo processo de cavitação pode ser compreendida em quatro etapas distintas, sendo elas:

- **Incubação:** consiste na perda de massa mínima devido a alterações pequenas superficiais.
- **Acumulação:** consiste na taxa de perda de massa aumentada devido à deformação plástica, o que desprende a origem do material.
- **Atenuação:** ocorre devido ao decréscimo da perda de massa em função da alta rugosidade desenvolvida que absorve a energia gerada pelo processo, o que diminui a erosão.
- **Estabilidade:** ocorre quando a taxa de erosão se torna constante, sendo que precisa haver um equilíbrio da energia obtida pela superfície rugosa e a energia que ocasiona perda de massa.

Uma grande tendência na hidráulica agrícola, principalmente em se tratando de bombas hidráulicas, é o uso de sistemas informatizados por controladores lógicos programáveis (CLP), sendo, assim, uma alternativa para fazer o acionamento de bombas por sistemas automatizados, substituindo o ser humano em tarefas perigosas e insalubres. Dessa forma, há maior precisão e redução de custos de produção em sistemas hidráulicos de modo geral. A Figura 17 a seguir mostra um controlador lógico programável.

FIGURA 17 – CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL DO TIPO DE ENTRA E SAÍDA
(PODE SER USADO PARA ATIVIDADE AGRÍCOLAS E EQUIPAMENTOS)



FONTE: <https://shutr.bz/3MTGnX6>. Acesso em: 10 mar. 2022.

A automação, por sua vez, melhora o setor produtivo agrícola, principalmente em se tratando de serviços de monitoramento das condições e análises de vibração em sistemas de bombas hidráulicas e desgaste de peças.

No meio agrícola, a automação ainda precisa melhorar bastante em relação ao que é aplicado na indústria. Com isso, o resultado é o seu aumento de custo de produção, redução de produtos e competitividade. Em países super desenvolvidos, o nível de automação é bastante superior e está próximo do setor industrial.

4 ANÁLISE ECONÔMICA DE PROJETOS DE HIDRÁULICA

Durante as atividades diárias nas empresas, os gestores financeiros de grandes empreendimentos necessitam realizar análises ou estudos de viabilidade econômica de projetos de investimentos sejam agrícolas ou urbanos, sendo que a análise de viabilidade tem como fator de decisão para auxiliar nos modelos de cenário, o que irá facilitar a visualização do empreendimento.

Um dos objetivos da Engenharia Econômica é realizar análises econômicas em relação a investimentos, possuindo aplicações complexas e simples, em que o investimento pode ser, por exemplo, a decisão de comprar um veículo a prazo ou à vista. Assim, as decisões sobre investimentos devem levar em conta os critérios econômicos, ou seja, a rentabilidade do investimento; os critérios financeiros, que são a disponibilidade de recursos; e os critérios imponderáveis ou fatores não conversíveis em dinheiro (CASAROTTO FILHO; KOPITKKE, 2011).

O fluxo de caixa é uma ferramenta que representa o fluxo de receitas e despesas ou entradas e saídas de dinheiro no caixa de uma entidade ao longo de um determinado período de tempo. Esta ferramenta é útil para visualização das movimentações do caixa, proporcionando observar eventos no caixa em determinado período e suas possíveis consequências, facilitando análises e tomada de decisões, ou seja, é fundamental para para o controle financeiro de empresas (HIRSCHFELD, 2010).

A análise e viabilidade de investimento não é um tema novo, pois a maior parte dos artigos desenvolvidos pela comunidade científica se refere a estudos de caso (JÚNIOR; TORRE, 2013).

Em atividades de investimento de capital, elas não devem ser realizadas de forma precipitada, pois as decisões são fundamentais para que as empresas consigam atingir seus resultados esperados, levando em consideração as estratégias e objetivos determinados (BERTOGLIO; BRASAGA, 2008).

Com isso, a identificação dos custos dentro do processo produtivo só se torna possível quando implantado um sistema de contabilidade por parte dos produtores. Esse sistema de contabilidade de custos é construído e implantado para atingir finalidades específicas dentro de um modelo gerencial e de uma estrutura organizacional. Desse modo, esse processo pode estar relacionado com o fornecimento de dados de custos para a medição dos lucros, determinação da rentabilidade e avaliação do patrimônio; ou com a identificação de métodos e procedimentos para o controle das operações e atividades executadas de modo a prover informações sobre custos para a tomada de decisões e de planejamento através de processos analíticos (CALLADO; CALLADO, 1999).

O objetivo mais importante dos registros agrícolas em uma empresa agrícola, sob o ponto de vista da administração, é a avaliação financeira e a determinação de seus lucros e prejuízos durante um determinado período, fornecendo subsídios para diagnosticar a situação da empresa e realizar um planejamento eficaz (HOFFMANN *et al.*, 1978).

O uso da análise econômica é uma das ferramentas de extrema importância em diferentes tipos de projetos agrícolas ou industriais, sendo que é necessário estabelecer critérios no que tange a escolha do tipo de projeto, principalmente quanto à diminuição de custo anual total do mesmo, sendo que o custo atual é composto por variáveis do tipo soma de custo e de investimentos e custos de operação.

Na engenharia hidráulica, os custos de investimento se referem à aquisição de tubulações e do conjunto motobomba. Tais investimentos são realizados no momento da instalação de bombeamento e ocorrem anteriormente ao início das operações de um sistema, sendo, assim, caracterizado em um pagamento único. A Figura 18 a seguir mostra um conjunto motobomba em pleno funcionamento para sistema de irrigação automático agrícola.

FIGURA 18 – SISTEMA BOMBA DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA DE FORMA AUTOMÁTICA



FONTE: <https://shutr.bz/3KKAZDD>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Os custos de operação em projetos hidráulicos se dão devido ao uso de energia elétrica ou fontes de combustível, sendo que eles só acontecem quando inicia a operação do sistema, o que pode variar com os seus períodos de funcionamento. Geralmente, essas variáveis são expressas em pagamentos anuais.

Os custos de manutenção, instalação e outras peças podem ser incluídos para análise mais detalhadas em projetos hidráulicos, sendo elementos importantes para tomada de decisão e na sua execução. Para melhor direcionamento quanto aos custos anuais, pode-se utilizar aplicações matemáticas, como mostra a fórmula:

$$CA = INV \cdot \frac{(1+j)^n \cdot j}{(1+j)^n - 1}, \text{ em que:}$$

- CA: custo anual em R\$
- INV: investimento inicial em R\$
- n: vida útil do projeto, em anos
- j: taxa de juros anual, em decimal

Em projetos de irrigação para agricultores de pequeno ou de grande porte quanto a sistemas de recalque, deve-se realizar levantamentos ou análises de custos, que são:

- **Investimento inicial:** são custos relativos a edifícios da casa de bombas, equipamentos hidromecânicos, serviços necessários para a implantação da tubulação de recalque (locação, remoção e reposição de pavimentos, escavação, escoramento, esgotamento e reaterro), fornecimento e assentamento da tubulação de recalque. A Figura 19 a seguir mostra uma edificação de uma casa de bombas para sistemas de irrigação.

FIGURA 19 – EDIFICAÇÃO DE UMA CASA DE BOMBAS PARA SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO



FONTE: <https://shutr.bz/3tbTVFE>. Acesso em: 10 mar. 2022.

- **Operação do sistema:** são custos relacionados à mão de obra para operação e manutenção, materiais e equipamentos para manutenção preventiva, manutenção corretiva e reposição, energia gasta para acionamento dos conjuntos elevatórios. A Figura 20 a seguir mostra a inserção de um acessório em um cano de água.

FIGURA 20 – INSERÇÃO DE ACESSÓRIO EM UM CANO DE ÁGUA PARA SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO



FONTE: <https://shutr.bz/3lcDjrR>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Para a análise de comparação de projetos de investimentos, é necessário o estudo quanto às possibilidades de retornos, que se referem aos ganhos ou às perdas decorrentes das decisões nos projetos (HIGGINS, 1995).

Assim, o estudo da engenharia econômica é uma técnica de extrema importância, pois visa o uso de calculadoras financeiras, microcomputadores e softwares para a resolução dos problemas que são ocasionados na engenharia de modo geral, sendo, assim, uma ferramenta ideal para os processos empresariais (KASSAI *et al.*, 2000).

Diante disso, o estudo da viabilidade econômica tem como objetivo determinar se o projeto é rentável ou não para o agricultor, visando selecionar projetos alternativos quanto ao volume de investimento de projetos de mesma grandeza. Para isso, torna-se necessário conhecer os investimentos iniciais quanto a sistemas hidráulicos agrícolas, tendo em vista as despesas operacionais e receitas operacionais.

RESUMO DO TÓPICO 1

Neste tópico, você adquiriu certos aprendizados, como:

- Conceitos de estações de bombeamento e suas aplicações e acessórios são utilizados no desenvolvimento de projetos hidráulicos.
- É necessário entender os conceitos e aspectos ligados a tubulações de sucção e recalque, os quais são utilizados em sistemas hidráulicos.
- É preciso entender os conceitos práticos de tipos de bombas e suas características quanto à funcionalidade para os sistemas hidráulicos.
- É essencial observar os conceitos e a importância da análise econômica de projetos de hidráulica a fim da resolução de problemas na engenharia.

AUTOATIVIDADE



1 Na hidráulica agrícola, o uso de estações de bombeamento são elementos de suma importância, pois são sistemas que compõem o tratamento de água ou esgoto com finalidade de condução de água. Diante disso, existem equipamentos primordiais para o seu bom funcionamento. Sobre o assunto, assinale a alternativa correta:

- a) () Instalações prediais agrícolas, equipamento hidráulicos, dispositivos elétricos, tubulações auxiliares.
- b) () Sala de bombas, tubulações, dispositivos elétricos, dispositivos hidráulicos.
- c) () Sala de máquinas e dependências complementares, poço de sucção, tubulações e órgãos acessórios, equipamentos elétricos, dispositivos auxiliares.
- d) () Tubulação de recalque, equipamentos mecânicos, dispositivos auxiliares, máquinas de combustão interna.

2 A bombas hidráulicas, de modo geral, desempenham funções essenciais para o acionamento de máquinas agrícolas, sendo, assim, um elemento fundamental para fazer com que o sistema trabalhe com melhor precisão. Dessa forma, o uso de bombas hidráulicas na agricultura é de suma importância, pois visa a melhoria nos processos produtivos agrícolas. Sobre bombas do tipo centrífugas, assinale a alternativa correta:

- a) () Distribui energia a um determinado líquido, fazendo que transporte o mesmo de um ponto para o outro.
- b) () Distribui energia elétrica a um determinado líquido, fazendo com que o transporte ocorra de dois pontos para o outro.
- c) () Distribui energia mecânica a um determinado líquido, fazendo com que o transporte ocorra de quatro pontos para o outro.
- d) () Distribui energia cinética a um determinado líquido, fazendo com que o transporte ocorra de três pontos para o outro.

3 Na hidráulica agrícola, o uso de bombas centrífugas é usado para sistemas de irrigação, drenagem, termoeletricas, centrais de refrigeração, mineração, combate a incêndios, indústria têxtil e entre outras aplicações. Sobre o componente mais caro em sistemas hidráulicos, assinale a alternativa correta:

- a) () Motor de combustão interna devido à manutenção.
- b) () Motores elétricos devido aos custos de aquisição e mão de obra.
- c) () Bomba elétrica devido à manutenção.
- d) () Bomba hidráulica devido aos custos de aquisição e de manutenção.

- 4 O uso de bombas hidráulicas na engenharia esteve presente ao longo da história da humanidade, sendo que hoje está ligada diretamente ao número de projetos industriais e agrícolas para melhorar os sistemas produtivos de uma empresa. Diante disso, disserte sobre as três partes fundamentais de uma bomba.
- 5 Na engenharia hidráulica, o uso de bombas é uma ferramenta de extrema importância, pois está ligada ao transporte de fluidos de um determinado local para outro e, quanto as suas aplicações, é bastante vasta. Disserte sobre os tipos de bombas e suas aplicações.

CONDUTOS LIVRES

1 INTRODUÇÃO

A agricultura envolve várias práticas relacionadas a cultivos agrícolas. Com a passar dos tempos, devido à tecnologia, o uso de condutos livres tornou-se um elemento de extrema importância para os setores agrícolas e urbanos.

Os condutos livres podem ser caracterizados como do tipo natural e artificial. Grande parte disso se dá pelos elementos estruturais para condutos do tipo artificial, pois envolvem aplicações tecnológicas para sua construção, já os condutos naturais são elementos da natureza, que se estabelecem por sua formação própria.

Diante disso, o uso de condutos do tipo livre permite contribuir bastante para o desenvolvimento de uma nação, pois são elementos de suma importância usados na irrigação e drenagem e transporte de produtos em suas vias hídricas, o que traz uma eficiência nos diversos processos ligados ao uso da hidráulica para condutos livres.

2 CONCEITOS DE CONDUTOS LIVRES

Condutos do tipo livre são sistemas de canais cuja superfície apresenta líquido de forma livre e em contato com atmosfera. Os mesmos são sujeitos à pressão atmosférica em sua seção de escoamento (AZEVEDO NETO *et al.*, 1998).

Em suas estruturas, são responsáveis pela condução de água de forma livre, podendo ser recipientes abertos ou fechados naturais ou artificiais, independentemente da forma, sujeitos à pressão atmosférica atuando sobre a superfície do líquido. O seu escoamento ocorre necessariamente por gravidade, apresentando-se, na prática, com uma grande variedade de seções (SOUTO, 2008). A Figura 21 a seguir mostra a construção de um canal agrícola.

FIGURA 21 – CONSTRUÇÃO DE UM CANAL AGRÍCOLA



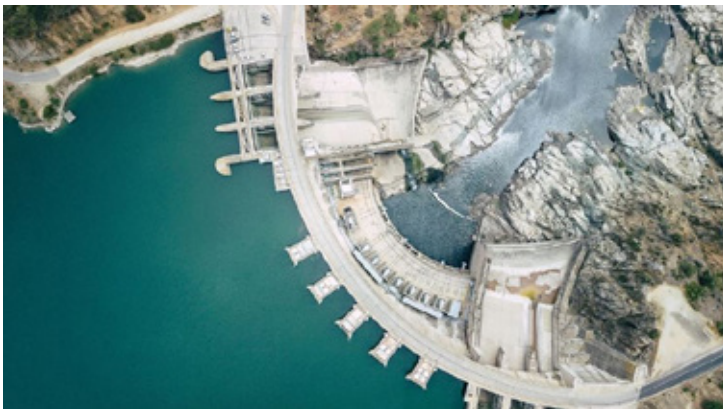
FONTE: <https://shutr.bz/3JhtDr8>. Acesso em: 10 mar. 2022.

As construções hidráulicas por condução têm por definição o transporte de água de uma fonte, seja rio ou lago. Essas estruturas podem ser de escoamento forçado, que são sistemas adutores e abastecimento público, ou de escoamento livre, as quais estão ligadas diretamente a canais projetados, canais naturais, sistemas de drenagem e de esgotamento sanitário.

Diante disso, quanto ao direcionamento da água a ser transportada em canais do tipo livres, estes podem ser:

- **Industriais:** são sistemas que abrangem toda estrutura ou canal que transporte água para fins industriais, incluindo canais naturais utilizados na geração de energia hidroelétrica. A Figura 22 a seguir mostra uma vista superior de uma usina hidrelétrica.

FIGURA 22 – VISTA SUPERIOR DE UMA USINA HIDRELÉTRICA COM TURBINAS E DERRAMAMENTO DE ÁGUAS PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA



FONTE: <https://shutr.bz/3Jb5uCq>. Acesso em: 10 mar. 2022.

- **Irrigação:** são sistemas com o objetivo de conduzir ou levar águas para uma determinada zona de cultivo agrícola, geralmente utilizando-se de canais do tipo trapezoidal, sendo que o mesmo pode ser revestido ou não, apresentando características na seção transversal de forma variável. A Figura 23 a seguir mostra um canal de irrigação.

FIGURA 23 – CANAL DE IRRIGAÇÃO DE CONSERVAÇÃO DE ÁGUA RURAL NO NORDESTE DA CHINA



FONTE: <https://shutr.bz/3KDBhwe>. Acesso em: 10 mar. 2022.

- **Navegáveis:** são sistemas que envolvem canais, tendo como objetivo trechos navegáveis. São, em sua maioria, canais do tipo naturais, podendo também ser artificiais, geralmente interligando duas regiões navegáveis. Encontram-se esses tipos de canais em bacias hidrográficas, servindo tanto no transporte de pessoas quanto de matéria prima e insumos de modo geral. A Figura 24 a seguir mostra um canal do tipo navegável para transporte de mercadorias ao longo do rio – hidrovía Tietê Paraná.

FIGURA 24 – CANAL DO TIPO NAVEGÁVEL



FONTE: <https://shutr.bz/3w8oduC>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Drenagem agrícola: são elementos fundamentais que surgem como consequência no uso de canais de irrigação, levando em consideração a retirada de excesso de água do solo evitando a salinização ou perda do seu controle de umidade. A Figura 25 a seguir mostra a construção de drenos para evitar inundações em vias navegáveis para a agricultura.

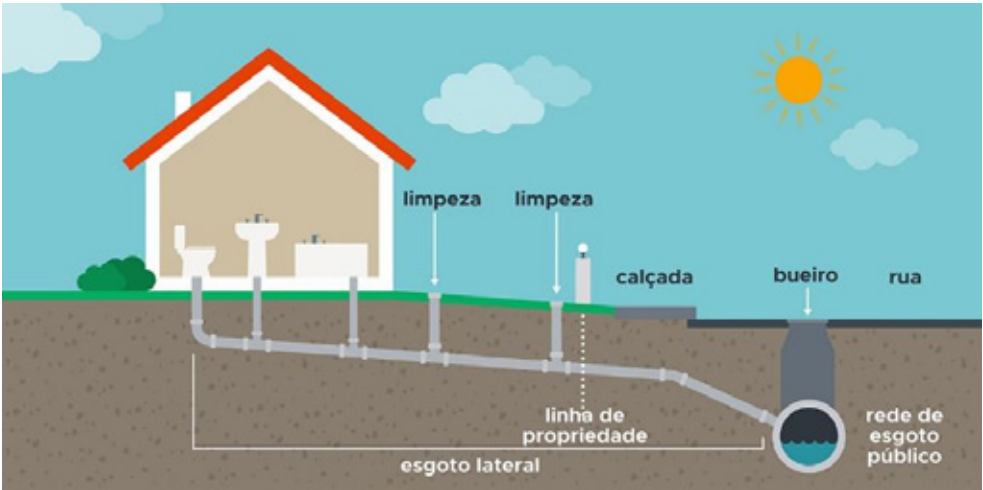
FIGURA 25 – CONSTRUÇÃO DE DRENOS PARA EVITAR INUNDAÇÕES



FONTE: <https://shutr.bz/35Tc07z>. Acesso em: 10 mar. 2022.

- **Drenagem urbana:** são canais cuja finalidade é captar e escoar os excedentes trazidos pela microdrenagem, que são as galerias que drenam a água das chuvas das ruas, avenidas, lotes e quarteirões. A Figura 26 a seguir mostra um sistema de drenagem de esgoto doméstico usado na aplicação de drenagem urbana.

FIGURA 26 – INFOGRÁFICO DE UM SISTEMA DE DRENAGEM E ESGOTO DOMÉSTICO



FONTE: <https://www.shutterstock.com/pt/image-vector/home-drain-sewer-system-vector-infographic-1980383786>. Acesso em: 10 mar. 2022.

De modo geral, os canais podem ser classificados em:

- **Naturais:** são sistemas naturais em que a superfície livre pode variar no espaço e no tempo, sendo que os parâmetros hidráulicos como a profundidade, largura, declividade etc., também podem variar, sendo um exemplo disso os rios e lagos. A Figura 27 a seguir mostra uma vista superior de um canal do tipo natural.

FIGURA 27 – VISTA SUPERIOR DE UM CANAL DO TIPO NATURAL



FONTE: <https://shutr.bz/3wqnoxj>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Os canais naturais, quanto as suas propriedades hidráulicas, são do tipo irregular, o que necessita de tratamento analítico e uso da hidráulica teórica e, quanto ao seu fluxo, requer bastante estudo, tais como hidrologia, geomorfologia, hidráulica fluvial, transporte de sedimentos etc.

- **Artificiais:** são sistemas artificiais cuja função é transportar águas, geralmente limpas e em regime permanente, podendo ser de forma revestida ou sem revestimento. Os canais do tipo artificiais podem ser encontrados em propriedades rurais, cuja finalidade é a derivação de águas ou regos d'água, que são usados para questões agrícolas, pecuárias e humanas, sendo, assim, de suma importância para o desenvolvimento econômico e social de uma nação. A Figura 28 a seguir mostra a vista superior do canal de Suez, uma abertura artificial construída que conecta o mar mediterrâneo ao mapa do mar vermelho.

FIGURA 28 – VISTA SUPERIOR DO CANAL DE SUEZ QUE CONECTA O MAR MEDITERRÂNEO AO MAR VERMELHO (CANAL DO TIPO ARTIFICIAL)



FONTE: <https://shutr.bz/37zhPCA>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Considera-se que existem basicamente dois tipos de canais artificiais: os de transposição, levando fluxos para um determinado serviço, e os de drenagem, retirando fluxos de uma área em que são considerados excedentes (SILVA, 2018).

3 ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE CANAL

A aplicação da hidráulica em canais do tipo geométricos pode ser caracterizada de duas formas: seção do tipo transversal e direção à jusante do rio. A seção transversal prevê as mudanças na largura, profundidade e velocidade com a variação da vazão, enquanto a geometria hidráulica em direção à jusante envolve a adaptação do tamanho e da forma do canal para uma vazão imposta (FERGUSON, 1986).

No que se refere aos estudos de geometria de jusante, pode-se citar: projetos de canais de irrigação e canalização de rios, prevenção de respostas do rio para regulação ou transferência de fluxo e estimação de vazões presentes ou passadas das dimensões do canal (RIGGS, 1978).

Dessa forma, a geometria hidráulica é uma teoria que investiga as características geométricas que compõem os canais fluviais. Tais características são determinadas por meio de relações estabelecidas entre o perfil transversal e seu fluxo d'água. Portanto, a forma do canal é a resposta que reflete o ajustamento da seção transversal à vazão (LEOPOLD; MADDOCK, 1953).

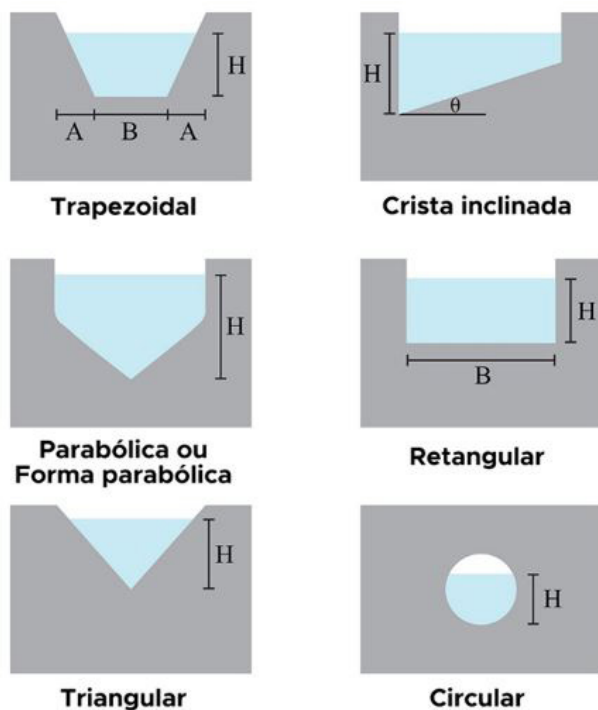
Os elementos característicos da seção de um canal são:

- Área (A): é caracterizada por uma seção plana do canal, normal à direção geral da corrente líquida.
- Seção molhada (A): caracteriza-se pela parte da seção transversal que é ocupada pelo líquido, como mostra a Figura 29 a seguir quanto à classificação de açudes de acordo com a sua forma geométrica.

Os elementos geométricos da seção molhada são:

- Profundidade do fluxo (h): está relacionada à altura do líquido acima do fundo do canal.
- Área molhada (A_m): está relacionada à área de seção molhada.
- Perímetro molhado (P): está relacionada ao comprimento relativo ao contato do líquido com o conduto.
- Largura superficial (B): está relacionada à largura da superfície em contato com a atmosfera.
- Raio hidráulico (R): está relacionada à relação entre a área molhada e perímetro molhado, sendo o raio hidráulico a dimensão característica dos canais abertos, assim como o diâmetro interno dos tubos o é para os condutos forçados.
- Profundidade hidráulica: relação entre a área molhada e a largura superficial.

FIGURA 29 – CLASSIFICAÇÃO DE AÇUDES DE ACORDO COM A FORMA GEOMÉTRICA



FONTE: <https://www.shutterstock.com/pt/image-vector/illustrator-engineering-classification-weirs-according-geometrical-2025279218>. Acesso em: 10 mar. 2022.

A forma de um canal fluvial resulta da interação de fatores relacionados à carga de detritos, suas dimensões médias, quantidade, litologia, fatores relacionados às formas de deposição e fatores relacionados ao fluxo d'água. Quando às características das águas ou detritos de um canal são alteradas, seja pelo homem por alterações da proteção da cobertura vegetal no solo da bacia ou por mudanças climáticas, o sistema do canal se ajusta para o novo conjunto de condições. Assim, o canal é formado e mantido pelo fluxo que ele transporta. Porém, o canal nunca está ajustado o suficiente para transportar sedimentos sem que ocorra uma inundação (DUNNE; LEOPOLD, 1978).

Na hidráulica agrícola, o uso de elementos geométricos constitui propriedades da secção transversal do canal, as quais se caracterizam pela forma geométrica e pela altura da água, sendo, assim, um elemento fundamental para o dimensionamento hidráulico.

4 FORMAS GEOMÉTRICAS MAIS UTILIZADAS EM CANAIS

Na engenharia hidráulica, os canais são projetados quanto as suas formas geométricas que são do tipo: retangular, trapezoidal, triangular e semi-circular, sendo que a mais utilizada é o canal do tipo trapezoidal.

A Figura 30 a seguir mostra um sistema de drenagem de águas pluviais de seção trapezoidal feito de telhas de concreto para eliminação de resíduos da cidade metropolitana.

FIGURA 30 – SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAIS DE SEÇÃO TRAPEZOIDAL



FONTE: <https://www.shutterstock.com/pt/image-photo/trapezoidal-section-storm-water-drainage-made-1723408678>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Na hidráulica agrícola, as formas geométricas mais utilizadas em projetos de canais são:

- **Canal trapezoidal:** a seção do tipo trapezoidal é empregada em várias aplicações de canais por sua fácil execução, sendo que a mesma pode ser implementada em diversas características de solos, desde aqueles com alta resistência ou pouca. Na engenharia hidráulica, a forma geométrica principal utilizada para seção transversal de canais serve para adução, irrigação ou para qualquer outra finalidade. E, para o bom dimensionamento da seção do tipo trapezoidal, são englobadas variáveis como a largura de fundo, inclinação das paredes, altura da água. Por ser um sistema bastante eficiente devido a sua área molhada ter alta relação com o perímetro molhado, seus taludes são adequados para a construção de canais em terra, sendo que os ângulos podem ser alterados, promovendo, assim, melhor estabilidade do canal.
- **Canal retangular:** canais do tipo retangular são os mais simples de serem dimensionados em relação às outras geometrias já empregadas. Esse tipo de canal envolve variáveis geométricas que são relacionadas à largura do canal e profundidade da água, sendo que a largura está em função da profundidade.
- **Canal triangular:** canais do tipo triangular também são simples de serem dimensionados devido ao seu formato geométrico, sendo que os sulcos de infiltração geralmente são abertos com seção do tipo triangular.

5 FÓRMULA DE MANNING

Para dimensionamento de condutos do tipo livres, existe uma equação bastante usada no Brasil e nos Estados Unidos e demais países de língua inglesa cuja fórmula experimental foi elaborada em 1891 pelo engenheiro irlandês Robert Manning (1816-1897) (PERES, 2015).

Em sua teoria para escoamento de canais do tipo livres, o coeficiente de rugosidade (n) de Manning é um dos principais parâmetros para descrição da vazão sobre uma superfície. Uma das dificuldades na aplicação da equação de Manning é a definição do seu coeficiente de rugosidade (LYRA *et al.*, 2009).

O coeficiente de rugosidade está baseado na medição de vazões e de suas características de seções e, quando exequível, é raramente efetuado, pois envolve trabalhos de campo, o que implica nos prazos e recursos relativamente elevados (BAPTISTA; LARA, 2010).

Para que ocorra o escoamento de fluidos, torna-se necessário que ele esteja interligado a forças de aceleração, sendo que essa força é aplicada na região de contato entre o fluido e o perímetro molhado de um determinado canal, o que emerge a força

de resistência que se opõe ao movimento, sendo a responsável pela perda de carga em escoamentos uniformes e variados. Esta última é função da viscosidade do fluido e da rugosidade do canal (PORTO, 2006).

Para isso, na engenharia hidráulica, o uso da fórmula de Manning é de extrema importância por ser utilizada para dimensionamento de canais em regime de escoamento permanente uniforme, sendo descrita pela seguinte equação: $Q = 1 / n \cdot A \cdot RH^{2/3} \cdot i^{1/2}$, sendo que:

- Q: variável caracterizada por vazão, m³/s
- A: variável caracteriza pela área molhada, m²
- RH: variável caracterizada pelo raio hidráulico, m
- i: variável caracterizada pela declividade, m/m
- n: variável caracterizada pelo coeficiente de rugosidade de Manning

A Tabela 1 a seguir mostra os valores de rugosidade de Manning para canais de diferentes classes.

TABELA 1 – VALORES DE RUGOSIDADE DE MANNING

Valores de rugosidade de Manning				
Natureza do Fundo	Muito Boa	Boa	Regular	Má
Alvenaria de pedra argamassada	0.017	0.020	0.025	0.030
Alvenaria de pedra aparelhada	0.013	0.014	0.015	0.017
Alvenaria de pedra seca	0.025	0.033	0.033	0.035
Alvenaria de tijolos	0.012	0.013	0.015	0.017
Calhas metálicas lisas (semicirculares)	0.011	0.012	0.013	0.016
Canais abertos em rocha (irregular)	0.035	0.040	0.045	-
Canais com fundo em terra e talude com pedras	0.028	0.030	0.033	0.035
Canais com leito pedregoso e talude vegetado	0.025	0.030	0.035	0.040
Canais com revestimento de betão	0.012	0.014	0.016	0.018
Canais de terra (retilíneos e uniformes)	0.017	0.020	0.023	0.025
Canais dragados	0.025	0.028	0.030	0.033
Condutos de barro (drenagem)	0.011	0.012	0.014	0.017
Condutos de barro vitrificado (esgoto)	0.011	0.013	0.015	0.017
Condutos de prancha de madeira aplainada	0.010	0.012	0.013	0.014
Gabião	0.022	0.030	0.035	-
Superfícies de argamassa de cimento	0.011	0.012	0.013	0.015
Superfícies de cimento alisado	0.010	0.011	0.012	0.013
Tubo de ferro fundido revestido com alcatrão	0.011	0.012	0.013	-
Tubo de ferro fundido sem revestimento	0.012	0.013	0.014	0.015
Tubos de bronze ou de vidro	0.009	0.010	0.012	0.013
Tubos de betão	0.012	0.013	0.015	0.016
Tubos de ferro galvanizado	0.013	0.014	0.015	0.017
Córregos e rios limpos retilíneos e uniformes	0.025	0.028	0.030	0.033
Córregos e rios limpos retilíneos e uniformes com pedras e vegetação	0.030	0.033	0.035	0.040
Córregos e rios limpos retilíneos e uniformes com meandros e poços	0.035	0.040	0.045	0.050
Margens espalhadas com pouca vegetação	0.050	0.060	0.070	0.080
Margens espalhadas com muita vegetação	0.075	0.100	0.125	0.150

FONTE: Adaptado de Cirilo (2001)

O uso do coeficiente de Manning (n) na engenharia hidráulica é bastante aplicado em condutos do tipo livres, o que representa perdas de energia distribuídas e localizadas em determinados intervalos, sendo que os valores de n são agrupados em função da natureza das paredes do conduto.

A resistência ao escoamento descreve os processos pelos quais a forma física e a rugosidade de um canal controlam a profundidade, largura e velocidade média do escoamento no canal. Estes processos são explicados por um coeficiente de resistência (SUÁREZ, 2000).

Na engenharia hidráulica, um dos fatores que está ligado à rugosidade, envolvendo problemas práticos em condutos do tipo livres, é o coeficiente de Manning. Tal valor é afetado pela rugosidade dos perímetros molhados, irregularidades e alinhamento do canal, deposição de partículas sólidas, presença de obstruções e variações de temperatura. Quando esse tipo de fator for determinado, significa a estimação da resistência ao escoamento do canal (CHOW, 1959).

Um dos sistemas para o monitoramento da performance do canal se deve ao coeficiente de rugosidade de Manning, perdas por evaporação, infiltração e vazamentos, comportamento do revestimento escolhido, performance das estruturas auxiliares como comportas de controle de vazão, estruturas de entrada e saída de água e estruturas de queda, entre outros. (WRD, 2010).

RESUMO DO TÓPICO 2

Neste tópico, você adquiriu certos aprendizados, como:

- Conceitos de condutos livres e suas aplicações são importantes em diversas áreas da engenharia hidráulica, sendo que podem ter ênfase para sistemas agrícolas.
- É necessário entender os principais elementos geométricos de canais e suas funcionalidades para sistemas agrícolas.
- É preciso entender sobre as principais formas geométricas que são utilizadas na agricultura e sistemas de saneamento básico.
- É essencial observar os conceitos básicos da aplicação da fórmula de Manning e suas variáveis fundamentais.

AUTOATIVIDADE



- 1 Nas atividades de construções, é bastante aplicado o termo transporte de água, tanto na engenharia civil quanto na agrícola, já que estão fortemente relacionadas ao transporte de água de irrigação e produção agrícolas. Sobre o assunto de condutos livres, assinale a alternativa correta:
 - a) ☐ São mecanismos responsáveis pela condução de água de forma lenta.
 - b) ☐ São estruturas responsáveis pelo fechamento de água, podendo ser fechados de forma natural.
 - c) ☐ São estruturas responsáveis pela condução de água de forma livre, podendo ser abertos ou fechados de forma natural ou artificial.
 - d) ☐ São mecanismos responsáveis pela distribuição de água de forma artificial.

- 2 São sistemas de canais que surgem em consequência dos canais de irrigação pela necessidade de se retirar o excesso de água do solo evitando a salinização ou perda do seu controle da umidade, podendo também serem necessários por conta do excesso de chuva e da baixa declividade natural do terreno. Sobre sistemas de canais, assinale a alternativa correta:
 - a) ☐ Drenagem agrícola.
 - b) ☐ Irrigação.
 - c) ☐ Navegáveis.
 - d) ☐ Industriais.

- 3 Os sistemas chamados de canais de macrodrenagem são canais com a função de captar e escoar o excedente trazido pela microdrenagem, que são as galerias que drenam a água das chuvas das ruas, avenidas, lotes e quarteirões. Sobre canais de macrodrenagem, assinale a alternativa correta:
 - a) ☐ Drenagem artificial.
 - b) ☐ Sistemas de irrigação e drenagem.
 - c) ☐ Drenagem agrícola.
 - d) ☐ Drenagem urbana.

- 4 A geometria, em canais de irrigação e drenagem, é um elemento fundamental, pois precisa haver um bom entendimento para poder dimensionar e analisar suas características para resolver os diversos problemas do agronegócio. Com isso, a geometria hidráulica visa investigar as características geométricas de canais fluviais, que se refletem ao ajustamento da seção transversal da vazão. Diante disso, disserte sobre os elementos característicos de uma seção de um canal.

- 5 Na hidráulica agrícola, o uso de elementos geométricos constitui propriedades da secção transversal do canal, as quais se caracterizam pela forma geométrica e pela altura da água, sendo, assim, um elemento fundamental para o dimensionamento hidráulico. Disserte sobre canal do tipo retangular e suas características.

CRITÉRIOS RELACIONADOS À ESCOLHA DA VAZÃO DE PROJETO DA ELEVATÓRIA

1 INTRODUÇÃO

Na agricultura, irrigação e drenagem são elementos fundamentais para se obter produtividade agrícola, mas, para isso, torna-se necessário conhecer ferramentas elementares para dimensionar sistemas de irrigação de drenagem, tendo como base a variável vazão.

A vazão é um dos elementos de suma importância para diagnosticar os possíveis acontecimentos que ocorrem em uma tubulação, sendo uma forma estratégica de tomar decisões precisas quanto a projetos hidráulicos.

Em um sistema de drenagem, por exemplo, aplica-se bastante o uso de cálculos de vazão, ou seja, é necessário saber a quantidade de água que está sendo drenada de um ponto para o outro. Com o avanço da tecnologia, têm-se a possibilidade de mecanismos ou dispositivos inteligentes para se mensurar a vazão que está tendo em uma determinada tubulação, ou seja, a automação está ligada diretamente a estações de elevatória.

2 HIDROGRAMA DE PROJETO

No uso da hidráulica agrícola, a aplicação de hidrograma consiste na representação gráfica da variação da vazão de uma seção de curso de água ao longo do tempo. Tal distribuição de vazão em função do tempo consiste na interação de componentes do ciclo hidrológico, entre a ocorrência da precipitação e a vazão na bacia hidrográfica.

Para melhor caracterizar o hidrograma de uma bacia, são utilizados os seguintes componentes, conforme Tucci (2004, p. 394):

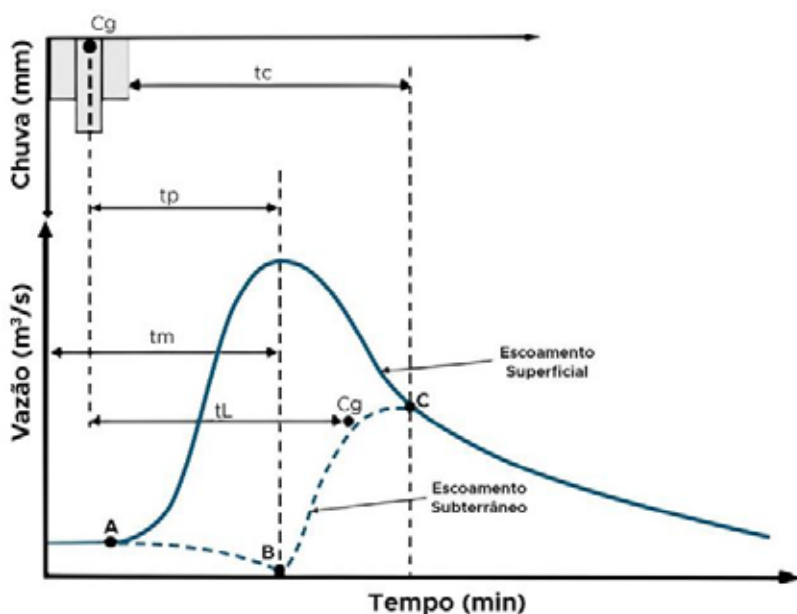
- Tempo de retardo (t_l): é definido como o intervalo de tempo entre o centro de massa da precipitação e o centro de gravidade do hidrograma;
- Tempo de pico (t_p): é definido como intervalo de tempo entre o centro de massa da precipitação e o pico de vazão máxima;
- Tempo de concentração (t_c): é o tempo necessário para a água precipitada ir do ponto mais distante da bacia até a seção avaliada. Esse é o tempo definido também como o tempo entre o fim da precipitação e ponto de inflexão do hidrograma;

- Tempo de ascensão (t_m): é o tempo entre o início da chuva e o pico do hidrograma;
- Tempo de base (t_b): é o tempo entre o início da precipitação e o tempo que o volume precipitado já escoou através da seção avaliada, ou em que o rio volta às condições anteriores da precipitação;
- Tempo de recessão (t_e): é o tempo necessário para a vazão baixar até o Ponto C quando acaba o escoamento superficial.

Assim, o hidrograma é resultado da interação de todos os componentes do ciclo hidrológico entre a ocorrência da precipitação e a vazão na bacia hidrográfica (TUCCI, 1998).

A Figura 31 a seguir mostra o comportamento de um hidrograma.

FIGURA 31 – COMPORTAMENTO DE UM HIDROGRAMA



FONTE: Finotti *et al.* (2009)

Na engenharia, de modo geral, os custos econômicos e as perdas potenciais de vidas humanas resultantes de falhas em sistemas de drenagem podem ser enormes, aumentando a importância da procura de melhores métodos de dimensionamento destes, sendo a estimativa do hidrograma de projeto parte essencial do dimensionamento. As melhores estimativas do hidrograma de projeto estão limitadas à disponibilidade de dados confiáveis (SMITHERS *et al.*, 1997).

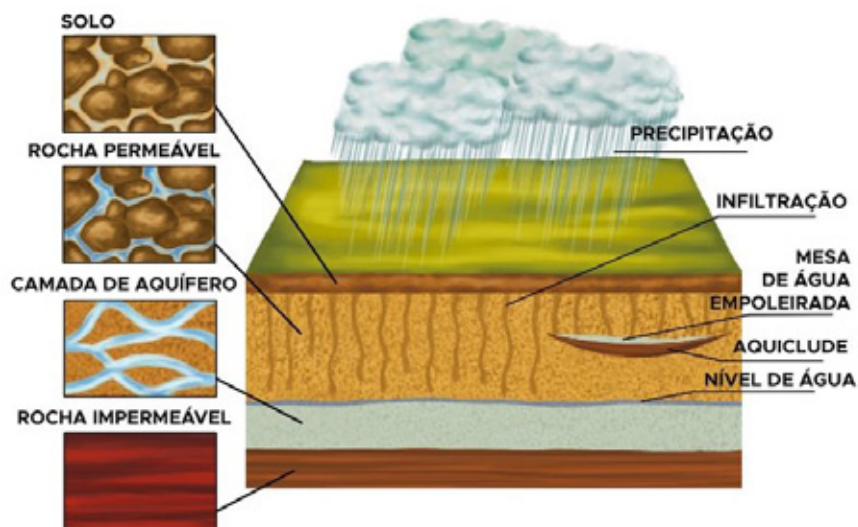
Diante disso, segundo Kaiser (2006), a modelagem hidrológica visa atender os seguintes requisitos, que são:

- fornecer dados de projeto para estudos na área da engenharia;
- efetuar a simulação em cursos d'água de bacias que tiveram intervenções;
- prever vazões que comprometam obras hidráulicas;
- avaliar impactos ambientais pela intervenção antrópica na bacia;
- representar as fases do ciclo hidrológico através de estudos desenvolvidos.

A aplicação da modelagem hidrológica é uma ferramenta de gestão de recursos hídricos, o que permite o planejamento de ações em eventos de longas enchentes e estiagens, tornando viável a preservação dos recursos hídricos e reduzindo os impactos ambientais e sociais desses eventos. Entende-se que a modelagem hidrológica atua como uma ferramenta utilizada para a interpretação, representação e simulação das condições hidrológicas em uma bacia hidrográfica, tornando possível a previsão das consequências com base nos resultados do estudo. Dessa forma, a modelagem é uma ferramenta computacional que atua no estudo dos fenômenos físicos com a finalidade de previsão de cenários (MORAES *et al.*, 2003).

A Figura 32 a seguir mostra um desenho esquemático de um ciclo hidrológico.

FIGURA 32 – DESENHO ESQUEMÁTICO DO CICLO HIDROLÓGICO DA ÁGUA



FONTE: <https://shutr.bz/3tg9tbw>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Em obras hidráulicas, o dimensionamento é uma das ferramentas de suma importância, pois visa a averiguação dos custos na sua construção em localidades de nível mundial, o que requer conhecimentos profundos da vazão máxima.

Para a mensuração da vazão em postos fluviométricos, utilizam-se cálculos para a determinar, aplicando-se de metodologias como: método chuva-vazão (com base na série histórica pluviométrica), método do hidrograma unitário e método racional. Tais métodos têm a seguinte finalidade para o dimensionamento, como:

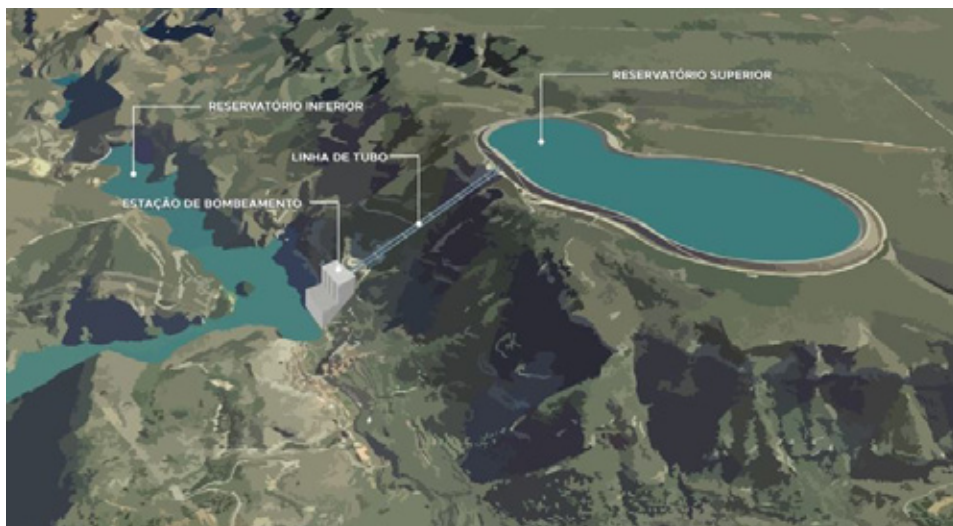
- identificar ou definir a vazão máxima do projeto;
- determinar a distribuição das vazões ao longo do tempo, desde o instante em que se tem o aumento da vazão determinada pelo escoamento superficial produzido por uma determinada chuva.

Para haver uma obtenção de valores de vazões máximas, é necessária uma série histórica que esteja associada a uma análise probabilística por meio da qual as distribuições de probabilidades são ajustadas àquelas da série histórica de vazões máxima anuais (FERREIRA; REIS; MENDONÇA, 2015).

3 CUSTOS UNITÁRIOS RELACIONADOS AO SISTEMA ELEVATÓRIO-RESERVATÓRIO

Para melhor entendimento sobre sistema elevatório e reservatório na área de hidráulica, é necessário um estudo detalhado sobre a classificação dos tipos de custos que são aplicados nas mais diversas áreas e dos tipos de reservatórios que são direcionados a estações de hidrelétricas de armazenamento. A Figura 33 a seguir mostra uma estação de bombeamento de uma hidrelétrica com reservatório inferior e superior com as linhas de tubulação.

FIGURA 33 – ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO DE UMA HIDRELÉTRICA COM RESERVATÓRIO INFERIOR E SUPERIOR COM LINHAS DE TUBULAÇÃO



FONTE: <https://shutr.bz/3w7yN5h>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Para isso, os sistemas de gerenciamento de custos constituem-se de conjuntos de informações gerenciais organizadas para o processo de tomada de decisões, planejamento e controle de atividades empresariais (KLIEMANN; MULLER, 1994).

Por isso, de acordo com Kliemann Neto (1986), podem ser classificados em:

- **Custo fixo:** é aquele montante que ocorre na empresa, independentemente do volume de produção ou de serviço, ou seja, não está relacionado às oscilações na atividade de produção. Por exemplo, custo de pessoal administrativo, aluguéis, gastos em comunicação, seguro, entre outros.
- **Custo variável:** é o montante diretamente proporcional às quantidades produzidas, ou seja, passa a ser constante por unidade de produto ou serviço. Por exemplo: materiais, mão de obra direta, impostos e taxas, entre outros. Os custos relacionados com a facilidade de alocação aos produtos ou serviços são classificados em duas categorias, conforme Fullere Armstrong (1999).
- **Custos diretos:** são os gastos industriais que podem ser alocados direta e objetivamente aos produtos. Assim, ao se considerar uma linha de produtos, os custos de materiais e de mão de obra envolvidos em sua manufatura são ambos custos diretos.
- **Custos indiretos:** são aqueles que, ao apresentarem dificuldade para serem atribuídos diretamente aos produtos ou às atividades produtivas, requerem, para sua apropriação, critérios de distribuição ou rateio. Por exemplo: ferramentas, trabalhos de apoio, instalações auxiliares, administração e manutenção da obra.

Já na aplicação do custeio, os dois princípios são identificados por Martins (2000), sendo um o custeio por absorção parcial e o outro o custeio direto ou variável.

Existe também um terceiro, segundo Bornia (1995), conhecido como o custeio por absorção total ou integral. Assim, abaixo seguem os três tipos de custeio para tomada de decisão em negócios.

1. **Custeio por absorção parcial:** avalia como custo do produto ou serviço apenas a parcela ideal de custos fixos relativos à efetiva utilização da capacidade instalada da empresa, enquanto a parte ociosa ou ineficiente da empresa, que representam os custos fixos, é lançada como perdas do período.
2. **Custeio por absorção total ou integral:** considera que todos os custos fixos são alocados aos produtos independentemente do nível de atividade da empresa. Dessa forma, rateia-se a totalidade dos custos fixos sobre os produtos, e esse princípio visa basicamente atender as exigências da legislação para efeito de avaliação de estoque (BORNIA,1995).
3. **Custeio direto ou variável:** atribui ao produto ou serviço apenas os custos variáveis. Esse princípio define os custos fixos como despesas do período de produção.

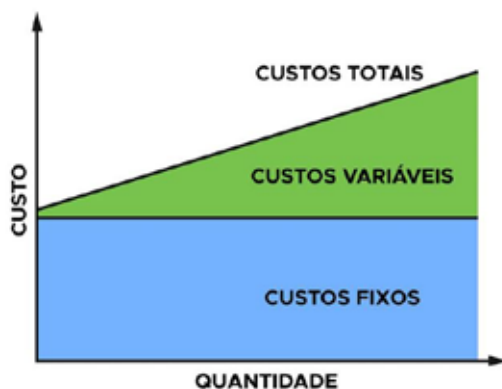
São vários os fatores envolvidos na decisão para investir em um novo projeto. Um dos mais importantes é a necessidade de uma estimativa de custo precisa, porque a sua superestimativa ou subavaliação pode causar desastres financeiros (PANZETER, 1993).

Para isso, pode-se chegar a três conclusões:

- quanto maior é a subavaliação, maior é o desembolso ou desperdício real;
- quanto maior é a superestimativa, maior é o desembolso ou desperdício real;
- quanto mais realista é a estimativa, mais econômico é o projeto.

Em análises de projeto de custos, deve-se considerar o custo unitário da vazão expressa em m^3/s , na qual se pode ter como estimativa de custo a elevatória para drenagem urbana ou agrícola. No anteprojeto e orçamento, deve ser feito por profissionais que conhecem sobre o assunto, principalmente no que se refere a bombas verticais, tipos de turbina, motores elétricos e demais dispositivos quando necessário. Esses custos também englobam movimentos de terra, fornecimentos de materiais, transporte, fundações, estruturas, desapropriação de terras, aquisição e instalação de equipamentos mecânicos e elétricos e demais custos quando julgar necessário. Já na análise econômica, consideram-se os custos de obras das bacias de amortecimento que antecedem as elevatórias a partir de uma bacia de retenção padrão. A Figura 34 a seguir mostra um gráfico ilustrativo de custo variável e custo fixo.

FIGURA 34 – GRÁFICO ILUSTRATIVO DE CUSTO VARIÁVEL E CUSTO FIXO (CUSTOS TOTAIS)



FONTE: <https://shutr.bz/3CNx6LK>. Acesso em: 10 mar. 2022.

Em manuais técnicos, existem metodologias que são usadas para resolver problemas de engenharia hidráulica, compondo os dados históricos de custos que podem ser utilizados em práticas de sistemas elevatório-reservatório. Incluem como características tamanho, tipo de construção, tipo de função, materiais externos, definição do espaço funcional etc.

O uso desses manuais permite a possibilidade de analisar os possíveis problemas que acontecem no mundo real, o que facilita na tomada de decisão para a resolução dessas possíveis situações. Diante disso, torna-se necessária a qualificação de profissionais ligados à área de engenharia econômica para resolver questões ligadas ao mundo do agronegócio, com ênfase no estudo da hidráulica agrícola.

4 CÁLCULOS HIDRÁULICOS

O cálculo na engenharia hidráulica consiste em uma expressão simplificada, tendo sido adotada por diversos matemáticos e tendo como finalidade questões ligadas à análise, qualidade e quantidade. Ou seja, são elementos essenciais para o estudo da natureza principalmente em se tratando da física.

Os cálculos, de modo geral, têm bastante utilidade desde a antiguidade até os dias atuais, sendo uma ferramenta necessária a todas as atividades de qualquer engenharia, servindo para o bom desenvolvimento do raciocínio lógico e promovendo, assim, uma capacidade rápida para a resolução de problemas do dia a dia ou situações com maior grau de complexidade. A utilização do cálculo, por sua vez, torna-se necessária para qualquer bom profissional que não seja só ramo da engenharia, pois auxilia em diversas áreas do conhecimento, como física, matemática e química, podendo ser aplicado até mesmo na biologia, o que contribui de forma significativa para áreas distintas.

Os profissionais da engenharia visam à utilização de cálculos para calcular áreas, cargas, volumes, vazão de tubulações hidráulicas, perda de caga, velocidade de deslocamento, aceleração, potência de motores, cálculos de canais hidráulicos, e várias outras situações que podem ser aplicadas. Na engenharia hidráulica, por exemplo, há função de aplicação matemática para elaborar projetos de canais de irrigação e drenagem visando a obtenção de conhecimentos científicos e possibilitando os avanços tecnológicos para melhorar todas as atividades agrícolas no mundo do agronegócio, tendo, assim, qualidade e eficiência para sistemas produtivos.

Sendo assim, o uso de cálculos na engenharia é uma das ferramentas de suma importância, pois visa permitir a otimização de projetos, gerando economia na produção e eficiência das instalações hidráulicas envolvendo fluidos e tubulações.

Para melhor entendimento de cálculos que são aplicados na área agrícola, a seguir, seguem exemplos de sua aplicação.

4.1 APLICAÇÕES PRÁTICAS DE HIDRÁULICA

Qual a vazão de água (em litros por segundo) circulando através de um tubo de 32 mm de diâmetro, considerando a velocidade da água como sendo 4 m/s? Lembre-se que $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ litros}$.

Primeiramente, calcula-se a área da seção transversal do tubo: $A = \frac{\pi (D)^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,032 \cdot 0,032)}{4} = 0,000803 \text{ m}^2$.

Agora, pode ser determinada a vazão no tubo:

$$\text{Vazão} = V \cdot A = 4 \times 0,000803 = 0,0032 \text{ m}^3/\text{s} \times 1000 = 3,2 \text{ l/s}$$

Qual a velocidade da água que escoa em um duto de 25 mm se a vazão é de 2 litros/s?

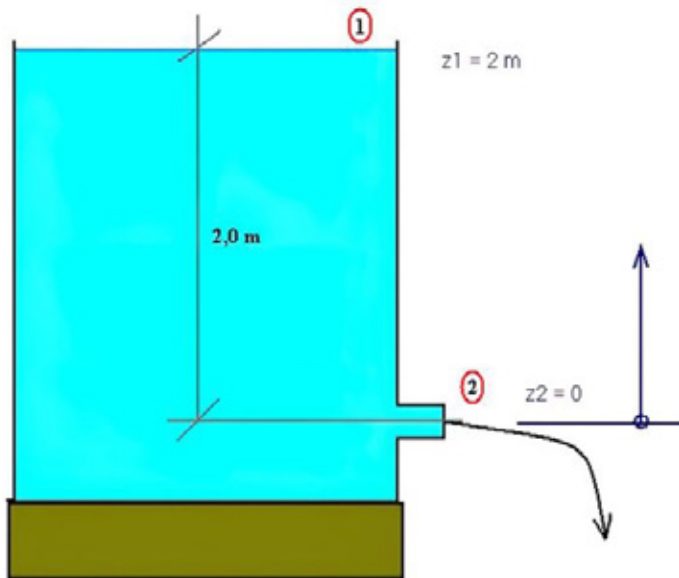
$$\text{Vazão} = V \cdot A$$

$$\text{Logo: } V = \text{Vazão} / A$$

$$\text{Logo, } V = 0,002/0,00049 = V = 4,08 \text{ m/s}$$

Qual a velocidade da água através de um furo na lateral de um tanque, se o desnível entre o furo e a superfície livre é de 2 m?

FIGURA 35 – DESENHO DE UM TANQUE LATERAL COM FURO

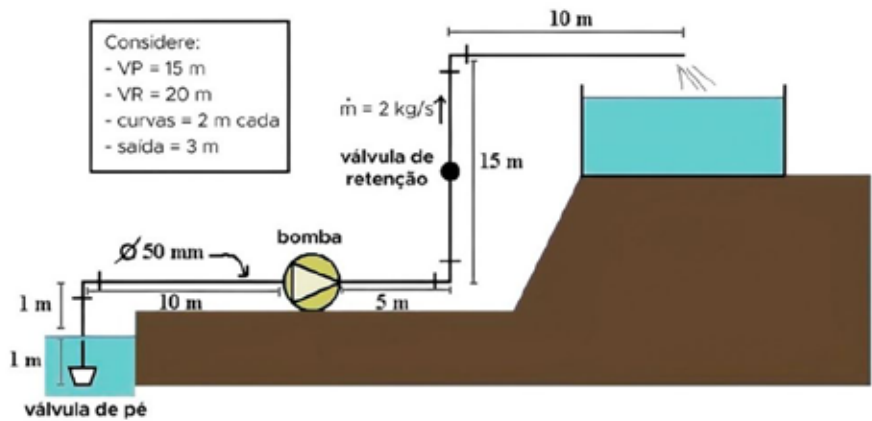


FONTE: Adaptado de UFSC (2016)

Utilizando a equação de Bernoulli simplificada e considerando $z_1 = 2 \text{ m}$ e $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, pode-se calcular a velocidade da água pela equação a seguir: $V_2 = \sqrt{2gz_1} = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 2} = 6,26 \text{ m/s}$.

Qual é a potência da bomba?

FIGURA 36 – DESENHO ESQUEMÁTICO DA TUBULAÇÃO COM ASSESSÓRIOS E BOMBA



FONTE: Adaptado de UFSC (2016)

Primeiramente, é preciso determinar as perdas de carga nos trechos retos e nos acessórios da (válvulas, curvas etc.).

QUADRO 1 – DADOS DE ASSESSÓRIOS DA TUBULAÇÃO DE SUÇÃO E RECALQUE

Sucção	Recalque
VP = 15 m	Curvas 90° = 2 x 2 = 4 m
Curva 90° = 2 m	VR = 20 m
Trechos retos = 12 m	Trechos retos = 30 m
Total (Ls) = 29 m	Saída = 3 m
	Total (Lr) = 57 m

FONTE: Adaptado de UFSC (2016)

Cálculo da velocidade de escoamento da água:

Considerando o fluxo de massa igual a 2 kg/s, pode-se determinar a vazão simplesmente dividindo esse valor por 1000, pois a vazão é dada em [m³/s]. Fazendo o cálculo, obtém-se Vazão Vz = 0,002 m³/s. Agora, sabendo que o diâmetro da tubulação é de 50 mm, pode-se calcular a área da seção transversal do tubo: $A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,05)^2}{4} = 0,00196 \text{ m}^2$.

Tendo a área e a vazão, a velocidade de escoamento da água é determinada por: Vz = V . A, em que se tem $V = \frac{Vz}{A} = \frac{0,002 \text{ m}^3/\text{s}}{0,00196 \text{ m}^2} = 1,02 \text{ m/s}$

Agora, resta calcular a perda de carga total na tubulação: $Re = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{1,02 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,05 \text{ m}}{1,006 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 5 \times 10^4$. Com Re, é obtido o fator de atrito f no Diagrama de Moody.

Encontra-se $f = 0,021$. Logo: $L_t = L_s + L_r = 29 + 57 = 86 \text{ m}$

$$\Delta e_{total} = \frac{f \cdot L_{total} \cdot V^2}{2 \cdot D} = \frac{0,021 \cdot 86 \cdot 1,02^2}{2 \cdot 0,05} = 18,66 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Finalmente, após as devidas simplificações na equação de Bernoulli, pode-se calcular a potência da bomba da seguinte forma: $W_b = m \left[\frac{V^2}{2} + g \cdot z_2 + \Delta e_t \right] = 2,00 \left[\frac{1,02^2}{2} + 9,81 \cdot 16 + 18,66 \right] = 2 \cdot (176,1) = 352,2 \text{ W}$.

Observe-se que a altura z_2 é igual a $15 \text{ m} + 1 \text{ m} = 16 \text{ m}$, já que o ponto 1 é considerado na superfície livre da água.

Agora, basta acessar os sites dos fabricantes de bombas e selecionar nos catálogos qual a mais conveniente para essa faixa de vazão e potência.

LEITURA COMPLEMENTAR



AValiação Hidráulica de um Sistema de Irrigação Localizada de Baixa Pressão, Projetado pelo Software “Bubblers” 1

Ivam H. de Souza
Eunice M. de Andrade
Elio L. da Silva

RESUMO

Conduziu-se este trabalho com o objetivo de avaliar o desempenho de um sistema de irrigação a baixa pressão, *bubblers*, em condições de campo. A avaliação consistiu de um estudo dividido em duas fases, em que, na primeira, foi elaborado o dimensionamento hidráulico do sistema de irrigação com uso do programa computacional *Bubblers* versão 1.1, enquanto, na segunda fase, ocorreram a instalação e os testes de campo. Estabeleceram-se as alturas de 0,77; 0,71; 0,68 e 0,67 m na saída das mangueiras emissoras no campo, conforme recomendação do programa. Foram feitas as avaliações de vazão em cada mangueira emissora, para determinar o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), a Uniformidade de Distribuição (UD) e a Eficiência de Aplicação (EA). Os testes mostraram CUC igual a 96,64%, UD igual a 95,85% e EA igual a 86,98%. O sistema no campo proporcionou vazão média de 64,8 L h⁻¹ contra os 79,2 L h⁻¹ estabelecidos pelo programa. Os valores encontrados de vazão diferiram dos valores projetados pelo aplicativo em consequência da variação dos diâmetros e das perdas de carga (linear e localizada) que apresentaram desvio-padrão de 0,23 m.

PALAVRAS-CHAVE: irrigação *bubblers*, dimensionamento, uniformidade.

INTRODUÇÃO

A grande quantidade de água requerida para a prática da irrigação, o decréscimo de sua disponibilidade e o alto custo da energia necessária à sua aplicação têm aumentado o interesse pela racionalização desse recurso de forma a minimizar as suas perdas (AZEVEDO *et al.*, 1999). Pelo exposto, é necessário minimizar a quantidade de água aplicada via irrigação sem, contudo, comprometer a produção final. Nos dias atuais, o emprego da irrigação localizada vem sendo muito aplicado com esse objetivo.

A irrigação localizada caracteriza-se, basicamente, pela aplicação da água numa fração do volume do solo explorado pelas raízes da planta, de forma pontual ou em faixa contínua, geralmente, com distribuição pressurizada por meio de pequenas vazões e curtos intervalos de rega, mantendo níveis de umidade ideais para a cultura (BERNARDO, 1995).

Na irrigação localizada, a uniformidade de aplicação da água ao longo da linha lateral está intimamente relacionada à variação de vazão dos emissores, que é devida às perdas de carga ao longo do tubo e das inserções dos emissores, dos ganhos e perdas de energia de posição, da qualidade do tubo, das obstruções e efeitos da temperatura da água sobre o regime de escoamento e geometria do emissor (HOWELL e HILLER, 1974; GOMES, 1999). todavia, estudos realizados em laboratórios concluíram que temperaturas entre 25 °C e 32 °C não alteram a vazão do gotejador de forma significativa (OLIVEIRA, 1978; OLIVEIRA *et al.*, 2000).

A aplicação de água no solo com a finalidade de fornecer às espécies vegetais a umidade necessária ao seu desenvolvimento pode ser realizada por meio dos mais diversos métodos de irrigação. Dentre os métodos que aplicam a água com alta frequência e de forma localizada, estão gotejamento, microaspersão, *bubbler* e subsuperficial.

Rawlins (1977) foi quem primeiro descreveu o sistema de irrigação por gravidade em condutos fechados, chamando-o sistema de irrigação *bubbler* de baixa pressão, que opera a baixas pressões (a partir de 13 kPa) e se difere dos outros tipos de irrigação localizada pelo fato de o fluxo de água ser devido apenas à força da gravidade. O sistema, basicamente, não exige energia externa (bombeamento) ou filtragem (REYNOLDS, 1993; REYNOLDS e YITAYEW, 1995). Assim, mesmo quando o bombeamento é necessário, bombas de baixa capacidade de elevação são suficientes.

A simplicidade de instalação, o manejo e a elevada eficiência de irrigação do sistema *bubbler* podem permitir a sua adoção por parte do pequeno produtor. O presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho hidráulico do sistema de irrigação *bubbler* em campo e compará-lo com o planejamento teórico, fornecido pelo programa computacional *Bubbler* versão 1.1 (DIDAN *et al.*, 1995).

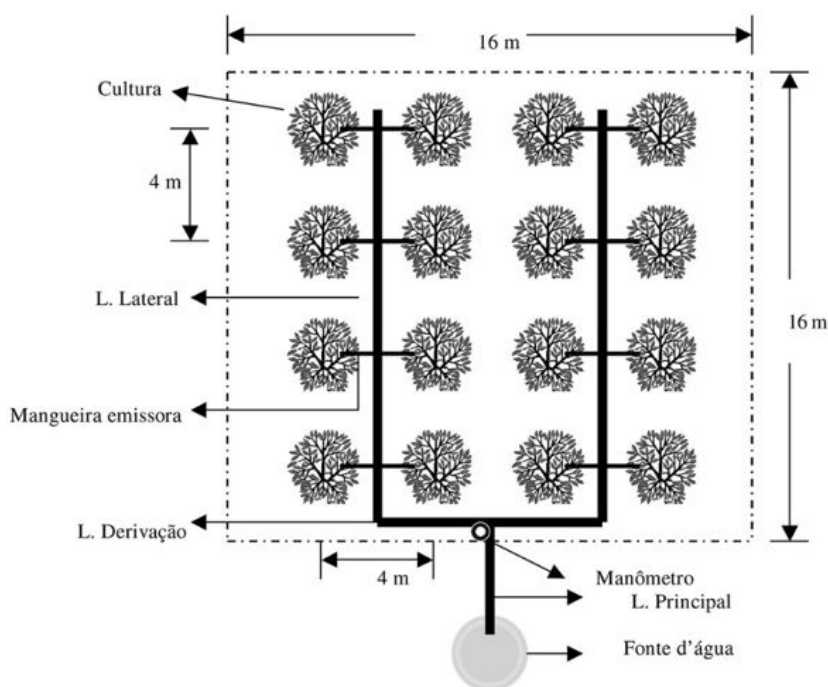
MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em propriedade localizada no município de Caucaia-CE, com latitude 3°44'10"S, longitude 38°39'11"W e altitude 29,91 m. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Bsh (semi-árido) e a topografia do local é suavemente plana, com solo de textura arenosa. Na área útil de 256 m², foi instalado o sistema de irrigação por gravidade *bubbler* na implantação de pomar de cajueiro anão-precoce, variedade CCP76, procedente da EMBRAPACNPAT, com espaçamento adensado de 4 x 4 m. O experimento foi iniciado em agosto de 2000.

A água foi conduzida da fonte até as plantas, por meio de tubos, eliminando as perdas por condução e minimizando as perdas por percolação, uma vez que se aplica a água apenas em parte da área e sob a copa das plantas, em microbacias. Não existia dispositivo na ponta dos microtubos para dissipar a pressão. Foi empregada cobertura morta nas microbacias, com o objetivo de evitar o impacto da água com o solo e reduzir perdas de água pela evaporação.

O sistema de irrigação consistia de linha principal conectada à fonte de água (caixa d'água), coluna com manômetro para controle da carga hidráulica, linha de derivação, linhas laterais e mangueiras emissoras conectadas às laterais, conforme descrevem Reynolds (1993) e Reynolds *et al.* (1995) e é ilustrado pelas Figuras 1 a seguir.

FIGURA 1 – ESQUEMA DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO *BUBBLER* PARA A CULTURA DE CAJU ANÃO-PRECOCE EM ESPAÇAMENTO ADENSADO 4 X 4 M (SEM ESCALA)



O sistema projetado para este estudo foi composto de 16 saídas de tubo de polietileno, espaçadas de 4 em 4 m, sendo oito por linha lateral, com duas laterais de 14 m de comprimento (Figura 1). O suprimento d'água foi realizado por meio de um reservatório que estava elevado a 10 m de altura em relação à área irrigada e foi controlado por um registro de gaveta localizado na coluna de controle, o qual permitia carga constante de 1,69 m de coluna d'água, definido pelo aplicativo e marcado no manômetro (mangueira cristal de 12,5 mm de diâmetro).

Dimensionou-se o sistema de irrigação com o emprego do programa computacional *Bubbler* - versão 1.1, desenvolvido pelo *Department of Agricultural and Biosystems Engineering of the University of Arizona*, o qual requer os seguintes dados de

entrada: dimensões da área (comprimento e largura), espaçamento da cultura, desnível longitudinal e transversal do terreno, diâmetros internos dos tubos comerciais, elevação e distância da fonte de água, profundidade de aterramento das tubulações e vazão unitária. Assim, instalou-se o sistema de irrigação de acordo com o dimensionamento fornecido pelo programa, enterrando-se os tubos a 0,43 m de profundidade em que ficaram expostas somente as 16 mangueiras emissoras, divididas em grupo de quatro, com altura de saída de 0,77; 0,71; 0,68 e 0,67 m. Para estabelecer as alturas na saída das mangueiras emissoras, utilizou-se de nível de mangueira cristal, tendo-se atribuído à superfície do solo próximo à coluna e manômetro a cota zero. As mangueiras emissoras foram presas em ripas cravadas no solo, de maneira a manterem fixas as alturas na saída de água, conforme mostra a Figura 2.

FIGURA 2 – ALTURA DAS MANGUEIRAS EMISSORAS



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 1 e 2, apresenta-se o resumo dos resultados fornecidos pelo programa *Bubbler*, versão 1.1, para os dados do experimento. O programa dimensionou mangueiras emissoras com diâmetro interno de 6 mm e demais tubulações de 20 mm de diâmetro interno, conforme diâmetros comerciais fornecidos ao aplicativo. Entretanto, os diâmetros aferidos no campo foram, em média, 5,79 mm e 19,5 mm, respectivamente, o que indica variabilidade de fabricação. Foi verificada redução de 18% na vazão do “emissor”, quando comparada com a definida pelo aplicativo (0,022 L s⁻¹). Observações de campo demonstraram que a vazão teórica, aquela definida pelo programa, pode ser obtida elevando-se a carga hidráulica, na coluna de controle, para 21 kPa, quando são compensadas as diferenças de pressão, nas saídas das tubulações, decorrentes da perda de carga.

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA FORNECIDAS PELO APLICATIVO BUBBLER VERSÃO 1.1

Tubulação	Comprimento (m)	Vazão (L s ⁻¹)	Diâmetro Interno (mm)	Pressão (kPa)
Linha Principal	52,00	0,352	20	16,9
Linha de Derivação	8,00	0,352	20	15,9
Linha Lateral	14,00	0,176	20	15,9
Mangueira emissora	3,36	0,022	6	-

A distribuição das perdas de carga (linear e localizada) pode ser vista na Tabela 2. Constataram-se perdas de carga no campo superiores às fornecidas pelo programa. No total, observou-se perda de carga 23,34% (Tabela 2) maior que a prevista, o que resultou em menor vazão do sistema. As menores variações entre as perdas teóricas e as observadas em campo ocorreram na linha lateral (10,74%), enquanto a maior porcentagem (37,50%) foi encontrada na perda de carga acessórios/localizada, sendo decorrente da adaptação de três conexões na derivação para a instalação da coluna de controle, uma vez que o aplicativo utiliza diâmetro-padrão não disponível no mercado local. O acréscimo das demais perdas explica-se pela diferença de diâmetros (teórico e prático) ocorrida nas tubulações, que é, de acordo com a fórmula Darcy-Weissbach, diretamente proporcional à raiz cúbica da vazão.

TABELA 2 – PERDAS DE CARGA TEÓRICA E OBSERVADA

Componente	Perda de Carga (m)		Variação Porcentual (%)	
	Teórica	Observada	Observada*	Observada/Teórica
Linha de derivação	0,199	0,225	11,89	13,06
Linha lateral	0,149	0,165	8,72	10,74
Mangueira emissora	0,690	0,820	43,35	18,84
Acessórios/localizadas	0,496	0,682	36,04	37,50
Total	1,534	1,892	100,00	23,34

*Participação de cada componente no total das perdas de carga observada

Normalmente, e para efeito de projetos, em sistemas de microirrigação, aconselha-se acrescentar 5% da pressão necessária no início do sistema (OLITTA, 1987) ou 10% das perdas de carga linear (GOMES, 1999) para compensar as perdas localizadas. No caso específico do *bubbler*, essa recomendação não é válida por se tratar de sistema de baixíssima pressão (na ordem de 13 kPa, no mínimo) e ter o fluxo de água submetido apenas à força da gravidade, com reduzido atrito.

De acordo com as observações de campo neste estudo, as perdas de carga localizadas representaram 36,04% da perda de carga total, como mostra a Tabela 3 a seguir. Constatou-se, ainda, o seguinte uso da pressão disponível pelos diferentes componentes do sistema: 43,34% pelas mangueiras emissoras, 8,72% pela linha lateral e 11,89% pela linha de derivação. As perdas de carga da linha principal não foram computadas porque o controle de pressão do sistema fica localizado no início

da derivação (Figura 1). Assim, a distribuição percentual dos valores observada está próxima daquela definida por Reynolds (1993), quando afirmou que 50% da pressão disponível é alocada para as mangueiras emissoras.

Os valores de vazão média para cada mangueira emissora, apresentados na Tabela 3, permitiram determinar o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e a Uniformidade de Distribuição (UD). Os valores encontrados de 96,64% e 95,85% para o CUC e UD, respectivamente, demonstram que o desempenho do sistema pode ser classificado dentro de um grau de aceitabilidade excelente, de acordo com Barreto Filho *et al.* (2000). Segundo Gomes (1999), a uniformidade de distribuição recomendada para clima árido e topografia uniforme com gradiente de declividade inferior a 2% é de 90 a 95%. Já Vermeiren e Jobling (1997) citam que os valores médios determinados no campo devem estar dentro da faixa de 85 a 95%. Portanto, os valores obtidos nesta pesquisa foram superiores aos limites recomendados, expressando bom desempenho do sistema instalado.

A uniformidade de distribuição acima do valor padrão era esperada porque cada mangueira emissora foi ajustada individualmente por meio de um nível de mangueira (característica do sistema), independentemente do número de saídas, como ocorre nos demais sistemas de irrigação localizada que apresenta maior uniformidade com menor número de emissores.

TABELA 3 – MÉDIA DAS VAZÕES POR SAÍDAS (MANGUEIRAS EMISSORAS)

Saídas	Vazão (L h ⁻¹)	Saídas	Vazão (L h ⁻¹)	Saídas	Vazão (L h ⁻¹)	Saídas	Vazão (L h ⁻¹)
1	67,00	5	65,93	9	61,86	13	62,94
2	69,23	6	66,91	10	62,54	14	64,56
3	62,07	7	69,79	11	65,84	15	62,07
4	65,60	8	62,07	12	64,54	16	61,86

A Eficiência de Aplicação (EA) obtida por meio da eq.(5), neste ensaio de campo, foi de 86,98%. Assim, Keller e Bliesner (1990) recomendam valores em torno de 80% para sistemas de microirrigação. Considerando-se a observação de Reynolds (1993) de que uma EA de 85% pode ser considerada adequada para *bubbler*, pode-se afirmar que o sistema instalado tem boa eficiência e excelente uniformidade.

Logo, os valores elevados dos coeficientes de avaliação hidráulica de um sistema de irrigação localizada verificados neste ensaio (Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, Uniformidade de Distribuição e Eficiência de Aplicação) atestam com segurança a eficácia do planejamento teórico definido pelo aplicativo *Bubbler*, versão 1.1.

CONCLUSÕES

O desempenho hidráulico do sistema de irrigação localizada de baixa pressão, *bubbler*, em campo, foi considerado satisfatório por apresentar boa eficiência e excelente uniformidade.

O programa computacional *Bubbler*, versão 1.1, é adequado ao dimensionamento hidráulico de um projeto de irrigação de pequeno porte e baixa pressão.

FONTE: SOUZA, I. H. de; ANDRADE, E. M. de; SILVA, E. L. da. Avaliação hidráulica de um sistema de irrigação localizada de baixa pressão, projetado pelo software "*Bubbler*". **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 264-271, jan.-abr. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/qhxmBrGwVNDSFhccRxTC-Jxk/?lang=pt&format=pdf> Acesso em: 27 jan. 2022.

RESUMO DO TÓPICO 3

Neste tópico, você adquiriu certos aprendizados, como:

- Conceitos hidrograma de projeto e fundamentos quanto a metodologias de representação simplificada dos modelos de simulação de chuva-vazão são importantes.
- É preciso entender os conceitos de custos unitários, que podem ser utilizados para a resolução de problemas.
- É necessário compreender os conceitos iniciais sobre cálculos hidráulicos e sua importância para a engenharia hidráulica.
- É imprescindível compreender exemplos práticos sobre alguns cálculos hidráulicos por meio de representação esquemática.

AUTOATIVIDADE



- 1 A vazão máxima de projeto pode ser estimada com base em séries de vazões históricas ou a partir de séries de precipitação e sua transformação em vazão por modelos hidrológicos do tipo precipitação-vazão. Sobre o assunto hidrograma de uma bacia, assinale a alternativa correta:
 - a) ☐ Tempo de recessão, tempo de base, tempo resultante, tempo de pico.
 - b) ☐ Tempo parado, tempo de concentração, tempo de recuperação, tempo base, tempo anual.
 - c) ☐ Tempo de retardo, tempo de pico, tempo de concentração, tempo de ascensão, tempo de base, tempo de recessão.
 - d) ☐ Tempo de pico, tempo anual, tempo mensal, tempo de ascensão.

- 2 O montante que ocorre na empresa, independentemente do volume de produção ou de serviço, não está relacionado às oscilações na atividade de produção, como, por exemplo, o custo de pessoal administrativo, aluguéis, gastos em comunicação, seguro, entre outros. Sobre esse custo, assinale a alternativa correta:
 - a) ☐ Custo indireto.
 - b) ☐ Custo direto.
 - c) ☐ Custo fixo.
 - d) ☐ Custo variável.

- 3 Os gastos industriais podem ser alocados direta e objetivamente aos produtos. Assim, ao se considerar uma linha de produtos, os custos de materiais e de mão de obra estão envolvidos em sua manufatura. Sobre esses custos, assinale a alternativa correta:
 - a) ☐ Custos diretos.
 - b) ☐ Custos indiretos.
 - c) ☐ Custos fixos.
 - d) ☐ Custos variáveis.

- 4 O bom monitoramento na área agrícola e urbana é uma alternativa para diversificar o que acontece nos diversos sistemas biológicos ligados à previsão de situações que possam acontecer em um determinado ambiente. Com isso, a modelagem hidrológica é uma das ferramentas de suma importância, pois visa o planejamento e gerenciamento de programas de recursos hídricos de bacias hidrográficas. Diante disso, disserte sobre os principais requisitos para modelagem hidrológica.

- 5 Na engenharia hidráulica, a utilização de custos é essencial, pois há a possibilidade de resolver e implementar situações que aconteçam no mundo dos negócios. Com isso, os custos fazem parte do dia a dia de qualquer empreendimento, independentemente do porte ou tipo societário, ou seja, são todos os gastos ligados diretamente à produção de produtos. Disserte sobre o que é custo variável para sistemas elevatório-reservatório.

REFERÊNCIAS

ALCOVER JR., P. R. C.; PUKASIEWICZ, A. G. M. Avaliação da resistência à cavitação acelerada ASTM G32-03 de aços com diferentes composições químicas e microestrutura. *In: XIX CONGRESSO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA MECÂNICA*, 2012, São Paulo. **Anais**. São Paulo, 2012.

AZEVEDO NETTO, J. M. **Manual de hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

BAPTISTA, M. P. (Org). **Hidráulica aplicada**. São Paulo: ABRH, 2003.

BAPTISTA, M.; LARA, M. **Fundamentos de engenharia hidráulica**. 3. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

BAPTISTA, M.; LARA, M. **Fundamentos de engenharia hidráulica**. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

BAPTISTA, M.P. (Org). **Hidráulica aplicada**. São Paulo: ABRH, 2003.

BERTOGLIO, O.; BRASAGA, B. A. Projetos de investimentos, empreendedorismo e aspectos de mercado: caracterização e importância para as organizações. **RACI – Revista de Administração e Ciências Contábeis do Ideau**, Getúlio Vargas, v. 3, n. 7, jul./dez. 2008.

BORNIA, A.C. **Mensuração das perdas dos processos produtivos**: uma abordagem metodológica de controle interno. 1995. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

CALLADO, A. A. C.; CALLADO, A. L. C. Custos: um desafio para a gestão no agronegócio. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS*, 1999, São Paulo. **Anais**. São Paulo: FEA/USP, 1999.

CANNIZZARO, D.; PEZZINGA, G. Energy dissipation in transient gaseous cavitation. **Journal of Hydraulic Engineering**, Reston-VA, v. 131, p. 724-732, 2005.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITTKE, B. H. **Análise de investimentos**: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial. Curitiba: Atlas, 2011.

CHOW, V. **Open channel hydraulics**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1959.

CIRILO. **Tabelas Coeficientes de Manning**. 2001.

DUNNE, T.; LEOPOLD, L. B. **Water in environmental planning**. New York: W. H. Freeman and Company, 1978.

FERGUSON, R. I. Hydraulics and hydraulic geometry. **Progress in Physical Geography**, Thousand Oaks-CA, v. 10, p.1-31, 1986.

FERREIRA, M. M.; REIS, J. A. T. D.; MANDONÇA, A. S. F. Estimativas de vazões máximas para cursos d'água da bacia hidrográfica do Rio Itapemirim. **Revista CIATEC - UPF**, Goiabeiras - Vitória, v. 7, n. 1, p. 67 - 78, 2015.

FIALHO, A. B. **Automação hidráulica**: projetos, dimensionamento e análise de circuitos. 7 ed. São Paulo: Érica, 2018.

FIALHO, A. B. **Automação hidráulica**: projetos, dimensionamento e análise de circuitos. 7 ed. São Paulo: Érica, 2018.

FINOTTI, A.R. *et al.* **Monitoramento de recursos hídricos em áreas urbanas**. Caxias do Sul: EDUCS, 2009.

FULLER, J. L., ARMSTRONG, N. How to analyze and estimate cost. *In*: JOINT ISPA/SCEA INTERNATIONAL CONFERENCE. **Anais**. San Antonio: ISPA, 1999.

GILLOT, S. *et al.* **Optimization of wastewater treatment plant design and operation using simulation and cost analysis**. Belgium: University of Gent, 1999.

GUEDES, A. S. **Hidráulica**. Pelotas: UFPEL, 2018.

HIGGINS, R.C. **Analysis for financial management**. 4. ed. Homewood-IL: Richard D. Irwin, Inc., 1995.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos**. São Paulo: Atlas, 2010.

HOFFMANN, R. *et al.* **Administração da empresa agrícola**. São Paulo: Pioneira, 1978.

JUNIOR, J.B.T. **Hidráulica agrícola**. Santa Catarina: UFSC, 2021.

JÚNIOR, O. G. D.; TORRES, I. A. As contribuições do valor presente líquido, da taxa interna de retorno, do payback e do fluxo de caixa descontado para avaliação e análise de um projeto de investimento em cenário hipotético. **Universitas: Gestão e TI**, Brasília, v. 3, n. 1, 2013.

KAISER, I. M. **Avaliação de métodos de composição de campos de precipitação para uso em modelos hidrológicos distribuídos**. 2006. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

KASSAI, J. R. *et al.* **Retorno de investimento**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

KLIEMANN NETO, F. J. **Custos industriais**. 1986. Apostila – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1986.

KLIEMANN NETO, F.J.; MULLER C.J. A mudança dos sistemas de custeio em ambientes modernos de manufatura: um estudo de caso. *In*: I CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO ESTRATÉGICA DE CUSTOS. **Anais**. São Leopoldo, 1994.

LENCASTRE, A. **Hidráulica geral**. Portugal: Hidroprojecto, 1983.

LENCASTRE, A. **Manual de hidráulica geral**. São Paulo: Edgard Blücher, 1972.

LEOPOLD, L.B.; MADDOCK, T. **The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications**. United States Geological Survey, Prof. Paper. 252, 1953.

LINSINGEN, I. V. **Fundamentos de sistemas hidráulicos**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

LYRA, G. B.; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S. Coeficiente de rugosidade de Manning para o rio Paracatu. **Revista Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 343- 350, 2010.

MACINTYRE, A.J. **Máquinas motrizes hidráulicas**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.

MARTINS, E. **Contabilidade de custos**. 7. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2000.

MESA, D. H.; GARZÓN, C. M.; TSCHIPTSCHIN, A. P. Avaliação da resistência ao desgaste erosivo gerado por cavitação em aços inoxidáveis austeníticos com alto teor de nitrogênio: estudo dos mecanismos de desgaste. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 63, n. 1, p. 147-152, 2010.

MORAES, J. M.; *et al.* Propriedades físicas dos solos na parametrização de um modelo hidrológico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 61-70, 2003.

NEVES, E.T. **Curso de hidráulica**. Rio de Janeiro: Globo, 1979.

PANZETER, A. A. **A methodology for modeling the cost and duration of concrete highway bridges**. 1993. Tese (Doctor of Philosophy in Civil Engineering) – Purdue University, West Lafayette-IN, 1993.

PERES, J. G. **Hidráulica agrícola**. São Carlos: UFSCar, 2015.

POLESE, E. L. **Eficiência energética em sistemas de bombeamento**: uso do variador de frequência. Trabalho de Conclusão Curso (Graduação em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2010.

PORTO, R. de M. **Hidráulica básica**. 4. ed. São Carlos: EESC/ USP, 2006.

PORTO, R. de M. **Hidráulica básica**. São Carlos: EESC/USP, 1998.

PRUSKI, F.F. (Org). **Hidros**: dimensionamento de sistemas hidroagrícolas. Viçosa: UFRV, 2006.

RIGGS, H.C. Streamflow characteristics from channel size. **Journal of the Hydraulics Division**, Reston-VA, n.104, p. 87-96, 1978.

ROTAVA, O. **Aplicações práticas em escoamento de fluidos**: cálculo de tubulações, válvulas de controle e bombas centrífugas. 1 ed. São Paulo: LTC, 2011.

SILVA, R. A. F. **Fabricação e estudo de uma bomba hidráulica de baixo custo:** bomba decorda. Monografia (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2018.

SILVA, R. E. **Assinaturas topográficas humanas (ATH'S) no contexto dos canais derivados multifuncionais e suas repercussões hidrogeomorfológicas.** 2018. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

SMITHERS, J.; SCHULZE R.; KIENZLE S. Design flood estimation using a modelling approach: a case study using the ACRU model. **IAHS**, v. 240, p. 365-375, 1997.

SOTELO AVILA, G. **Hidraulica general.** v. 1. Limusa: Ed. México, 1980.

SOUTO, J. N. **Análise e estudo de escoamento em condutos livres com um tratamento computacional através de software de simulação.** Monografia (Trabalho de conclusão de curso, Engenharia da Computação, Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas) – UniCEUB, Brasília, 2008.

SOUZA, I. H. de; ANDRADE, E. M. de; SILVA, E. L. da. Avaliação hidráulica de um sistema de irrigação localizada de baixa pressão, projetado pelo software “*Bubbler*”. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 264-271, jan.-abr. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/qhxmBrGwVNDSFhccRxTCJxk/?lang=pt&format=pdf> Acesso em: 27 jan. 2022.

SOUZA, Z.; FUCHS, R. D.; SANTOS, A. H. M. **Centrais hidro e termelétricas.** São Paulo: Ed. Blücher, 1983.

SUÁREZ, Y. V. **Estudo da resistência ao escoamento em canais de fundo fixo.** 2000.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E. **Engenharia de irrigação:** tubos e acessórios. Campinas: Unicamp, 2015.

TSUTIYA, M. T **Abastecimento de água.** 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária de Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-SP, 2006.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia:** ciência e aplicação. 3. ed. Porto Alegre: ABRH, 2004.

TUCCI, C.E.M. Estimativa do volume para controle da drenagem no lote. *In*: BRAGA, B.; TUCCI, C. E. M.; TOZZI, M. **Drenagem urbana:** gerenciamento simulação e controle. Porto Alegre. Editora da UFRGS/ABRH, 1998.

WRD – Water Resources Department. **Guidelines to Prepare Manual of Operation & Maintenance of Irrigation Structures.** Government of Rajasthan. 2010.

WYLIE, E. B. **Low void fraction two-component two-phase flow:** unsteady flow and fluid transients. Rotterdam, The Netherlands: Balkema, 1992.