

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**IRRIGAR – APLICATIVO COMPUTACIONAL PARA O
DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE SISTEMAS
DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL**

DANILO DE MATTOS FLORES

DOURADOS, MS

07/2014

**IRRIGAR – APLICATIVO COMPUTACIONAL PARA O
DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE SISTEMAS
DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL**

DANILO DE MATTOS FLORES
Engenheiro Eletricista

Orientador: PROF. DR. LUCIANO OLIVEIRA GEISENHOFF

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Mestre.

DOURADOS, MS
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

F634i	<p>Flores, Danilo de Mattos. Irigar : aplicativo computacional para o dimensionamento econômico de sistemas de irrigação por aspersão convencional. / Danilo de Mattos Flores – Dourados, MS : UFGD, 2014. 133f.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Luciano Oliveira Geisenhoff. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados.</p> <p>1. Projeto. 2. Irrigação. 3. Agricultura. I. Título.</p> <p>CDD –631.587</p>
-------	---

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.

©Todos os direitos reservados. Permitido a publicação parcial desde que citada a fonte.

“IRRIGAR – Aplicativo Computacional para o Dimensionamento Econômico de Sistema de Irrigação por Aspersão Convencional”

por

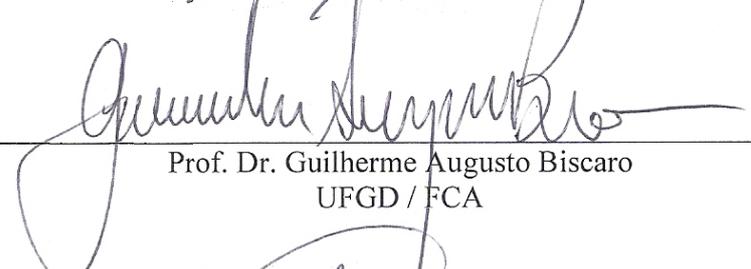
DANILO DE MATTOS FLORES

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Aprovada em: 14 de julho de 2014



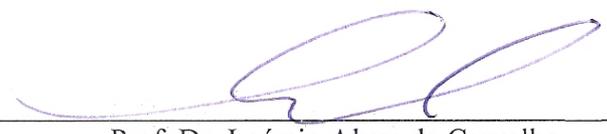
Prof. Dr. Luciano Oliveira Geisenhoff
Orientador – UFGD/FCA



Prof. Dr. Guilherme Augusto Biscaro
UFGD / FCA



Prof. Dr. Alexsandro Claudio dos Santos Almeida
UFGD/FCA



Prof. Dr. Laércio Alves de Carvalho
UEMS

*A minha mãe e a
minha irmã Luciana,*

Ofereço.

*A minha esposa Tavane e
ao nosso filho Vincenzo,*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade de viver e aprender;

Ao Professor Dr. Luciano Oliveira Geisenhoff pela confiança, companheirismo e pelas valiosas orientações;

Aos membros da banca de qualificação, Prof. Dr. Guilherme Augusto Biscaro e Prof. Dr. Alexsandro Claudio dos Santos Almeida, pelas dicas e sugestões que permitiram o aperfeiçoamento e enriquecimento científico deste trabalho;

A Prof. Ma. Andréa Romero Karmouche, responsável pelo Laboratório de Eficiência Energética da UFMS, pelo apoio na fase final de conclusão deste trabalho.

A todos os professores do curso de mestrado pela transmissão de seus conhecimentos;

A todos os colegas pela oportunidade do convívio;

Ao CNPQ pela concessão da bolsa de estudos durante o primeiro ano do mestrado.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
3. MATERIAL E MÉTODO.....	13
3.1. Apresentação do aplicativo computacional.....	13
3.1.1. Menus, sub menu e opções.....	14
3.1.2. Ambiente para a elaboração de projetos.....	15
3.1.3. Flexibilidade de acesso.....	19
3.1.5. Tipos de linhas para o layout do sistema de irrigação.....	20
3.2. Considerações iniciais para a elaboração do projeto.....	20
3.3. Dimensionamento agrônômico e operacional.....	20
3.3.1. Intensidade de aplicação.....	22
3.3.2. Disponibilidade total de água.....	22
3.3.3. Capacidade total de água.....	23
3.3.4. Capacidade real de água.....	23
3.3.5. Turno de rega calculado.....	23
3.3.6. Lâmina líquida.....	23
3.3.7. Fator de disponibilidade corrigido.....	24
3.3.8. Período de irrigação.....	24
3.3.9. Lâmina bruta.....	24
3.3.10. Tempo de irrigação.....	24
3.3.11. Tempo de mudança de linha.....	25
3.3.12. Número de posições da linha lateral por dia.....	25
3.3.13. Número de posições a serem irrigadas por dia.....	25
3.3.14. Número de linhas laterais.....	26
3.4. Dimensionamento hidráulico e econômico.....	26
3.5. Conceitos para o dimensionamento hidráulico.....	27
3.5.1. Propriedades físicas da água.....	28
3.5.2. Pressão atmosférica local.....	29
3.5.3. Equação de Bresse.....	30

3.5.4. Equação universal de Darcy-Weissbach.....	31
3.5.5. Fator de atrito e regime de escoamento da água.....	32
3.5.6. Número de Reynolds.....	32
3.5.7. Rugosidade absoluta.....	33
3.5.8. Rugosidade relativa.....	33
3.5.9. Espessura do filme laminar.....	33
3.5.10. Fator de atrito de Swamee.....	34
3.5.11. Regime turbulento liso.....	34
3.5.12. Fator de atrito de Blasius.....	35
3.5.13. Fator de atrito de Von Kármán-Prandtl.....	35
3.5.14. Fator de atrito de Nikuradse I.....	35
3.5.15. Fator de atrito de Konakov.....	35
3.5.16. Regime turbulento de transição.....	36
3.5.17. Fator de atrito de Prandtl-Colebrook.....	36
3.5.18. Fator de atrito de Colebrook-White.....	36
3.5.19. Fator de atrito de Moody.....	36
3.5.20. Regime turbulento rugoso.....	37
3.5.21. Fator de atrito de Nikuradse II.....	37
3.5.22. Método direto.....	37
3.5.23. Fator de múltiplas saídas.....	38
3.5.24. Relação de espaçamento.....	38
3.5.25. Fator de múltiplas saídas corrigido.....	38
3.5.26. Altura geométrica ou estática.....	39
3.5.27. Pressão na entrada da área irrigada.....	39
3.5.28. Altura manométrica ou dinâmica.....	39
3.5.29. Net positive suction head disponível e requerido.....	41
3.5.30. Dimensionamento de motobomba.....	43
3.5.31. Potência de saída da bomba.....	43
3.5.32. Rendimento da bomba.....	43
3.5.33. Potência de saída do motor.....	44
3.5.34. Potência nominal e fator de serviço do motor.....	44
3.5.35. Rendimento do motor.....	45
3.5.36. Potência de entrada do motor.....	45

3.5.37. Rendimento da motobomba.....	46
3.5.38. Condições gerais para o fornecimento de energia elétrica.....	46
3.5.39. Consumo de energia elétrica da motobomba.....	47
3.5.40. Demanda ativa da motobomba.....	47
3.5.41. Demanda aparente da motobomba.....	48
3.5.42. Potência aparente nominal do posto de transformação.....	48
3.5.43. Dimensionamento de vala.....	48
3.5.44. Altura da vala.....	49
3.5.45. Base menor da vala.....	49
3.5.46. Base maior da vala.....	50
3.5.47. Área da vala.....	50
3.5.48. Volume escavação.....	50
3.5.49. Volume de bota-fora.....	51
3.5.50. Volume de aterro.....	51
3.5.51. Área de recomposição de pavimento.....	51
3.6. Introdução aos custos.....	52
3.6.1. Custos.....	53
3.6.2. Custo dos tubos da linha.....	54
3.6.3. Custo de instalação da linha.....	54
3.6.4. Custo de escavação.....	54
3.6.5. Custo de bota-fora.....	55
3.6.6. Custo de recomposição do pavimento.....	55
3.6.7. Custo de implantação.....	55
3.6.8. Fator de recuperação de capital.....	56
3.6.9. Custo de implantação anual.....	56
3.6.10. Tarificação da energia elétrica.....	56
3.6.11. Demanda mínima.....	58
3.6.12. Desconto para irrigação.....	58
3.6.13. Custo anual da energia elétrica em baixa tensão.....	58
3.6.14. Custo anual da energia elétrica em alta tensão – tarifa convencional.....	58
3.6.15. Custo anual da energia elétrica em alta tensão – tarifa horossazonal verde.....	59

3.6.16. Custo anual da energia elétrica em alta tensão – tarifa horo-sazonal azul.....	59
3.6.17. Custo anual de manutenção.....	60
3.6.18. Custo de operação anual.....	60
3.6.19. Custo total anual.....	60
3.7. Dimensionamento hidráulico de linhas laterais.....	61
3.7.1. Comprimento da linha lateral.....	64
3.7.2. Altura geométrica da linha lateral.....	65
3.7.3. Perda de carga contínua permitida na linha lateral.....	65
3.7.4. Fator de múltiplas saídas da linha lateral.....	65
3.7.5. Fator de múltiplas saídas corrigido da linha lateral.....	66
3.7.6. Perda de carga contínua permitida corrigida na linha lateral.....	66
3.7.7. Vazão de entrada da linha lateral.....	67
3.7.8. Perda de carga contínua mínima na linha lateral.....	67
3.7.9. Diâmetro interno comercial da linha lateral.....	68
3.7.10. Perda de carga contínua da linha lateral.....	68
3.7.11. Pressão na entrada da linha lateral provisória.....	68
3.7.12. Perda de carga localizada da linha lateral por estimativa.....	69
3.7.13. Perda de carga localizada da linha lateral pelo método direto.....	69
3.7.14. Pressão na entrada da linha lateral.....	70
3.8. Dimensionamento hidráulico de linhas de derivação.....	72
3.8.1. Vazão de entrada da linha de derivação.....	74
3.8.2. Número de saídas da linha de derivação.....	74
3.8.3. Comprimento da linha de derivação.....	74
3.8.4. Altura geométrica da linha de derivação.....	75
3.8.5. Fator de múltiplas saídas da linha de derivação.....	75
3.8.6. Fator de múltiplas saídas corrigido da linha de derivação.....	75
3.8.7. Diâmetros recomendados para a linha de derivação.....	76
3.8.8. Perda de carga contínua da linha de derivação.....	77
3.8.9. Perda de carga localizada da linha de derivação por estimativa....	78
3.8.10. Perda de carga localizada da linha de derivação pelo método direto.....	78
3.8.11. Perda de carga da linha de derivação.....	79

3.8.12. Custo dos tubos da linha de derivação.....	79
3.8.13. Custo de instalação da linha de derivação.....	79
3.9. Dimensionamento hidráulico de linhas principais.....	80
3.9.1. Altura geométrica da linha principal.....	81
3.9.2. Diâmetros recomendados para a linha principal.....	81
3.9.3. Perda de carga contínua da linha principal.....	82
3.9.4. Perda de carga localizada da linha principal por estimativa.....	83
3.9.5. Perda de carga localizada da linha principal pelo método direto.....	83
3.9.6. Perda de carga da linha principal.....	84
3.9.7. Custo dos tubos da linha principal.....	84
3.9.8. Custo de instalação da linha principal.....	84
3.10. Parâmetros da motobomba.....	85
3.11. Dimensionamento hidráulico de linhas de recalque.....	86
3.11.1. Altura geométrica da linha de recalque.....	87
3.11.2. Diâmetros recomendados para a linha de recalque.....	87
3.11.3. Perda de carga contínua da linha de recalque.....	88
3.11.4. Perda de carga localizada da linha de recalque por estimativa...89	
3.11.5. Perda de carga localizada da linha de recalque pelo método direto.....	89
3.11.6. Perda de carga da linha de recalque.....	90
3.11.7. Custo dos tubos da linha de recalque.....	90
3.11.8. Custo de instalação da linha de recalque.....	91
3.12. Dimensionamento hidráulico de linhas de sucção.....	91
3.12.1. Diâmetros recomendados para a linha de sucção.....	92
3.12.2. Perda de carga contínua da linha de sucção.....	93
3.12.3. Perda de carga localizada da linha de sucção por estimativa.....	94
3.12.4. Perda de carga localizada da linha de sucção pelo método direto.....	94
3.12.5. Perda de carga da linha de sucção.....	95
3.12.6. Custo dos tubos da linha de sucção.....	95
3.12.7. Custo de instalação da linha de sucção.....	95
3.13. Tempo de funcionamento do sistema.....	96

3.14. Dimensionamento econômico.....	97
3.15. Teste de funcionamento.....	97
4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	102
5. CONCLUSÕES.....	105
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
7. ANEXO.....	108
7.1. Relatório do dimensionamento agrônômico e operacional.....	108
7.2. Relatório do dimensionamento hidráulico da linha lateral.....	109
7.3. Relatório do dimensionamento hidráulico das linhas principais.....	110
7.4. Relatório do dimensionamento hidráulico das linhas de recalque.....	119
7.5. Relatório do dimensionamento hidráulico das linhas de sucção.....	125
7.6. Relatório do dimensionamento econômico ótimo.....	130

RESUMO

IRRIGAR – APLICATIVO COMPUTACIONAL PARA O DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL

O presente trabalho realizado na Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados no Estado do Mato Grosso do Sul – Brasil trata do desenvolvimento em Visual Basic do aplicativo computacional denominado Irrigar, programa específico para a elaboração de projetos de irrigação por aspersão convencional. Construído com o propósito de facilitar os estudos para maximizar a eficiência econômica de sistemas que necessitam consumir energia da rede elétrica de distribuição de concessionárias brasileiras. O aplicativo permite a análise de qualquer layout de irrigação e realiza o dimensionamento hidráulico econômico das linhas de distribuição do sistema pela análise de custos através do método das tentativas com o auxílio da equação de Bresse. As perdas de carga do tipo contínua são determinadas pela equação universal de Darcy-Weissbach, sendo o fator de atrito definido após a comparação do filme laminar com a rugosidade absoluta pela equação mais adequada entre as propostas por Swamee, Blasius, Von Kármán-Prandtl, Nikuradse, Konakov, Prandtl-Colebrook, Colebrook-White ou Moody. As perdas de carga do tipo localizada podem ser estimadas ou calculadas pelo método direto. O aplicativo computacional Irrigar foi testado em um exemplo da literatura e apresentou bom desempenho de funcionamento. Sua utilização proporcionou vários outros benefícios, como, economia de tempo na fase de elaboração do projeto, redução da possibilidade de erros na quantificação da solução e facilidade para a análise e simulação de condições diversas e alternativas de instalação e funcionamento do sistema. Dessa forma, conclui-se que o uso desse recurso tecnológico pode contribuir de forma significativa para viabilizar a utilização desse método de irrigação de forma racional em benefício da agricultura.

Palavras-chave: Projeto, Agricultura, Tecnologia, Simulação, Eficiência Econômica.

ABSTRACT

IRRIGATE - COMPUTER APPLICATION FOR SIZING OF ECONOMIC SYSTEMS IRRIGATION BY SPRINKLER

This work performed at the Faculty of Agricultural Sciences, Federal University of Great Golden State of Mato Grosso do Sul - Brazil is developing in Visual Basic computer application called Irrigate, specific program for the development of irrigation projects by sprinkler. Built with the purpose of facilitating the studies to maximize the economic efficiency of systems that need to consume utility power distribution Brazilian utilities. The application allows the analysis of any irrigation layout and conducts economic design of the hydraulic system distribution lines for cost analysis by the method of attempts with the aid of the Bresse equation. The losses of the continuous type are determined by universal Darcy-Weissbach, and the friction factor defined after comparison of the laminar film with absolute roughness the most appropriate equation between the proposals by Swamee, Blasius, Prandtl-Von Karman, Nikuradse, Konakov, Prandtl-Colebrook, Colebrook-White or Moody. The losses of the localized type can be estimated or calculated by the direct method. The computational Irrigate application was tested on a sample of the literature and showed good working performance. Their use has provided several other benefits, as time savings in preparation of the project, reducing the possibility of errors in the quantification of the solution and ease for the analysis and simulation of different conditions and alternatives of installing and operating the system. Thus, it was concluded that the use of technological resources can contribute significantly to enabling the use of this method of irrigation rationally for the benefit of agriculture.

Keywords: Design, Agriculture, Technology, Simulation, Economic Efficiency.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de irrigação por aspersão convencional devem ser dimensionados de forma econômica para que sua instalação e funcionamento não inviabilizem sua utilização. Na prática, problemas desse tipo, são resolvidos com a adoção de muitas simplificações, que podem distorcer o resultado ótimo da solução, provocando prejuízos financeiros.

É comum encontrar na literatura existente, a proposta de algum método direto e alternativo ao laborioso método iterativo das tentativas, para realizar o dimensionamento econômico de condutos forçados, no entanto, que considera os custos envolvidos de forma simplificada. Da mesma forma, ocorre com as quantificações das perdas de carga dos tipos contínua e localizada, quando não são utilizados a equação universal de Darcy-Weissbach e o método direto.

Neste trabalho foi desenvolvido um aplicativo computacional utilizando a linguagem Visual Basic, para servir de ferramenta de apoio para a elaboração de projetos de sistemas de irrigação por aspersão convencional. Esse aplicativo recebeu o nome de IRRIGAR e, contempla tanto o dimensionamento agrônômico e operacional, como também, o dimensionamento hidráulico e econômico do sistema.

Construído com uma estrutura modular, IRRIGAR permite ao usuário definir o layout das tubulações que serão analisadas. E, também, permite escolher o tipo e a forma de instalação da motobomba. O dimensionamento de linhas laterais é efetuado pelo critério da máxima perda de carga permitida, as demais linhas do sistema são dimensionadas pela análise de custos através do método das tentativas com o auxílio da equação de Bresse.

As perdas de carga do tipo contínua são determinadas pela equação universal de Darcy-Weissbach, sendo o fator de atrito definido após a comparação do filme laminar com a rugosidade absoluta pela equação mais adequada entre as propostas por Swamee, Blasius, Von Kármán-Prandtl, Nikuradse, Konakov, Prandtl-Colebrook, Colebrook-White ou Moody. As perdas de carga do tipo localizada podem ser estimadas ou calculadas pelo método direto.

No aplicativo Irrigar os custos de implantação decorrentes dos gastos com tubos, instalação de tubulações enterradas, motobomba e posto de transformação de energia elétrica, podem ou não serem considerados, e ter seus valores editados. De forma semelhante, ocorre com os custos de operação decorrentes dos gastos com energia elétrica e manutenções.

Além disso, o aplicativo permite determinar as propriedades físicas da água em função da temperatura e a pressão atmosférica em função da altitude do local de instalação da motobomba. Permite ainda, definir as dimensões de valas para o caso de tubulações enterradas e estabelecer os limites mínimo, médio e máximo da faixa econômica de velocidades de escoamento da água.

Na determinação da solução todos os componentes do sistema são dimensionados, os custos são quantificados, e em conjunto são fornecidas a equação da altura manométrica do sistema e a equação do Net Positive Suction Head disponível, essa última, somente para o caso de motobomba de eixo horizontal.

O aplicativo computacional Irrigar não possui banco de dados, porém, seu ambiente de múltiplas janelas permite facilmente a exportação de todos os resultados obtidos para um aplicativo como o Word, onde os resultados obtidos podem ser armazenados, editados e impressos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Para Gomes (1999), a irrigação é uma prática agrícola que deve ser utilizada para complementar o fornecimento de água para as culturas no campo, quando as precipitações naturais não forem suficientes para suprir a demanda hídrica apresentada pelas mesmas.

Mantovani et al. (2009), classificam a irrigação como um técnica capaz de otimizar a produção agrícola, que colabora para melhorar a qualidade e aumentar a produtividade dos alimentos cultivados em uma área. Os autores mencionam os benefícios da irrigação para o desenvolvimento social e econômico de uma região e, também, para a melhoria da qualidade de vida e manutenção do homem no campo. Esses autores relatam que do total da área cultivada no mundo, 17% são irrigadas e responsáveis por 40% da produção. Já, no Brasil, do total da área cultivada, 5% são irrigadas e responsáveis por 16% da produção e por 35% do valor econômico.

Christofidis (2002) citado por Mantovani et al. (2009), relata que os 3,149 milhões de hectares irrigados no Brasil, naquela época, representavam 10,7% dos solos aptos para a agricultura irrigada sustentável disponível no país. Considerando os benefícios da irrigação e pela necessidade de atender o consumo imposto pelo crescimento populacional, o autor, afirmou que existia uma grande tendência de ocorrer uma expansão significativa das áreas irrigadas do Brasil. Que, segundo a estimativa de Mantovani et al. (2009), para o ano de 2012, portanto, após 10 anos, deveria ser igual a 6,4 milhões de hectares, ou seja, mais que o dobro.

Pires et al. (2008), esclarecem que a agricultura irrigada é responsável por 69% do consumo total de água doce do mundo, devido ao fato desse recurso ser essencial para garantir o crescimento produtivo das plantas, porém, 90% da água consumida nessa atividade é devolvida ao ciclo hidrológico pelo processo natural de transpiração das mesmas. Esses autores ressaltam a importância da pesquisa para o desenvolvimento de tecnologias que permitam a prática da irrigação de forma sustentável, racional e eficiente.

Segundo Coelho et al. (2005), a eficiência de aplicação média dos sistemas de irrigação existentes no mundo é de 37% , os autores atribuem o valor baixo desse parâmetro, aos sistemas mal dimensionados e aos manejos inadequados.

Esses autores mencionam a importância, do aperfeiçoamento dos métodos de irrigação, do desenvolvimento e uso das tecnologias e da capacitação técnica dos irrigantes, com o propósito de racionalizar o consumo de água e energia desse setor. Para os autores, tanto a necessidade de outorga para o uso da água, como a tarifação do consumo desse recurso, são políticas fundamentais para promover o uso sustentável da irrigação e a proteção do meio ambiente.

Queiroz et al. (2008), comentam que a necessidade de outorga e a tarifação respectivamente para o uso e consumo da água na agricultura irrigada, é uma consequência natural adotada para preservar esse recurso, que inclusive, de forma semelhante, já ocorreu nos países mais desenvolvidos. Esses autores comentam que o grande desafio atualmente da Engenharia Agrícola, consiste em aperfeiçoar os sistemas de irrigação existentes, diminuindo ao máximo possível as perdas no processo, principalmente, as que ocorrem em função da utilização da água e da energia.

Christofidis (2006) citado por Coelho et al. (2005), fez a divulgação de dados correspondentes aos anos de 2003-2004, que demonstravam o panorama das áreas irrigadas no Brasil por métodos de irrigação, apontando que 50% das áreas irrigadas utilizavam o método por superfície, 21% por pivô central, 20% por aspersão convencional e 9% por localizada. Nesse período, segundo o autor, existia tendência de diminuir o percentual de áreas irrigadas por superfície, aumentar o percentual de áreas irrigadas por pivô central e localizada e estabilizar o percentual das áreas irrigadas por aspersão convencional.

Todos os métodos de irrigação apresentam vantagens e desvantagens de utilização, em geral, os métodos de irrigação por superfície são de baixo custo e, normalmente, não consomem energia, entretanto, possuem baixa eficiência de condução, aplicação e distribuição da água e seu emprego é limitado pela topografia do terreno, pois, a água, deve escoar naturalmente pela ação da gravidade. Por outro lado, os métodos de irrigação pressurizados são de custos relativamente elevados e necessitam de energia para funcionar, porém, apresentam maior eficiência de condução, aplicação e distribuição da água. (Bernardo et al. 2006; Mantovani et al. 2009).

Gomes (1999) ressalta também, que os sistemas de irrigação pressurizados pelos métodos de aspersão e localizada, são mais práticos para o

manejo da irrigação, necessitam de menor quantidade de mão de obra e se adaptam melhor aos diversos tipos de solo, culturas e climas existentes. O autor complementa que excluindo o pivô central, esses sistemas não exigem a sistematização do terreno.

A escolha do método de irrigação a ser utilizado em uma área, se faz mediante um estudo, onde se compara as vantagens e desvantagens de cada método de irrigação, de acordo com a cultura e com as condições locais da área a ser cultivada, como topografia, clima, tipo de solo, disponibilidade e qualidade da água, facilidade para aquisição de mão de obra e fontes de energia existentes (Pires et al. 2008).

Vários autores afirmam que a elaboração de um projeto de irrigação, em geral, envolve a análise de um número relativamente grande de parâmetros e demanda uma seqüência de muitos cálculos. Dessa forma, a utilização de um aplicativo computacional específico para a elaboração de projetos, pode agregar muitos benefícios, como economia de tempo, diminuição da possibilidade de erros de quantificação e facilidade para a simulação e comparação de várias condições diferentes e alternativas de instalação e funcionamento do sistema, colaborando assim, de forma significativa para a determinação da solução ótima (Arruda & Souza, 1992; Andrade & Carvalho, 2000; Botrel & Marquez, 2000).

Andrade & Souza (1992), desenvolveram um aplicativo computacional específico para elaboração de projetos de sistemas pressurizados de irrigação pelos métodos de aspersão e localizada, denominado de Sistema de Cálculo para Irrigação – SCPI. Segundo os autores, o programa em linguagem Turbo Pascal, oferece suporte, tanto para o dimensionamento agrônomico e operacional, como também, para o dimensionamento hidráulico e econômico de um sistema. Possibilita a escolha de sete tipos diferentes para o layout das tubulações, permite o cálculo da perda de carga contínua pelas equações de Darcy-Weissbach, Hazen-Williams, Manning, Scobey, Flamant-Cruciani, Fair-Whipple-Hsião I e II, realiza o dimensionamento da motobomba, determina a altura máxima de sucção e disponibiliza a lista de materiais. Os autores testaram o funcionamento do aplicativo e obterão resultados satisfatórios, por meio do dimensionamento de um sistema por aspersão convencional de ramais móveis, de acordo com os dados de um sistema que já havia sido projetado e executado por um consórcio de empresas, para atender um lote do perímetro irrigado de Curu-Paraipaba em São Luis do Curu (CE).

Andrade & Carvalho (2000), também, desenvolveram um aplicativo computacional específico para o projeto de sistemas de recalque. Segundo os autores o aplicativo é adequado para a elaboração de projetos para atender o abastecimento ou a irrigação, pois, permite a quantificação da perda de carga contínua de forma semelhante ao aplicativo SCPI, que foi descrito anteriormente, possibilita a quantificação das perdas de carga localizadas pelo método do comprimento equivalente e realiza o dimensionamento da adutora de forma econômica pela análise de custos através do método das tentativas.

Botrel & Marques (2000) desenvolveram um aplicativo computacional específico para a elaboração de projetos de irrigação por superfície através de sulcos. Segundo os autores, o aplicativo facilita a elaboração de projetos e a determinação da solução ótima da irrigação por sulcos, onde, a análise dos parâmetros obtidos pelos ensaios de avanço e infiltração da água realizados em campo é fundamental para efetuar o dimensionamento adequado do sistema.

Souza et al. (2005) realizaram a avaliação de um sistema de irrigação de baixa pressão - Bubbler, por meio da comparação dos resultados obtidos em campo e no projeto com o auxílio do aplicativo computacional Bubbler, versão 1.1, desenvolvido no Departamento de Agricultura e Engenharia de Biosistemas da Universidade do Arizona (EUA). A comparação dos resultados, apesar de apresentar algumas diferenças, foi justificada pela variação do diâmetro das mangueiras utilizadas na execução do sistema, dessa forma, foi comprovada a eficiência do aplicativo para a elaboração de projetos.

Filho et al. (2004), utilizou o apoio do aplicativo AgriBombas para efetuar um estudo com o propósito de incrementar a eficiência energética na estação de bombeamento do perímetro irrigado de Mirorós, localizado no município de Ibipeba, Bahia.

Já, Souza et al. (2001), com os dados provenientes de uma estação meteorológica automática e com o apoio do aplicativo computacional SISDA e, também, do método padrão de Penman-Monteith para determinação da evapotranspiração de referência, realizou um experimento em uma área cultivada com café e irrigada por gotejamento, no município de Rio Preto – MG, com o propósito de avaliar o método alternativo de Hargreaves-Samani. A comparação dos resultados obtidos por cada método permitiu verificar que o método alternativo super

estimava o valor da evapotranspiração de referência nessa região e, conseqüentemente, necessitava ser calibrado. Dessa forma, a contribuição da pesquisa desses autores, foi fundamental para incrementar a eficiência e praticidade do manejo da irrigação e, também, para a redução dos custos, que neste caso, será proporcionada pelo uso do método alternativo de forma sofisticada, ou seja, com maior precisão, que, além de apresentar a vantagem de necessitar de uma quantidade menor de parâmetros climáticos para determinar o valor da evapotranspiração de referência, também, demanda menor investimento para a sua utilização.

Farias et al. (2002), montaram um experimento para comprovar o incremento da eficiência econômica dos sistemas de irrigação, proporcionado pela consideração na elaboração de projetos da lâmina complementar, ou seja, reduzindo a lâmina tradicionalmente utilizada, que não considera o fornecimento de água pelas precipitações naturais. Para tanto, utilizaram a cultura do milho como referência e, também, a área cultivada do Estado de Minas Gerais, com os parâmetros climatológicos tradicionalmente utilizados para determinação da evapotranspiração de referência cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e, com os parâmetros pluviométricos cedidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Os autores desenvolveram um aplicativo computacional específico para o balanço hídrico, com a finalidade de quantificar, tanto, a lâmina total, como também, a lâmina complementar. Utilizando técnicas de Geoprocessamento e as lâminas calculadas, esses autores construíram um banco de dados para um Sistema de Informação Geográfica – SIG, que permitiu a confecção de mapas temáticos, tanto, das lâminas, como também, os econômicos, para cada caso. Concluindo que essa consideração era praticável em quase toda a área analisada e, que o incremento da eficiência econômica era significativo.

A pesquisa conduzida por Tenório et al. (2008) em uma propriedade situada no município de Mal. Deodoro (AL), teve o propósito de verificar qual método estatístico, seria mais apropriado, para representar a velocidade básica de infiltração da água em projetos de irrigação por aspersão convencional. De acordo, com os dados obtidos por ensaios, em 97 pontos, dentro da área irrigada pelo método dos anéis concêntricos. Além, de fundamentos de estatística, os autores, com o objetivo de confeccionar mapas para exibir de forma visual, agradável e objetiva os resultados obtidos, fizeram a utilização do aplicativo computacional SUFER 6.0 –

GOLDEN SOFTWARE e, também, da técnica de interpolação por krigagem para definição das linhas de contorno do mapa, com a finalidade de separar as áreas onde a infiltração ocorreu de forma satisfatória, das áreas de alagamento e escoamento superficial. De acordo com os resultados, os autores concluíram que o valor obtido pela moda, consiste no método estatístico mais eficiente para representar esse parâmetro, o que contrária, o uso do método da média aritmética simples, que tradicionalmente na prática é mais utilizado. O aperfeiçoamento e sofisticação da metodologia utilizada para representar a velocidade básica de infiltração da água de uma área cultivada, que utiliza o sistema de irrigação por aspersão convencional, foi proporcionada pela pesquisa e, contribui de forma significativa, para o incremento da eficiência operacional e econômica desse tipo de sistema.

Os dispositivos do tipo elétrico e eletrônico, tanto, os rudimentares a base de relé eletromagnético, como o contator e temporizador, aos mais modernos a base de semicondutor, como o controlador lógico programável e o inversor de frequência e, também, os dispositivos desse segmento, desenvolvidos para a transmissão e recepção de sinais de comando e controle, tanto por cabo ou sem fio, como também por via de sinal analógico ou digital, entre outros dispositivos de estrutura mais simples, como botoeira, chave e sinalizador, ou, até mesmo, de estrutura mais complexa, como o próprio computador. Estão sendo aproveitados pelos profissionais da área de irrigação, que, por meio de pesquisas, estão sistematizando e interconectando esses dispositivos, com o propósito de desenvolver tecnologias de automação e controle automático, que possam ser incorporadas aos sistemas de irrigação, agregando eficiência operacional e econômica.

Queiroz et al. (2008), desenvolveram um aplicativo computacional e uma placa eletrônica de interface sem fio, para a comunicação de sinais de comando proveniente dos transdutores instalados para efetuar a leitura de tensiômetros dentro da área irrigada e, de controle provenientes do computador por meio do aplicativo computacional. Esse sistema é um supervisor, que permite a irrigação com precisão determinada em tempo real, ou seja, a lâmina de irrigação é aplicada conforme a demanda apresentada pela cultura naquele instante. Os autores testaram e comprovaram o funcionamento do sistema, ressaltando apenas a necessidade de aumentar o alcance do sistema de comunicação sem fio, que naquela oportunidade era limitada pelo comprimento máximo de 50 metros.

Flores et al. (2013), comparou a performance de painéis de comandos construídos para a mesma finalidade, porém adotando tecnologias diferentes, sendo, um deles pelo emprego de contatores eletromagnéticos e, o outro, com o uso de controlador lógico programável - CLP. Esses painéis foram desenvolvidos na Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados, com a finalidade de permitir o aproveitamento de uma motobomba, constituída, pela associação de um motor de indução do tipo monofásico ou trifásico e uma bomba centrífuga de fluxo radial, para ser utilizada no abastecimento predial e, também, na irrigação, tanto, de um pomar, como, também, de uma horta. Considerando a localização desses pontos de consumo, em locais distintos, dentro de uma pequena propriedade rural. Os autores relatam que o uso do controlador lógico programável – CLP, permitiu uma simplificação significativa no circuito elétrico da solução, agregando, ainda, benefícios que não tinham sido considerados para o desenvolvimento do experimento, ou seja, além de realizar todas as funções do painel com contatores eletromagnéticos, ainda, permitia a temporização e agendamento das irrigações, apresentando diferença de custo insignificante para limitar a sua utilização.

Carvalho & Oliveira (2008) demonstram a capacidade do inversor de frequência para ajustar a curva da bomba pelo controle da velocidade de rotação do motor de indução e a economia de energia elétrica proporcionada por este dispositivo em sistemas de irrigação por aspersão convencional, onde, a altura manométrica varia conforme as posições irrigadas pelas linhas laterais.

Segundo Bernardo et al. (2006), a irrigação por aspersão convencional se adapta a quase todas as culturas, entretanto, por aplicar a água simulando uma chuva artificial, interfere um pouco nos tratamentos fitossanitários. Os autores mencionam, que esse método, apresenta vantagem crescente de utilização com o aumento da textura do solo, sendo recomendado, para os locais que não apresentam ventos fortes, temperaturas altas e umidades relativas do ar baixas.

O dimensionamento de um conduto forçado, ou seja, sob pressão é um problema indeterminado que aceita várias soluções, sendo necessário impor uma restrição hidráulica ao problema para contornar essa situação, entre as alternativas existentes, há a possibilidade de limitar o valor da perda de carga, trabalhar com uma velocidade recomendada ou utilizar um diâmetro padronizado. No entanto, do ponto

de vista técnico e econômico, a melhor forma de dimensionamento, consiste em determinar o valor do diâmetro ótimo ou econômico, para o qual, o resultado da soma dos custos de implantação e operação do sistema, resulte no menor custo total possível. (Gomes, 2000; Andrade & Carvalho, 2001; Robaina et al., 2004; Bernardo et al., 2011).

Gomes (2001), relata que a equação de Bresse foi à primeira tentativa de se desenvolver um método para o dimensionamento econômico de sistemas de recalque, porém, de estrutura muito simples, para resolver um problema tão complexo. O autor apresenta dois métodos diretos para dimensionar a adutora de um sistema de recalque de forma econômica, um baseado na variação linear dos custos das tubulações e, o outro, baseado no peso das tubulações. Para validar os métodos, o autor resolve um exemplo, utilizando esses métodos e o método das tentativas, obtendo os mesmos resultados. Entretanto, o autor considerou, em todos os cálculos, os custos de forma simplificada, ou seja, foi considerado somente o custo dos tubos da adutora, o custo de instalação da adutora de forma enterrada e o custo da energia elétrica em baixa tensão.

Carvalho & Oliveira (2008), divulgam que o estudo de diversos pesquisadores para o dimensionamento econômico de adutoras, demonstram a existência de uma faixa econômica de escoamento da água, que segundo os autores estão entre os limites de 0,6 a 2,6 m s⁻¹. Para dimensionar uma adutora de forma econômica, os autores utilizam o método das tentativas e, consideram os custos dos tubos da adutora, da motobomba, das manutenções e da energia elétrica em baixa e alta tensão.

Andrade & Carvalho (2001a), com o propósito de avaliar o valor do fator de atrito calculado pela equação de Swamee-Jain, conhecida por facilitar a utilização da equação universal de Darcy-Weissbach, por não depender do regime de escoamento da água e fornecer o resultado de forma direta. Desenvolveram um aplicativo computacional, que permite variar o diâmetro, a velocidade de escoamento da água, a rugosidade absoluta e, também, calcular o fator de atrito, tanto, pela equação de Swamee-Jain, como, pelas outras equações, que são recomendadas para um determinado regime de escoamento da água. Os autores concluíram, que a equação de Swamee-Jain, super dimensiona o valor do fator de atrito no regime turbulento liso, principalmente, com o aumento da rugosidade absoluta. Entretanto,

para o regime turbulento de transição e rugoso, as diferenças são desprezíveis e os resultados são satisfatórios.

Perroni et al. (2011), mencionam a importância do dimensionamento econômico para reduzir o custo da energia elétrica e colaborar com a viabilidade do uso da irrigação na agricultura. Segundo o autor, a equação de universal de Darcy-Weissbach para determinação das perdas de carga contínuas, por ser a única que possui um fator de atrito capaz de considerar as variações da velocidade de escoamento da água, deve ser utilizada em preferência as demais, para evitar erros de quantificação e, conseqüentemente, prejuízos econômicos.

Andrade & Carvalho (2001b), afirmam que o método do comprimento equivalente conduz a resultados mais precisos para determinar as perdas de carga do tipo localizada. O que, não se verifica pela teoria, pois, o método direto é o único que apresenta capacidade para considerar as variações de velocidade do escoamento da água, de forma similar, a equação universal de Darcy-Weissbach.

Bernardo et. al (2006), apesar de considerar somente os custos dos tubos e da energia elétrica em alta e baixa tensão, utiliza o método das tentativas para dimensionar as demais linhas de um sistema de irrigação por aspersão, excluindo as linhas laterais e a linha de sucção.

Segundo Biscaro (2009), na elaboração do projeto de irrigação por aspersão convencional, a motobomba deve ser dimensionada para atender a situação de irrigação, que demandará o seu maior fornecimento de potência. Em sistemas de vazão constante, essa situação, se verifica no ponto com a maior altura manométrica, ou seja, o ponto do sistema, onde o somatório das alturas geométricas e das perdas de carga dos tipos contínuas e localizadas das linhas de distribuição ou condução de água adicionada a pressão de entrada de uma linha lateral, resulta no maior valor de altura manométrica.

Filho et al. (2010), orientam que não há necessidade de adicionar folga nos motores elétricos dos sistemas de recalque, inclusive, por provocar queda no rendimento e no fator de potência dessa máquina, além de provocar gastos desnecessários. Os autores comentam que a partir do ano 1996, por norma da ABNT, todos os motores elétricos passaram a ser fabricados com um fator de serviço maior que a unidade, sendo que, esse parâmetro, já representa uma potência adicional e de reserva, suficiente para proteger o equipamento, contra as variações das condições de

trabalho, tanto por variações da curva da bomba ou do motor, como, também, da má qualidade da energia elétrica, como oscilações ou desequilíbrios dos sinais de tensão da rede.

A necessidade de melhorar a qualidade e a produtividade da produção agrícola e de aumentar a eficiência de utilização da água e da energia elétrica consumida por esse setor, como também, pela expansão que se faz necessária das áreas irrigadas, pela adoção do método mais viável e vantajoso, com a finalidade de atender o consumo crescente de forma eficiente, rentável e sustentável. Explicam a tendência atual existente, de maior emprego dos métodos pressurizados de irrigação em relação aos métodos por superfície ou gravidade, que, além, das vantagens mencionadas pelos vários autores citados anteriormente, também, apresentam maior potencial para a incorporação de novas tecnologias, como as proporcionadas pela área de controle e automação.

Os aplicativos computacionais específicos para a área de irrigação, desenvolvido por profissionais brasileiros, constitui um exemplo de tecnologia desenvolvida pela pesquisa e que tem colaborado de forma significativa para aperfeiçoar a técnica da irrigação, proporcionando melhorias para a elaboração de projetos, coordenação racional de manejos e para o aperfeiçoamento e desenvolvimento de metodologias.

Esse trabalho trata do desenvolvimento de um aplicativo computacional utilizando a linguagem Visual Basic, específico para a elaboração de projetos de irrigação por aspersão convencional, nomeado de IRRIGAR. O aplicativo foi desenvolvido para servir de ferramenta de apoio no dimensionamento econômico de sistemas de irrigação por aspersão convencional que apresentem a necessidade de utilizar bomba centrífuga de fluxo radial do tipo eixo horizontal ou submersa, acionada por motor elétrico de indução, abastecido com energia elétrica da rede de distribuição de concessionárias brasileiras.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. Apresentação do aplicativo computacional

O aplicativo computacional - IRRIGAR foi desenvolvido para servir de ferramenta de apoio na elaboração de projetos de irrigação por aspersão convencional que apresentam a necessidade de utilizar bomba centrífuga do tipo eixo horizontal ou submersa, acionada por motor elétrico de indução, abastecido com energia elétrica da rede de distribuição de concessionárias brasileiras. IRRIGAR foi idealizado, após criterioso estudo das técnicas de projeto e de dimensionamento econômico, apresentadas por vários autores e pesquisadores da área.

O dimensionamento agrônomico e operacional é praticamente o proposto por Mantovani et al. (2009). Grande parte do dimensionamento hidráulico e considerável do econômico, se baseia na literatura de Carvalho & Oliveira (2008). A consideração dos custos de instalação de tubulações enterradas, assim como, o método para dimensionamento de vala para tubulações enterradas, foi aproveitada de Gomes (2001). No entanto, a metodologia de dimensionamento econômico pela análise de custos através do método das tentativas, estendida a todas as linhas do sistema, exceto para as linhas laterais, foi adaptada da metodologia apresentada por Bernardo et al. (2006).

Foram revisados alguns conceitos sobre tarifação e fornecimento de energia elétrica, com base na Resolução Normativa nº 414, de 09 de setembro de 2010 (ANEEL) e, também nas normas da concessionária local de energia elétrica, NOR-TDE 101 e NOR-TDE 102 (ENERSUL), considerando-se importante, introduzir no aplicativo, a possibilidade de inclusão do custo do posto de transformação de energia elétrica, para os projetos em que o mesmo se faz necessário.

A princípio IRRIGAR foi desenvolvido para auxiliar na elaboração de projetos, entretanto, também demonstrou um forte potencial para colaborar com automação e regulação do ponto ótimo de funcionamento de motobombas. Uma vez, que sua estrutura modular, permite a simulação de qualquer combinação de posições das linhas laterais dentro da área irrigada.

A figura 1 mostra a janela principal do aplicativo computacional – IRRIGAR, com os MENUS PROJETO E CONFIGURAÇÕES locados no canto superior esquerdo dessa janela.

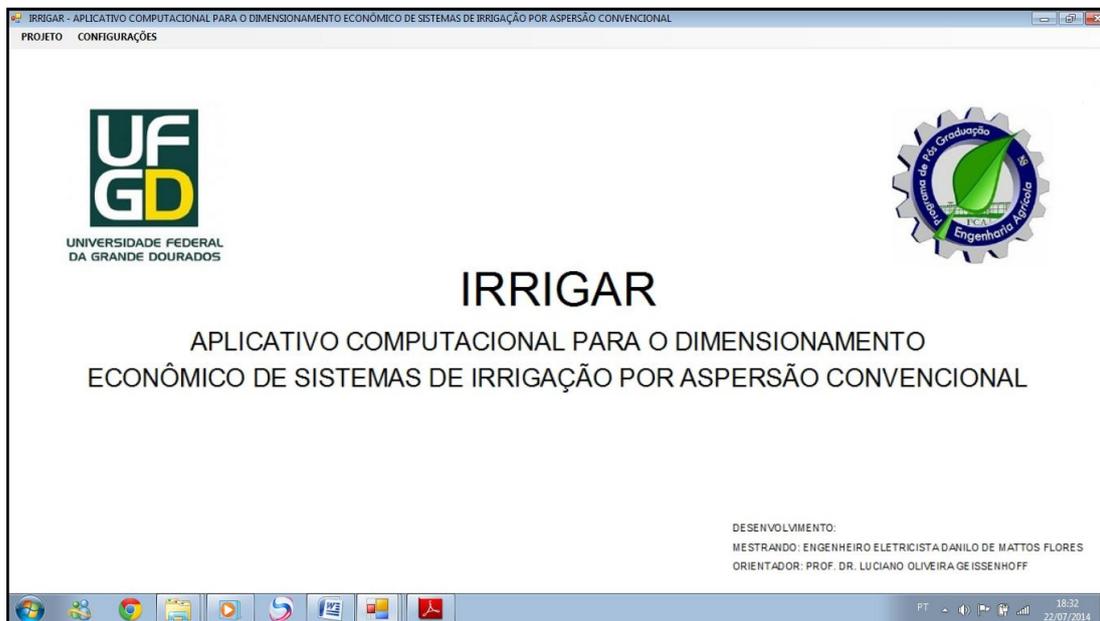


Figura 1. Janela principal do aplicativo computacional – IRRIGAR com os menus projeto e configurações

3.1.1. Menus, sub menu e opções

A figura 2 mostra de forma ampliada e em detalhes, a composição do MENU PROJETO.



Figura 2. Detalhes do menu projeto do aplicativo computacional – IRRIGAR

O MENU PROJETO é formado pelas OPÇÕES DIMENSIONAMENTO AGRONÔMICO E OPERACIONAL, DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO e

TEMPO DE FUNCIONAMENTO e, também, pelo SUB MENU, DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO, que apresenta as seguintes OPÇÕES, LINHAS LATERAIS, LINHAS DE DERIVAÇÃO, LINHAS PRINCIPAIS, TIPO E FORMA DE INSTALAÇÃO DE MOTOBOMBA, LINHAS DE RECALQUE e LINHAS DE SUCÇÃO.

A figura 3 mostra de forma ampliada e em detalhes, a composição do MENU CONFIGURAÇÕES.

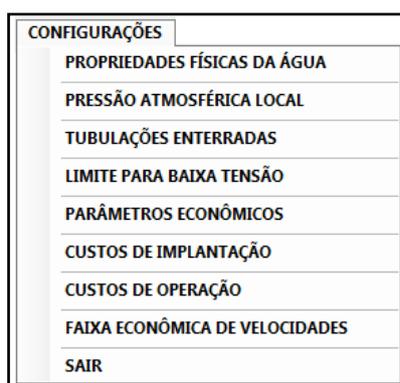


Figura 3. Detalhes do menu configurações do aplicativo computacional – IRRIGAR

O MENU CONFIGURAÇÕES é formado pelas OPÇÕES, PROPRIEDADES FÍSICAS DA ÁGUA, PRESSÃO ATMOSFÉRICA LOCAL, TUBULAÇÕES ENTERRADAS, LIMITE PARA BAIXA TENSÃO, PARÂMETROS ECONÔMICOS, CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO, CUSTOS DE OPERAÇÃO E FAIXA ECONÔMICA DE VELOCIDADES.

3.1.2. Ambiente para elaboração de projetos

O aplicativo computacional – IRRIGAR foi desenvolvido utilizando a linguagem VISUAL BASIC, através do aplicativo MICROSOFT VISUAL BASIC 2008 EXPRESS EDITION. Possui um ambiente formado por 21 (vinte e uma) janelas, que podem ser visualizadas, minimizadas, maximizadas e encerradas. Com a finalidade de facilitar a elaboração de projetos e as simulações de instalação e funcionamento.

Todas as OPÇÕES do MENU PROJETO e do MENU CONFIGURAÇÕES abrem uma janela, essas são classificadas em dois tipos, ou seja, do tipo fixa ou do tipo flutuante. A janela principal do aplicativo computacional

- IRRIGAR, que foi demonstrada na figura 1, é um exemplo de uma janela do tipo fixa, ou seja, preenche toda a tela do usuário. Já, na figura 4, uma janela do tipo flutuante, se encontra aberta sobre a janela principal do aplicativo computacional - IRRIGAR, essa janela foi acessada pela OPÇÃO TEMPO DE FUNCIONAMENTO através do MENU PROJETO.

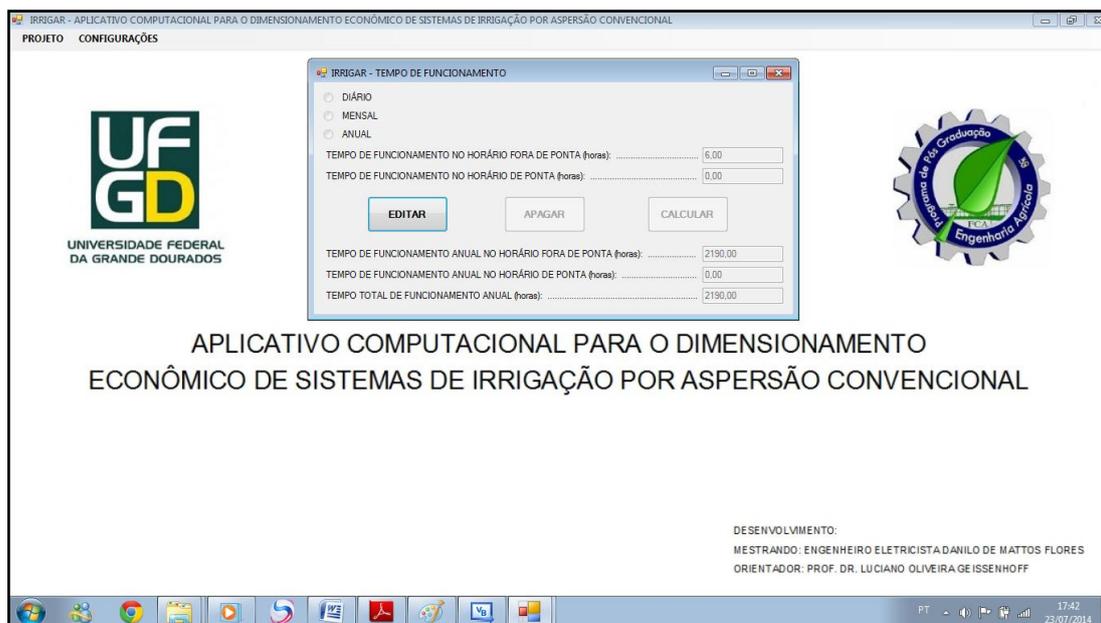


Figura 4. Exemplo de uma janela flutuante do aplicativo computacional – IRRIGAR

As janelas flutuantes podem ser arrastadas, minimizadas, maximizadas e, também, colocadas na forma de janelas fixas, de acordo com a necessidade do usuário.

Todas as janelas que compõem o aplicativo podem ser acessadas, entretanto, algumas para serem utilizadas, precisam satisfazer determinadas condições de projeto. É o caso, por exemplo, das janelas acessadas pelo MENU PROJETO, SUBMENU PROJETO HIDRÀULICO, OPÇÕES, LINHAS DE RECALQUE e LINHA DE SUÇÃO e, também da janela acessada pelo MENU PROJETO, OPÇÃO DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO.

Essas restrições foram impostas, para que o usuário se lembre que se esqueceu de fazer algum dimensionamento ou, ainda, optou por alguma outra alternativa de projeto. Por exemplo, como o usuário poderá utilizar a janela acessada pelo MENU PROJETO, OPÇÃO DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO, se o mesmo, ainda não efetuou, o dimensionamento de pelo menos, uma linha de

recalque. Ou, também, o caso de um usuário, que especificou uma motobomba submersa, e está querendo utilizar a janela para o dimensionamento de linhas de sucção, acessada pelo MENU PROJETO, SUBMENU DIMENSIONAMENTO HIDRÀULICO, OPÇÃO LINHAS DE SUCÇÃO. A figura 5 mostra a janela desenvolvida para o dimensionamento econômico do aplicativo computacional - IRRIGAR, que foi acessada por um usuário, entretanto, na forma bloqueada, porque não foram preenchidos todos os requisitos necessários para sua utilização.

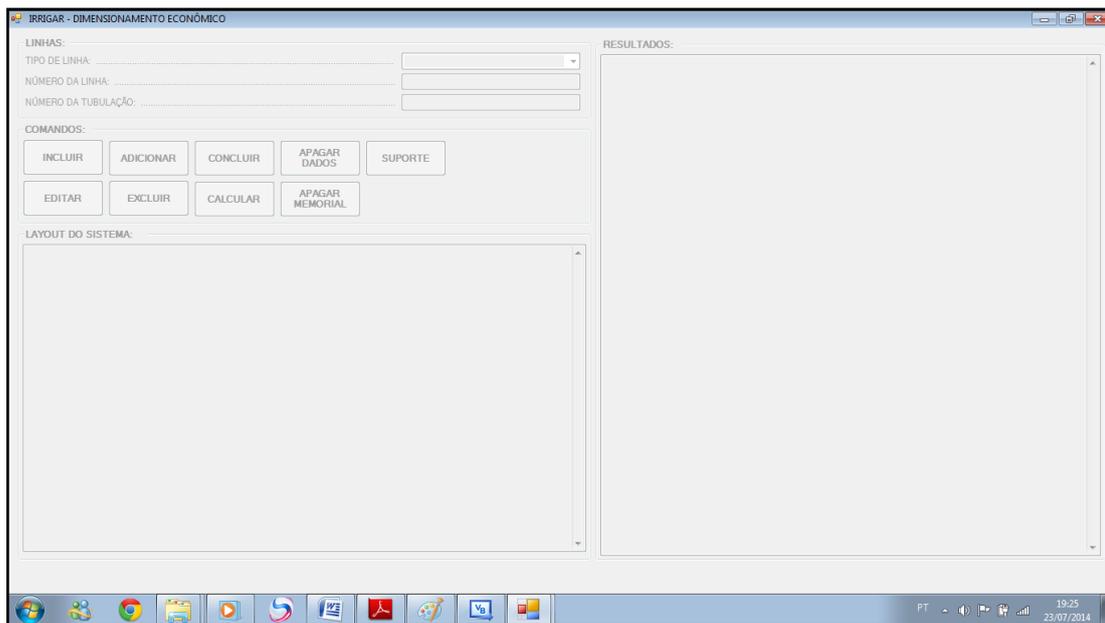


Figura 5. Janela para o dimensionamento econômico do aplicativo computacional – IRRIGAR bloqueada devido à falta do preenchimento de algum requisito para sua utilização

Todas as janelas acessadas pelas OPÇÕES que compõem o MENU CONFIGURAÇÕES, além de serem do tipo flutuante, apresentam valor padrão para os parâmetros. Os valores desses parâmetros podem ser editados pelo usuário, conforme sua necessidade, entretanto, quando o aplicativo é encerrado e novamente executado, o valor padrão, de cada parâmetro é restabelecido no aplicativo. A figura 6 mostra a janela do aplicativo computacional - IRRIGAR desenvolvida para determinar as propriedades físicas da água em função da sua temperatura, que pode ser acessada, através do MENU CONFIGURAÇÕES, OPÇÃO PARÂMETROS FÍSICOS DA ÁGUA, em duas condições distintas, na primeira, com o valor padrão

de cada parâmetro definido automaticamente pelo aplicativo e, na segunda, com o valor de cada parâmetro editado por um usuário.

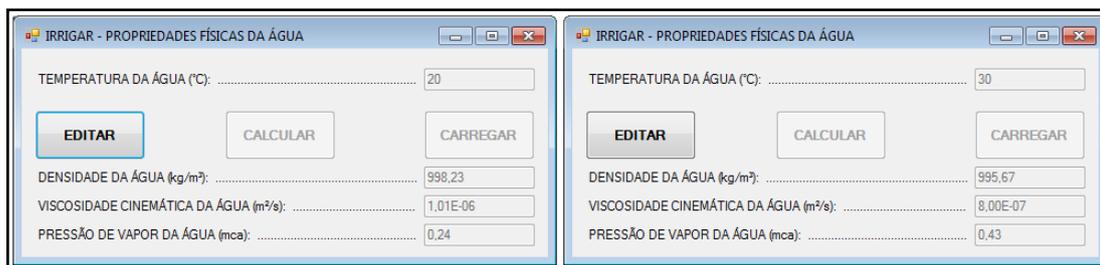


Figura 6. Janela para a determinação das propriedades físicas da água do aplicativo computacional – IRRIGAR com o valor padrão de cada parâmetro definido pelo aplicativo e com o valor de cada parâmetro editados pelo usuário

A figura 7 mostra todas as janelas do aplicativo computacional – IRRIGAR, abertas e minimizadas de forma proposital, com a finalidade de demonstrar a possibilidade de acesso pela barra de tarefas do Windows. Qualquer uma dessas janelas, pode ser maximizada, minimizada ou encerrada de forma individual pelo usuário, somente, a janela principal, apresenta uma singularidade de funcionamento, ou seja, quando encerrada, também, encerra as demais.

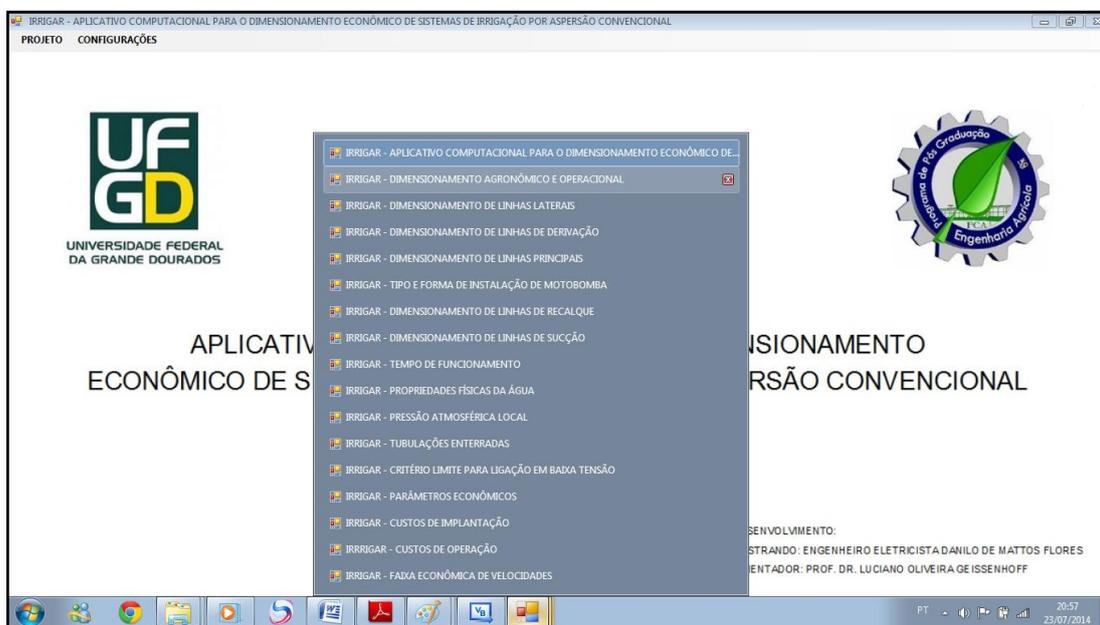


Figura 7. Janela principal do aplicativo computacional – IRRIGAR com todas as janelas do aplicativo abertas e minimizadas para demonstrar a possibilidade de acesso pela barra de tarefa do windows

3.1.3. Flexibilidade de acesso

Todas as janelas do aplicativo computacional – IRRIGAR, além de poderem ser acessadas por meio do MENU PROJETO e do MENU CONFIGURAÇÕES, locados na janela principal do aplicativo, desde que não tenham sido abertas e minimizadas. Também podem ser acessadas, com o mesmo efeito, pelo BOTÃO MENU, disponível em todas as janelas destinadas ao desenvolvimento de projetos do aplicativo. O BOTÃO MENU dá acesso a uma janela do tipo flutuante, que possui todos os recursos da janela principal do aplicativo. A figura 8 mostra a janela desenvolvida para servir como atalho no funcionamento do aplicativo computacional – IRRIGAR, que foi aberta com o BOTÃO MENU, locado na área de comando da janela desenvolvida para auxiliar no dimensionamento hidráulico de linhas laterais. Sendo importante observar, a possibilidade de acesso oferecida ao MENU PROJETO e ao MENU CONFIGURAÇÕES do aplicativo, que é proporcionado pela mesma.

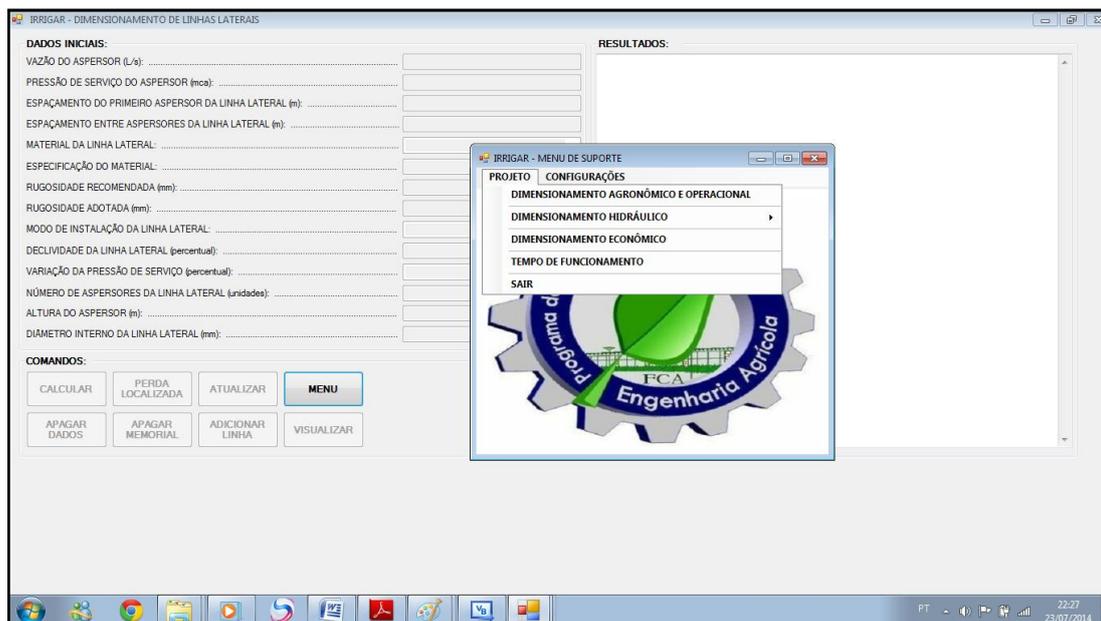


Figura 8. Janela para o dimensionamento hidráulico de linhas laterais do aplicativo computacional – IRRIGAR com a janela flutuante desenvolvida para servir de atalho aos menus projeto e configurações

3.1.4. Tipos de linhas para o layout do sistema de irrigação

Para a construção do layout que o sistema de irrigação por aspersão convencional deve possuir para atender as necessidades de irrigação de uma determinada área, foram previstos 5 (cinco) tipos de linhas no aplicativo computacional – IRRIGAR, sendo: linha lateral, linha de derivação, linha principal, linha de recalque e linha de sucção.

3.2. Considerações iniciais para a elaboração do projeto

O projeto de um sistema de irrigação por aspersão convencional é elaborado considerando a maior demanda hídrica que a cultura poderá apresentar no decorrer do seu ciclo vegetativo, normalmente, isso ocorre, no terceiro estágio, onde o coeficiente de cultivo é maior. Levando em consideração também, a maior altura manométrica que o sistema deverá superar para realizar a irrigação. Dessa forma, para qualquer outra condição, o sistema projetado, terá capacidade para atender a cultura e para efetuar a irrigação.

No aplicativo computacional – IRRIGAR o projeto foi dividido em três etapas de dimensionamento a saber: dimensionamento agrônômico e operacional, dimensionamento hidráulico das linhas e o dimensionamento econômico do sistema.

3.3. Dimensionamento agrônômico e operacional

Esta etapa é fundamental para o desenvolvimento do projeto de irrigação por aspersão convencional, pois define a quantidade mínima de água para atender a demanda hídrica máxima que a cultura poderá apresentar, além de outros parâmetros de suma importância, tanto, para o manejo e para a operação do sistema, como, também, para a próxima etapa do projeto, o dimensionamento hidráulico das linhas do sistema.

A análise dos dados provenientes da cultura, do solo, do clima e do próprio sistema de irrigação, permite realizar a quantificação da lâmina bruta máxima que poderá ser necessário aplicar sobre a área de plantio. É nesta etapa, que ocorre dimensionamento do aspersor, respeitando as limitações do solo, entretanto, buscando as melhores condições para o manejo e operação do sistema, também, é estabelecido o número mínimo de linhas laterais que serão necessárias para irrigar a

área de plantio, conforme, o turno de rega, o período de irrigação e o tempo de funcionamento diário estabelecidos em projeto.

O dimensionamento agrônomo e operacional apesar de relativamente simples, é fundamental para a elaboração do projeto, pois, por meio deste, é possível efetuar a harmonia entre a planta, o solo e o próprio sistema de irrigação. Alguns dos parâmetros que precisam ser fornecidos para realizar o dimensionamento agrônomo e operacional, são obtidos em laboratório, como é o caso, dos parâmetros do solo, que representam sua umidade na capacidade de campo e no ponto de murcha e, também, da sua densidade aparente. Outro parâmetro do solo, que se faz necessário, é a velocidade básica de infiltração de água, comumente, determinada por ensaio de campo pelo método do infiltrômetro de anéis. A máxima evapotranspiração da cultura que representa a transpiração de água da planta e a evaporação de água do solo, normalmente, é obtida pela análise de uma série histórica do clima local. Os demais parâmetros dependem da cultura, como é o caso da profundidade efetiva do sistema radicular e do fator de disponibilidade, ou, então, são provenientes do próprio sistema de irrigação.

A figura 9 mostra a janela do aplicativo computacional – IRRIGAR, desenvolvida para o dimensionamento agrônomo e operacional de sistemas de irrigação por aspersão convencional.

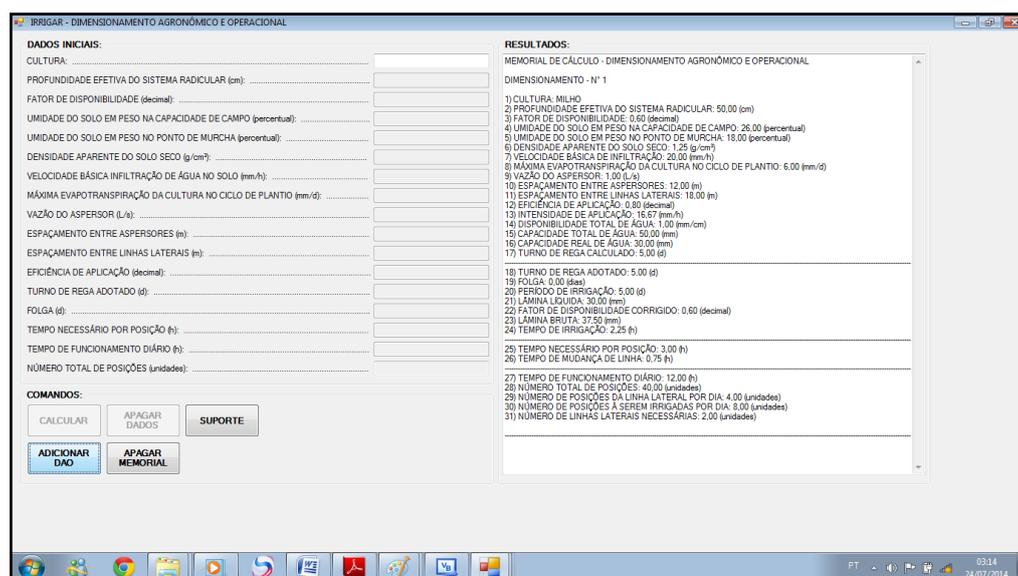


Figura 9. Janela do aplicativo computacional – IRRIGAR desenvolvida para o dimensionamento agrônomo e operacional de sistemas de irrigação por aspersão convencional

No aplicativo computacional - IRRIGAR, com apenas o auxílio dessa janela, mais de um dimensionamento agrônomico e operacional, pode ser efetuado. O que colabora, de forma significativa, para a comparação dos resultados de manejo e operação, em função de diferentes culturas, aspersores, espaçamentos, tempo de funcionamento, período de irrigação e turno de rega, que podem ser adotados no projeto.

Para determinar os parâmetros de saída do dimensionamento agrônomico e operacional, o aplicativo computacional – IRRIGAR, dispõem das equações apresentadas a seguir.

3.3.1. Intensidade de aplicação

A equação 01 é utilizada para o cálculo da intensidade de aplicação.

$$I_a = \frac{3600 Q_a}{E_a \ E_{ll}} \quad (01)$$

Em que:

I_a = Intensidade de aplicação (mm/h);

Q_a = vazão do aspersor (L/s);

E_a = espaçamento entre aspersores da linha lateral (m);

E_{ll} = espaçamento entre linhas laterais (m).

O aplicativo computacional – IRRIGAR, não permite que a intensidade de aplicação, seja maior que a velocidade básica de infiltração de água no solo, informando o usuário e solicitando que o mesmo forneça novamente os dados que definem este parâmetro.

3.3.2. Disponibilidade total de água no solo

A equação 02 é utilizada para o cálculo da disponibilidade total de água no solo.

$$DTA = \left(\frac{PUSP_{CC} - PUSP_{PM}}{10} \right) D_{ass} \quad (02)$$

Em que:

DTA = disponibilidade total de água no solo (mm/cm);

$PUSP_{cc}$ = percentual de umidade do solo em peso na capacidade de campo;

$PUSP_{pm}$ = percentual de umidade do solo em peso no ponto de murcha;

D_{ass} = densidade aparente do solo seco (g/cm³).

3.3.3. Capacidade total de água no solo

A equação 03 é utilizada para o cálculo da capacidade total de água no solo.

$$CTA = DTA Z \quad (03)$$

Em que:

CTA = capacidade total de água no solo (mm);

DTA = disponibilidade total de água no solo (mm/cm);

Z = profundidade efetiva do sistema radicular (cm).

3.3.4. Capacidade real de água no solo

A equação 04 é utilizada para o cálculo da capacidade real de água no solo.

$$CRA = CTA f \quad (04)$$

Em que:

CRA = capacidade real de água no solo (mm);

CTA = capacidade total de água no solo (mm);

f = fator de disponibilidade (decimal).

3.3.5. Turno de rega calculado

A equação 05 é utilizada para o cálculo do turno de rega calculado.

$$TRc = \frac{CRA}{ETc \max} \quad (05)$$

Em que:

TRc = turno de rega calculado (dias);

CRA = capacidade real de água (mm);

ETc max = evapotranspiração máxima (mm/dia).

3.3.6. Lâmina líquida

A equação 06 é utilizada para o cálculo da lâmina líquida.

$$Yl = TRa ETc \max \quad (06)$$

Em que:

Yl = lâmina líquida (mm);

TRa = turno de rega adotado (dias);

ETc max = evapotranspiração máxima (mm/dia).

3.3.7. Fator de disponibilidade corrigido

A equação 07 é utilizada para corrigir o fator de disponibilidade.

$$fc = \frac{Yl}{CTA} \quad (07)$$

Em que:

fc = fator de disponibilidade corrigido (decimal);

Yl = lâmina líquida (mm);

CTA = capacidade total de água armazenada no solo (mm).

3.3.8. Período de irrigação

A equação 08 é utilizada para o cálculo período de irrigação.

$$PI = TRa - Fo \quad (08)$$

Em que:

PI = período de irrigação (dia);

TRa = turno de rega adotado (dia);

Fo = folga (dia).

3.3.9. Lâmina bruta

A equação 09 é utilizada para o cálculo da lâmina bruta.

$$Yb = \frac{Yl}{Ea} \quad (09)$$

Em que:

Yb = lâmina bruta (mm);

Yl = lâmina líquida (mm);

Ea = eficiência de aplicação (decimal).

3.3.10. Tempo de irrigação

A equação 10 é utilizada para o cálculo do tempo de irrigação.

$$Ti = \frac{Yb}{Ia} \quad (10)$$

Em que:

Ti = tempo de irrigação (h);

Yb = lâmina bruta (mm);

Ia = intensidade de aplicação (mm/h).

3.3.11. Tempo de mudança de linha

A equação 11 é utilizada para o cálculo do tempo de mudança de linha.

$$TML = TNP - T_i \quad (11)$$

Em que:

TML = tempo de mudança de linha (h);

TNP = tempo necessário por posição (h);

T_i = tempo de irrigação (h).

3.3.12. Número de posições da linha lateral por dia

A equação 12 é utilizada para o cálculo do número de posições da linha lateral por dia.

$$NPLD = \frac{TFD}{TNP} \quad (12)$$

Em que:

NPLD = número de posições da linha lateral por dia (unidades);

TFD = tempo de funcionamento diário (h);

TNP = tempo necessário por posição (h).

3.3.13. Número de posições a serem irrigadas por dia

A equação 13 é utilizada para o cálculo do número de posições a serem irrigadas por dia.

$$NPID = \frac{NTP}{PI} \quad (13)$$

Em que:

NPID = número de posições a serem irrigadas por dia (unidades/dia);

NTP = número total de posições (unidades);

PI = período de irrigação (dia).

3.3.14. Número de linhas laterais

A equação 14 é utilizada para o cálculo do número mínimo de linhas laterais.

$$NLL = \frac{NPID}{NPLD} \quad (14)$$

Em que:

NLL = número de linhas laterais (unidades);

NPID = número de posições irrigadas por dia (unidades/dia);

NPLD = número de posições da linha lateral por dia (unidades/dia).

3.4. Dimensionamento hidráulico e econômico

E nesta etapa que o sistema de irrigação por aspersão convencional é dimensionado de forma a garantir, tanto, o seu funcionamento adequado, como, também, o menor custo possível em função das despesas decorrentes da sua implantação e operação. Para realizar o dimensionamento hidráulico e econômico do sistema de irrigação por aspersão convencional, se faz necessário realizar a análise dos custos pelo método das tentativas, considerando todos os custos significativos que apresentam potencial para sofrer variação em função das perdas carga do sistema.

As linhas laterais são as únicas linhas do sistema que são dimensionadas considerando somente critérios hidráulicos, as demais linhas do sistema, são dimensionadas pela análise de custos através do método das tentativas com o auxílio da equação de Bresse e, portanto, tanto, critérios hidráulicos, como, também, critérios econômicos, são considerados no dimensionamento.

A metodologia de dimensionamento pela análise de custos através do método das tentativas consiste em experimentar tubos de materiais e diâmetros diferentes nas linhas que compõem o sistema, observar a variação dos custos e identificar para cada uma das linhas, o diâmetro ótimo para a implantação e operação do sistema, ou seja, o valor do diâmetro, de cada linha, que proporciona o menor custo total anual.

No desenvolvimento do aplicativo computacional – IRRIGAR, o dimensionamento hidráulico e econômico do sistema foi dividido em duas etapas. Na primeira etapa, denominada de dimensionamento hidráulico das linhas, as mesmas são preparadas, ou seja, são selecionados os valores de diâmetros a serem testados em cada linha com auxílio da equação de Bresse e a respectiva perda de carga em função de cada tubo experimentado. Nesta etapa, por conveniência, também são quantificados, o custo da linha e o custo de instalação da linha, para o caso, de linhas enterradas.

A segunda etapa foi denominado de dimensionamento econômico, na mesma, o layout do sistema a ser analisado é definido. De acordo com a vazão e com a altura manométrica obtida, em cada teste, de tubos em uma linha, o dimensionamento de equipamentos como motobomba e posto de transformação são efetuados. Os custos de implantação e operação do sistema são quantificados, permitindo a identificação do diâmetro ótimo ou econômico para cada linha.

3.5. Conceitos para o dimensionamento hidráulico

O dimensionamento hidráulico clássico de um sistema de irrigação por aspersão convencional consiste em determinar, o diâmetro de cada linha que compõe o sistema e a potência nominal da motobomba. O diâmetro das linhas laterais é determinado pelo critério da máxima perda de carga permitida, fazendo a mesma ser igual à maior variação tolerável para a pressão de serviço dos aspersores que, normalmente, é igual a 20 %, com a finalidade de garantir certa uniformidade na distribuição da água sobre a área irrigada, pois, dessa forma, a máxima variação de vazão dos aspersores será de 10%. Já, o diâmetro das demais linhas do sistema, ou seja, linhas de derivação, linhas principais, linha de recalque e linha de sucção são determinados pelo critério da velocidade econômica de escoamento da água, admitindo que a mesma, se encontra compreendida na faixa de 1 a 2 (m s^{-1}). Como existe a necessidade de determinar a potência nominal da motobomba, a altura manométrica, deve ser quantificada e, normalmente, isso se faz, considerando a mesma igual, ao somatório da pressão de entrada da linha lateral, com as alturas geométricas e as perdas de carga contínua das demais linhas do sistema. As perdas de carga localizadas são estimadas, adotando um percentual entre 3 e 5 (%).

No aplicativo computacional – IRRIGAR as linhas laterais são dimensionadas de forma idêntica ao proposto pelo dimensionamento hidráulico clássico, entretanto, as demais linhas do sistema são dimensionadas pela análise de custos através do método das tentativas com o auxílio da equação de Bresse. As perdas de carga do tipo localizada podem ser estimadas ou quantificadas pelo método direto. No dimensionamento econômico, todos os componentes do sistema são dimensionados e especificados, os custos são quantificados, e em conjunto são fornecidas a equação da altura manométrica do sistema e a equação do Net Positive

Suction Head disponível, essa última, somente para o caso de motobomba de eixo horizontal.

3.5.1. Propriedades físicas da água

As propriedades físicas da água necessárias para este estudo foram à densidade, viscosidade cinemática e pressão de vapor. Todas essas propriedades apresentam variação em função da temperatura da água, sendo essa, a primeira vantagem do emprego da equação universal e do método direto em relação aos demais métodos existentes na literatura, para realizar a determinação das perdas de carga, pois, tanto a equação universal, como também, o método direto, possuem capacidade para considerar essas variações. No entanto, cabe salientar que na elaboração de um projeto se tem com praxe, considerar a temperatura da água igual a 20 °C, o que nem sempre, retrata a realidade.

O aplicativo computacional – IRRIGAR permite a variação da temperatura da água dentro da faixa entre 0 a 100 (°C). Os valores das propriedades físicas da água são determinadas por interpolação com base nas tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1. Variação da densidade da água de acordo com sua temperatura

Temperatura (°C)	Densidade (kg/m ³)	Temperatura (°C)	Densidade (kg/m ³)
0	999,87	30	995,67
2	999,97	40	992,24
4	1000,00	50	988,10
5	999,99	60	983,20
10	999,73	70	977,80
15	999,13	80	971,80
20	998,23	90	965,30
25	997,10	100	958,40

Fonte: Carvalho & Oliveira (2008)

Tabela 2. Variação da viscosidade cinemática da água de acordo com sua temperatura

Temperatura (°C)	Viscosidade Cinemática (m ² /s)	Temperatura (°C)	Viscosidade Cinemática (m ² /s)
0	1,79E-06	40	6,60E-07
5	1,52E-06	50	5,60E-07
10	1,31E-06	60	4,80E-07
15	1,14E-06	70	4,20E-07
20	1,01E-06	80	3,70E-07
25	9,00E-07	90	3,30E-07
30	8,00E-07	100	3,00E-07

Fonte: Carvalho & Oliveira (2008)

Tabela 3. Variação da pressão de vapor da água de acordo com sua temperatura

Temperatura (°C)	Pressão de Vapor (mca)	Temperatura (°C)	Pressão de Vapor (mca)
0	0,062	40	0,752
5	0,089	50	1,257
10	0,129	60	2,031
15	0,174	70	3,177
20	0,238	80	4,829
25	0,323	90	7,149
30	0,432	100	10,332

Adaptado de: Carvalho & Oliveira (2008)

A figura 10 mostra a janela do aplicativo computacional – IRRIGAR desenvolvida para determinação das propriedades físicas da água em função da temperatura.

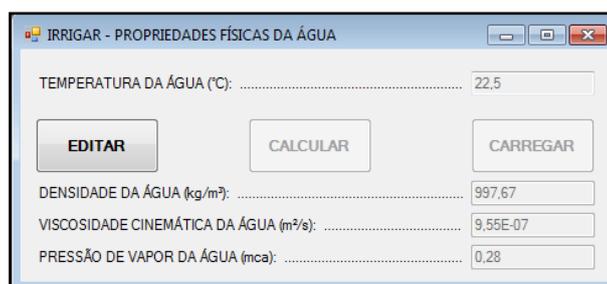


Figura 10. Janela do aplicativo – IRRIGAR para determinação das propriedades físicas da água em função da temperatura

A janela do aplicativo computacional – IRRIGAR para determinação das propriedades físicas da água em função da sua temperatura, permite ao usuário alterar seu valor de temperatura padrão, que é igual a 20 °C, escolhida devido ao fato de ser a temperatura de praxe adotada na elaboração de projetos, no entanto, se o aplicativo for encerrado e novamente executado o valor padrão será restabelecido no sistema, de forma semelhante, funcionam todas as janelas que apresentam valores padrões para os seus parâmetros.

3.5.2. Pressão atmosférica local

O aplicativo computacional – IRRIGAR permite a variação da altitude do local de instalação da motobomba dentro da faixa entre 0 a 3000 (m). O valor da pressão atmosférica é determinada por interpolação com base na tabela 4.

Tabela 4. Variação da pressão atmosférica com a altitude do local de instalação

Altitude (m)	Pressão Atmosférica (mca)	Altitude (m)	Pressão Atmosférica (mca)
0	10,33	1000	9,16
100	10,21	1200	8,88
200	10,09	1500	8,54
300	9,96	1800	8,2
400	9,84	2100	7,89
500	9,73	2400	7,58
600	9,59	2700	7,31
900	9,22	3000	7,03

Fonte: Bernardo et al. (2006)

A figura 11 mostra a janela do aplicativo computacional – IRRIGAR desenvolvida para determinar a pressão atmosférica local em função da altitude do local de instalação da motobomba.

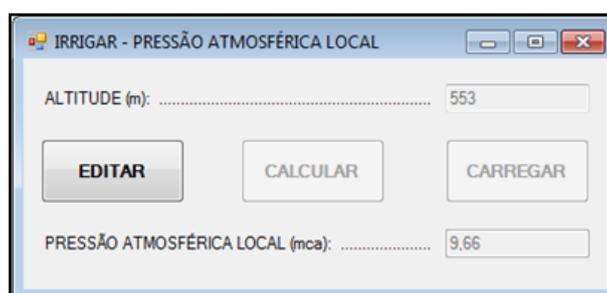


Figura 11. Janela do aplicativo – IRRIGAR utilizada para determinar a pressão atmosférica do local de instalação da motobomba em função da sua altitude

3.5.3. Equação de Bresse

No aplicativo computacional - IRRIGAR, a equação de Bresse está sendo utilizada, para ajudar no dimensionamento das linhas que compõem o sistema de irrigação por aspersão convencional, excluindo as linhas laterais. A faixa de velocidades econômicas padrão é a estabelecida pelos limites de 0,6 a 2,6 (m s^{-1}). A ajuda proporcionada pela equação de Bresse no dimensionamento hidráulico e econômico das linhas mencionadas anteriormente, se resume em selecionar os diâmetros recomendados para serem testados em cada linha através do método das tentativas.

A equação 15 é utilizada para o cálculo do diâmetro de uma linha pela equação de Bresse.

$$D = K_b \sqrt{Q} \quad (15)$$

Em que:

D = diâmetro do tubo (m);

Q = vazão da linha (m³/s);

Kb = vazão (adimensional).

A equação 16 é utilizada para o cálculo da constante da equação de Bresse.

$$Kb = \frac{2}{\sqrt{\pi v}} \quad (16)$$

Em que:

Kb = vazão (adimensional);

v = velocidade de escoamento da água (m/s).

Apesar de ter sido adotado os limites padrões para a faixa de velocidades, conforme mencionado anteriormente, o aplicativo computacional - IRRIGAR oferece a possibilidade de edição desses valores limites, conforme mostra a figura 12.

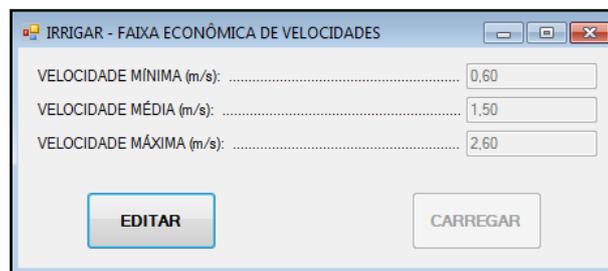


Figura 12. Janela do aplicativo – IRRIGAR utilizada para determinar a faixa econômica de velocidades

3.5.4. Equação universal de Darcy-Weissbach

Esta equação é considerada a de melhor exatidão e precisão para determinar o valor da perda de carga contínua, que ocorre nos trechos retilíneos de uma linha. Pois, é a única que possui um fator de atrito dinâmico em função das variações de velocidade do escoamento da água, porém, de difícil quantificação. O que provoca pouca utilização da mesma na prática, principalmente, em tempos remotos, quando o fator de atrito era determinado pelo diagrama de Moody. Entretanto, o desenvolvimento de equações empíricas e o apoio do computador por meio dos aplicativos computacionais, facilitou sua utilização. Este é o caso do aplicativo computacional – IRRIGAR, que emprega esta equação, para realizar a

quantificação das perdas de cargas do tipo contínua, de todas as linhas que compõem o sistema de irrigação por aspersão convencional.

As equações 17 e 18 são utilizadas para o cálculo das perdas de carga do tipo contínua.

$$h_{fc} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (17)$$

$$h_{fc} = \frac{8f}{\pi^2} \frac{L}{g D^5} Q^2 \quad (18)$$

Em que:

h_{fc} = perda de carga contínua da linha (mca);

f = fator de atrito (adimensional);

L = comprimento da linha (m);

D = diâmetro da linha (m);

v = velocidade do escoamento da água na linha (m/s);

Q = vazão da linha (m³/s);

g = aceleração da gravidade ($\approx 9,81$ m/s²).

3.5.5. Fator de atrito e regime de escoamento da água

Na prática, o regime de escoamento das linhas do sistema de irrigação por aspersão convencional, é sempre turbulento, porém, pode variar entre, turbulento liso, turbulento de transição ou turbulento rugoso. O valor do fator de atrito e a classificação do regime de escoamento da água em condutos forçados dependem do número de Reynolds, da rugosidade relativa e da espessura do filme laminar. Portanto, para realizar essa quantificação e classificação, antes, se faz necessário determinar esses parâmetros.

3.5.6. Número de Reynolds

A equação 19 é utilizada para o cálculo do número de Reynolds.

$$Re = \frac{v D}{\nu} \quad (19)$$

Em que:

Re = número de Reynolds (adimensional);

v = velocidade do escoamento da água na linha (m/s);

D = diâmetro da linha (m);

ν = viscosidade cinemática da água (m^2/s).

3.5.7. Rugosidade absoluta

A tabela 5 apresenta a rugosidade absoluta de alguns materiais.

Tabela 5. Rugosidade absoluta de alguns materiais

Material	Rugosidade (mm)	Material	Rugosidade (mm)
Aço	0,06000 ~ 0,08000	Concreto	0,03000 ~ 0,05000
Aço comercial novo	0,04500	Concreto centrifugado novo	0,16000
Aço galvanizado com costura	0,15000 ~ 0,20000	Ferro fundido	0,25000 ~ 0,60000
Aço galvanizado sem costura	0,06000 ~ 0,15000	Ferro fundido centrifugado	0,05000
Aço rebitado novo	1,00000 ~ 3,00000	Ferro incrustado	0,02500
Aço soldado	0,05000 ~ 0,10000	Ferro fundido novo	0,25000 ~ 0,50000
Cimento amianto	0,07000	Polietileno	0,00200
Cimento amianto novo	0,02500	PVC	0,02000
Cobre, PVC e plásticos	0,00150 ~ 0,01000		

Adaptado de: Carvalho & Oliveira (2008); Gomes (1999)

3.5.8. Rugosidade relativa

A equação 20 é utilizada para o cálculo da rugosidade relativa.

$$K_r = \frac{10^3 K}{D} \quad (20)$$

Em que:

K_r = rugosidade relativa (adimensional);

K = rugosidade absoluta (mm);

D = diâmetro da linha (m).

3.5.9. Espessura do filme laminar

A equação 21 é utilizada para o cálculo da espessura do filme laminar.

$$\delta = \frac{32,5 D}{10^3 Re \sqrt{f}} \quad (21)$$

Em que:

δ = espessura do filme laminar (mm);

D = diâmetro da linha (m);

Re = número de Reynolds (adimensional);

f = fator de atrito (adimensional).

A tabela 6 demonstra a metodologia para comparar o filme laminar com a rugosidade absoluta e determinar o regime de escoamento da água em condutos forçados.

Tabela 6. Classificação do regime de escoamento da água

Regime de Escoamento	Comparação
Turbulento Liso	$K < \delta/3$
Turbulento de Transição	$\delta/3 < K < 8\delta$
Turbulento Rugoso	$K > 8\delta$

Adaptado de: Carvalho & Oliveira (2008)

3.5.10. Fator de atrito de Swamee

A única equação que apresenta condição de calcular o fator de atrito, independente do valor do filme laminar, é a equação proposta por Swamee, inclusive, a mesma pode ser utilizada para qualquer regime de escoamento, tanto para o regime turbulento, como para o regime laminar.

A equação 22 é utilizada para o cálculo do fator de atrito de Swamee.

$$f = \left\{ \left(\frac{64}{Re} \right)^8 + 9,5 \cdot \left[\ln \left(\frac{Kr}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) - \left(\frac{2500}{Re} \right)^6 \right]^{-16} \right\}^{0,125} \quad (22)$$

Em que:

f = fator de atrito (adimensional);

Re = número de Reynolds (adimensional);

Kr = rugosidade relativa (adimensional).

A vantagem de utilizar a equação proposta por Swamee em um aplicativo como o IRRIGAR, é que a mesma, possibilita a classificação do regime de escoamento, servindo de filtro, para as demais equações, que dependem desta classificação para serem utilizadas. Essa foi à primeira medida adotada para refinar o valor do fator de atrito, a segunda, consiste em considerar o fator de atrito, que não apresente nenhuma restrição para sua utilização apresente o menor valor possível.

3.5.11. Regime turbulento liso

Para o regime turbulento liso, o fator de atrito é função do número de Reynolds e, as seguintes equações que estão disponíveis para determiná-lo, desde que, atendam restrições próprias para sua utilização.

3.5.12. Fator de atrito de Blasius

A equação 23 é utilizada para o cálculo do fator de atrito de Blasius.

$$f = 0,316 \operatorname{Re}^{-0,25} \quad (23)$$

Restrição: $3.000 \leq \operatorname{Re} \leq 100.000$

Em que:

f = fator de atrito (adimensional);

Re = número de Reynolds (adimensional).

3.5.13. Fator de atrito de Von Kármán-Prandtl

A equação 24 é utilizada para o cálculo do fator de atrito de Von Kármán-Prandtl.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log (\operatorname{Re} \sqrt{f}) - 0,8 \quad (24)$$

Restrição: $10.000 \leq \operatorname{Re} \leq 3.400.000$ e $\operatorname{Re} \sqrt{f} > 800$

Em que:

f = fator de atrito (adimensional);

Re = número de Reynolds (adimensional).

3.5.14. Fator de atrito de Nikuradse I

A equação 25 é utilizada para o cálculo do fator de atrito de Nikuradse para o regime turbulento liso.

$$f = 0,0032 + 0,221 \operatorname{Re}^{-0,237} \quad (25)$$

Restrição: $10.000 \leq \operatorname{Re} \leq 3.400.000$ e $\operatorname{Re} \sqrt{f} > 800$

Em que:

f = fator de atrito (adimensional);

Re = número de Reynolds (adimensional).

3.5.15. Fator de atrito de Konakov

A equação 26 é utilizada para o cálculo do fator de atrito de Konakov.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{5,62}{\operatorname{Re}^{0,9}} \right) \quad (26)$$

Restrição: $10.000 \leq \operatorname{Re} \leq 3.400.000$ e $\operatorname{Re} \sqrt{f} > 800$

Em que:

f = fator de atrito (adimensional);

Re = número de Reynolds (adimensional).

3.5.16. Regime turbulento de transição

No regime turbulento de transição, o fator de atrito é função, tanto do número de Reynolds, como também da rugosidade relativa e, as seguintes equações estão disponíveis para determiná-lo, desde que, atendam restrições próprias para sua utilização.

3.5.17. Fator de atrito de Prandtl-Colebrook

A equação 27 é utilizada para o cálculo do fator de atrito de Prandtl-Colebrook.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1,74 - 2 \log \left(2 Kr + \frac{18,7}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (27)$$

Restrição: $14 < Re \sqrt{f} Kr < 200$

Em que:

f = fator de atrito (adimensional);

Re = número de Reynolds (adimensional);

Kr = rugosidade relativa (adimensional).

3.5.18. Fator de atrito de Colebrook-White

A equação 28 é utilizada para o cálculo do fator de atrito de Colebrook-White.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{2 Kr}{3,71} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right) \quad (28)$$

Restrição: $14 < Re \sqrt{f} Kr < 200$

Em que:

f = fator de atrito (adimensional).

Re = número de Reynolds (adimensional);

Kr = rugosidade relativa (adimensional).

3.5.19. Fator de atrito de Moody

A equação 29 é utilizada para o cálculo do fator de atrito de Moody.

$$f = 0,0055 \left[1 + \left(20 \cdot 10^3 \text{ Kr} + \frac{10^6}{\text{Re}} \right)^{1/3} \right] \quad (29)$$

Restrição: $4.000 < Re < 10.000.000$

Em que:

f = fator de atrito (adimensional);

Re = número de Reynolds (adimensional);

Kr = rugosidade relativa (adimensional).

3.5.20. Regime turbulento rugoso

No regime turbulento rugoso, o fator de atrito é função somente da rugosidade relativa e, apenas uma equação proposta por Nikuradse está disponível, para determiná-lo, desde que, atenda uma restrição própria para sua utilização.

3.5.21. Fator de atrito de Nikuradse II

A equação 30 é utilizada para o cálculo do fator de atrito de Nikuradse para o regime turbulento rugoso.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1,74 - 2 \log (2 \text{ Kr}) \quad (30)$$

Restrição: $Re \cdot \sqrt{f} \cdot kr \geq 200$

Em que:

f = fator de atrito (adimensional);

Kr = rugosidade relativa (adimensional).

3.5.22. Método direto

A equação 26 é utilizada para o cálculo da perda de carga localizada por peça.

$$h_{fl} = K_{pe} \frac{v^2}{2g} \quad (26)$$

Em que:

h_{fl} = perda de carga localizada na peça (mca);

K_{pe} = constante de perda localizada da peça (adimensional);

v = velocidade de escoamento da água (m/s);

g = aceleração da gravidade (m/s²).

A tabela 7 fornece a constante de perda de carga localizada de algumas peças especiais.

Tabela 7. Constante de perda de carga localizada de algumas peças especiais

Descrição da peça	Constante da peça	Descrição da peça	Constante da peça
Ampliação gradual *	0,30	Junção	0,40
Bocais	2,75	Medidor Venturi **	2,50
Comporta aberta	1,00	Redução gradual *	0,15
Controlador de vazão	2,50	Registro de ângulo aberto	5,00
Cotovelo de 90°	0,90	Registro de gaveta aberto	0,20
Cotovelo de 45°	0,40	Registro de globo aberto	10,00
Crivo	0,75	Saída de canalização	1,00
Curva de 90°	0,40	Tê com passagem direta	0,60
Curva de 45°	0,20	Tê com saída de lado	1,30
Curva de 22,5°	0,10	Tê com saída bilateral	1,80
Entrada normal de tubulação	0,50	Válvula de pé	1,75
Entrada de borda	1,00	Válvula de retenção	2,50
Pequena derivação	0,03	Velocidade	1,00

* com base na velocidade maior (menor seção); ** relativa à velocidade na canalização.

Fonte: Carvalho & Oliveira (2008)

3.5.23. Fator de múltiplas saídas

A equação 27 é utilizada para o cálculo do fator de múltiplas saídas.

$$F_{ms} = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2 N_s} + \frac{\sqrt{(m-1)}}{6 N_s^2} \quad (27)$$

Em que:

F_{ms} = fator de múltiplas saídas (adimensional);

m = expoente da vazão na equação universal;

N_s = número de saídas (unidades).

3.5.24. Relação de espaçamento

A equação 28 é utilizada para o cálculo da relação de espaçamento.

$$E = \frac{Es_1}{Es} \quad (28)$$

Em que:

E = relação de espaçamento (adimensional);

Es_1 = Espaçamento da primeira saída (m);

Es = espaçamento entre saídas (m).

3.5.25. Fator de múltiplas saídas corrigido

A equação 29 é utilizada para o cálculo do fator de múltiplas saídas corrigido.

$$F_{msc} = \frac{N_s F_{ms} + E - 1}{N_a + E - 1} \quad (29)$$

Em que:

F_{msc} = fator de múltiplas saídas corrigido (adimensional);

N_s = Número de saídas (m);

F_{ms} = fator de múltiplas saídas (adimensional);

E = relação de espaçamento (adimensional).

3.5.26. Altura geométrica ou estática

A equação 30 é utilizada para o cálculo da altura geométrica de uma linha.

$$h_{gl} = \frac{Pdl \cdot Ll}{100} \quad (30)$$

Em que:

h_{gl} = altura geométrica da linha (m);

Pdl = declividade da linha (percentual);

Ll = comprimento da linha (m).

3.5.27. Pressão na entrada da área irrigada

A equação 31 é utilizada para o cálculo da pressão na entrada da área irrigada.

$$P_{eai} = \sum h_{gli} + \sum h_{fli} + P_{ell} \quad (31)$$

Em que:

P_{eai} = pressão na entrada da área irrigada (mca);

$\sum h_{gli}$ = somatório das alturas geométricas das linhas de irrigação (m);

$\sum h_{fli}$ = somatório das perdas de carga contínuas e localizadas das linhas de irrigação (mca);

P_{ell} = pressão na entrada da linha lateral (mca).

3.5.28. Altura manométrica ou dinâmica

A equação 32 é utilizada para calcular a altura manométrica de sistemas que utilizam motobomba centrífuga do tipo eixo horizontal instalada de forma não afogada, a altura manométrica do sistema também pode ser determinada pela

equação 39, que representa a equação da altura manométrica do sistema em função da vazão, que foi deduzida da equação 32, conforme demonstrado pelas equações 33, 34, 35, 36, 37, 38 e 39.

$$H_{man} = h_{gls} + h_{fls} + h_{glr} + h_{flr} + P_{eai} \quad (32)$$

$$h_{fls} = h_{fcls} + h_{fls} \quad (33)$$

$$h_{flr} = h_{fclr} + h_{flr} \quad (34)$$

$$K1 = h_{gls} + h_{glr} + P_{eai} \quad (35)$$

$$K2 = (K_s + K_r) \quad (36)$$

$$K_s = \frac{h_{fls}}{Q^2} \quad (37)$$

$$K_r = \frac{h_{flr}}{Q^2} \quad (38)$$

$$H_{man} = K1 + K2 Q^2 \quad (39)$$

A equação 40 é utilizada para calcular a altura manométrica de sistemas que utilizam motobomba centrífuga do tipo eixo horizontal instalada de forma afogada, a altura manométrica do sistema também pode ser determinada pela equação 47, que representa a equação da altura manométrica do sistema em função da vazão, que foi deduzida a partir da equação 40, conforme demonstrado pelas equações 41, 42, 43, 44, 45 e 46.

$$H_{man} = -h_{gls} + h_{fls} + h_{glr} + h_{flr} + P_{eai} \quad (40)$$

$$h_{fls} = h_{fcls} + h_{fls} \quad (41)$$

$$h_{flr} = h_{fclr} + h_{flr} \quad (42)$$

$$K3 = -h_{gls} + h_{glr} + P_{eai} \quad (43)$$

$$K2 = (K_s + K_r) \quad (44)$$

$$K_s = \frac{h_{fls}}{Q^2} \quad (45)$$

$$K_r = \frac{h_{flr}}{Q^2} \quad (46)$$

$$H_{man} = K3 + K2 Q^2 \quad (47)$$

A equação 48 é utilizada para calcular a altura manométrica de sistemas que utilizam motobomba centrífuga do tipo submersa instaladas em poços artesianos, a altura manométrica do sistema pode ser determinada pela equação 48, ou, pela equação 53, que representa a equação da altura manométrica do sistema em função

da vazão, deduzida a partir da equação 48, conforme demonstrado pelas equações 49, 50, 51, 52 e 53.

$$H_{man} = h_{glr} + h_{flr} + P_{eai} \quad (48)$$

$$h_{flr} = h_{fclr} + h_{fllr} \quad (49)$$

$$K_4 = h_{glr} + P_{eai} \quad (50)$$

$$K_5 = K_r \quad (51)$$

$$K_r = \frac{h_{flr}}{Q^2} \quad (52)$$

$$H_{man} = K_4 + K_5 Q^2 \quad (53)$$

Em que:

H_{man} = altura manométrica do sistema (m);

h_{glr} = altura geométrica da linha de sucção (m);

h_{fls} = perda de carga total da linha de sucção (mca);

h_{glr} = altura geométrica da linha de recalque (m);

h_{flr} = perda de carga total da linha de recalque (mca);

P_{eai} = pressão na entrada da área irrigada (mca);

h_{fcls} = perda de carga contínua da linha de sucção (mca);

h_{flls} = perda de carga localizada da linha de sucção (mca);

h_{fclr} = perda de carga contínua da linha de recalque (mca);

h_{fllr} = perda de carga localizada da linha de recalque (mca);

K_s = constante dinâmica da linha de sucção (s/m²);

K_r = constante dinâmica da linha de recalque (s/m²);

K_1 = constante estática da altura manométrica (m);

K_2 = constante dinâmica da altura manométrica (s/m²);

K_3 = constante estática da altura manométrica (m);

K_4 = constante estática da altura manométrica (m);

K_5 = constante dinâmica da altura manométrica (s/m²);

Q = vazão da motobomba (m³/s).

3.5.29. Net positive suction head disponível e requerido

Na prática, os fabricantes fornecem as curvas características das bombas, como a curva da altura manométrica versus vazão, potência de entrada versus vazão, rendimento versus vazão e a curva do NPSHr versus vazão. Recomendam a adição de uma folga de 0,6 (mca) para compensar eventuais variações na altura de sucção.

Esse critério foi adotado no desenvolvimento do aplicativo computacional – IRRIGAR, para determinar o valor e a equação do NPSHd, para as motobombas centrífugas do tipo eixo horizontal independente da sua forma de instalação.

$$\text{NPSHd} \geq \text{NPSHr} + 0,6 \quad (54)$$

Em que:

NPSHd = net positive suction head disponível pelo sistema (mca);

NPSHr = net positive suction head requerido pela bomba (mca).

Para as motobombas centrífugas de eixo horizontal instaladas de forma não afogada, o NPSHd do sistema, considerando a folga recomendada, pode ser calculado tanto pela equação 55, como pela equação 58, que representa a equação do NPSHd pelo sistema em função da vazão, deduzida a partir da equação 55, conforme demonstrado pelas equações 56 e 57.

$$\text{NPSHd} = \text{Pat} - \text{hgls} - \text{hfls} - \text{pv} - 0,6 \quad (55)$$

$$\text{K6} = \text{Pat} - \text{hgls} - \text{pv} - 0,6 \quad (56)$$

$$\text{K7} = \text{Ks} \quad (57)$$

$$\text{NPSHd} = \text{K6} - \text{K7} \text{Q}^2 \quad (58)$$

Para as motobombas centrífugas de eixo horizontal instaladas de forma afogada, o NPSHd do sistema, considerando a folga recomendada, pode ser calculado tanto pela equação 59, como pela equação 62, que representa a equação do NPSHd pelo sistema em função da vazão, deduzida a partir da equação 59, conforme demonstrado pelas equações 60 e 61.

$$\text{NPSHd} = \text{Pat} + \text{hgls} - \text{hfls} - \text{pv} - 0,6 \quad (59)$$

$$\text{K8} = \text{Pat} + \text{hgls} - \text{pv} - 0,6 \quad (60)$$

$$\text{K7} = \text{Ks} \quad (61)$$

$$\text{NPSHd} = \text{K8} - \text{K7} \text{Q}^2 \quad (62)$$

Em que:

NPSHd = net positive suction head disponível pelo sistema (mca);

Pat = pressão atmosférica no local de instalação da motobomba (mca);

hgls = altura geométrica da linha de sucção (m);

hfls = perda de carga da linha de sucção (mca);

pv = pressão de vapor da água de acordo com sua temperatura (mca).

Ks = constante dinâmica da linha sucção (s/m²);

K6 = constante estática do NPSHd (mca);

$K7$ = constante dinâmica do NPSHd (s/m^2);

$K8$ = constante estática do NPSHd (mca);

Q = vazão da motobomba (m^3/s).

3.5.30. Dimensionamento de motobomba

O dimensionamento de uma motobomba centrífuga para um sistema de irrigação por aspersão convencional consiste na determinação do tipo e da forma de instalação mais adequada em função das características da fonte de água a ser aproveitada e, também, na especificação da sua potência nominal. A potência nominal da motobomba é determinada, considerando que a mesma deve ser maior ou igual à potência de saída do motor, calculada em projeto, como a mínima necessária, para atender o maior valor resultante do produto da vazão pela altura manométrica apresentada por uma área a ser irrigada.

3.5.31. Potência de saída da bomba

A equação 63 é utilizada para o cálculo da potência de saída da bomba.

$$P_{sb} = \frac{\rho \ g \ Q \ H_{man}}{736} \quad (63)$$

Em que:

P_{sb} = potência de saída da bomba (cv);

ρ = densidade da água (kg/m^3);

g = aceleração da gravidade ($\approx 9,81 \ m/s^2$);

Q = vazão da motobomba (m^3/s);

H_{man} = altura manométrica do sistema (m).

3.5.32. Rendimento da bomba

A equação 64 é utilizada para o cálculo do rendimento da bomba.

$$\eta_b = \frac{P_{sb}}{P_{eb}} \quad (64)$$

Em que:

η_b = rendimento da bomba (decimal);

P_{sb} = potência de saída da bomba (cv);

P_{eb} = potência de entrada da bomba (cv).

3.5.33. Potência de saída do motor

A equação 65 é utilizada para o cálculo da potência de entrada da bomba e para o cálculo da potência de saída do motor.

$$P_{eb} = P_{sm} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{man}}{736 \cdot \eta_b} \quad (65)$$

Em que:

P_{eb} = potência de entrada da bomba (cv).

P_{sm} = potência de saída do motor (cv).

ρ = massa específica da água (kg/m^3);

g = aceleração da gravidade (m/s^2);

Q = vazão total do sistema (m^3/s);

H_{man} = altura manométrica do sistema (m);

η_b = rendimento da bomba (decimal).

3.5.34. Potência nominal motor

Para o acionamento de bombas centrífugas, preferencialmente, se deve utilizar os motores elétricos de indução do tipo trifásico, ao invés do tipo monofásico. Pois, os trifásicos apresentam rendimento maior, possuem características construtivas mais simples, são mais robustos, demandam menor necessidade de manutenção e, além disso, são ainda de menor custo para uma mesma potência nominal.

A potência nominal do motor é selecionada de acordo com os valores disponíveis comercialmente, considerando que essa, deve ser igual ou superior a potência calculada em projeto, como necessária na saída do motor, ou seja, no eixo do mesmo. Não existe a necessidade de adicionar folgas na potência nominal, pois, todo motor possui um fator de serviço que lhe permite desenvolver uma potência, além do valor nominal. Aliás, um motor sobre dimensionado, ou seja, com muita folga, apresenta queda de rendimento e de fator de potência.

A equação 66 mostra o critério que deve ser utilizado para a escolha da potência nominal do motor e a tabela 8, fornece os valores comerciais disponíveis com seu respectivo fator de serviço em função do número de pólos do motor.

$$P_{nm} \geq P_{sm} \quad (66)$$

Em que:

P_{nm} = potência nominal do motor (cv);

P_{sm} = potência de saída do motor (cv).

Tabela 8. Potência nominal e fator de serviço em função do número de pólos dos motores trifásicos de indução

Potência nominal		Fator de serviço			
kW	cv	Número de pólos			
		2	4	6	8
0,037	1/20	1,4	1,4	1,4	1,4
0,060	1/12	1,4	1,4	1,4	1,4
0,090	1/8	1,4	1,4	1,4	1,4
0,120	1/6	1,35	1,35	1,35	1,35
0,180	1/4	1,35	1,35	1,35	1,35
0,250	1/3	1,35	1,35	1,35	1,35
0,370	1/2	1,25	1,25	1,25	1,25
0,550	3/4	1,25	1,25	1,25	1,25
0,750	1	1,25	1,15	1,15	1,15
1,100	1,5	1,15	1,15	1,15	1,15
1,470	2	1,15	1,15	1,15	1,15
2,210	3	1,15	1,15	1,15	1,15
2,940	4	1,15	1,15	1,15	1,15
4,420	6	1,15	1,15	1,15	1,15
5,520	7,5	1,15	1,15	1,15	1,15
7,360	10	1,15	1,15	1,15	1,15
9,200	12,5	1,15	1,15	1,15	1,15
11,040	15	1,15	1,15	1,15	1,15
14,720	20	1,15	1,15	1,15	1,15
18,400	>25	1,15	1,15	1,15	1,15

Fonte: Mantovani et al. (2009).

3.5.35. Rendimento do motor

A equação 67 é utilizada para o cálculo do rendimento do motor.

$$\eta_m = \frac{P_{sm}}{P_{em}} \quad (67)$$

Em que:

η_m = rendimento do motor (decimal);

P_{sm} = potência de saída do motor (cv);

P_{em} = potência de entrada do motor (cv).

3.5.36. Potência de entrada do motor

A equação 68 é utilizada para o cálculo da potência de entrada do motor.

$$P_{em} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{man}}{10^3 \cdot \eta_b \cdot \eta_m} \quad (68)$$

Em que:

P_{em} = potência de entrada do motor (kW).

ρ = massa específica da água (kg/m^3);

g = aceleração da gravidade (m/s^2);

Q = vazão total do sistema (m^3/s);

H_{man} = altura manométrica do sistema (m);

η_b = rendimento da bomba (decimal);

η_m = rendimento do motor (decimal).

3.5.37. Rendimento da motobomba

A equação 69 é utilizada para o cálculo do rendimento da motobomba.

$$\eta_{mb} = \eta_b \eta_m \quad (69)$$

Em que:

η_{mb} = rendimento da motobomba (decimal);

η_b = rendimento da bomba (decimal);

η_m = rendimento do motor (decimal).

3.5.38. Condições gerais para o fornecimento de energia elétrica

A Resolução Normativa nº 414, de 09 de setembro de 2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece as condições gerais para o fornecimento de energia elétrica, definindo o critério para ligação de consumidores em baixa tensão. A grande vantagem de ser um consumidor em baixa tensão consiste em utilizar o transformador fornecido pela concessionária, no entanto, esse transformador, pode ser aproveitado para atender outros consumidores.

Em geral, para que uma unidade consumidora possa ser conectada na rede elétrica de baixa tensão, a mesma deve apresentar carga instalada menor ou igual a 75 (kW), entretanto, alguns tipos de cargas podem ser consideradas como especiais. Este é o caso, dos motores elétricos de indução, para o qual, a maioria das concessionárias de energia elétrica do Brasil, estabelece um critério à parte, ou seja, a potência nominal máxima de motores elétricos de indução do tipo trifásico de uma unidade consumidora deve ser menor ou igual a 20 (cv), para que a mesma possa ser conectada na rede elétrica de baixa tensão. Sendo, esse limite, ainda menor, para os motores do tipo monofásico.

Os consumidores que não atendem as condições anteriormente citadas, são ligados em alta tensão, com isso existe a necessidade de investimento no projeto e instalação do posto de transformação e, também, mudança na forma de tarifação da energia elétrica, que, além de possuir a tarifa de consumo, também terá tarifa de demanda, no entanto, para postos de transformação de potência nominal igual ou inferior a 112,5 kVA é opcional ao consumidor optar pela tarifação em baixa tensão. As condições para o fornecimento e tarifação da energia elétrica que foram mencionados, foram às adotadas para o desenvolvimento do aplicativo computacional – IRRIGAR.

3.5.39. Consumo de energia elétrica das motobombas

A equação 70 é utilizada para o cálculo do consumo de energia elétrica da motobomba.

$$C = P_{em} T_f \quad (70)$$

Em que:

C = consumo de energia elétrica da motobomba (kWh);

P_{em} = potência de entrada do motor (kW);

T_f = tempo de funcionamento da motobomba (h).

3.5.40. Demanda ativa da motobomba

A equação 71 é utilizada para o cálculo da demanda ativa da motobomba.

$$D = \frac{0,736 P_{nm}}{\eta_{mb}} \quad (71)$$

Em que:

D = demanda ativa da motobomba (kW);

P_{nm} = potência nominal do motor (cv);

η_{mb} = rendimento da motobomba (decimal).

3.5.41. Demanda aparente da motobomba

A equação 72 é utilizada para o cálculo da demanda aparente da motobomba.

$$S = \frac{D}{0,92} \quad (72)$$

Em que:

S = demanda aparente da motobomba (kVA);

D = demanda ativa da motobomba (kW).

3.5.42. Potência aparente nominal do posto de transformação de energia elétrica

A equação 73 é utilizada para o cálculo da potência aparente do posto de transformação de energia elétrica.

$$S_n \geq S \quad (73)$$

Em que:

S_n = potência aparente nominal do transformador (kVA);

S = demanda aparente da motobomba (kVA).

3.5.43. Dimensionamento de vala

A vala é dimensionada em função da profundidade de instalação da geratriz superior do tubo, diâmetro do tubo e do ângulo de inclinação do talude. A figura 27 mostra em detalhes uma vala com taludes e, também as variáveis que representam suas dimensões com a respectiva legenda.

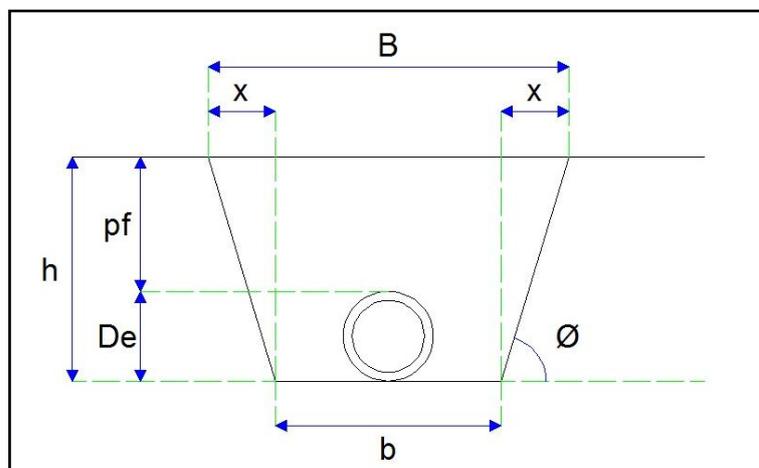


Figura 13. Vala com taludes para tubulações enterradas

Legenda:

pf = profundidade da vala (m);

De = diâmetro externo do tubo (m);

h = altura da vala (m);

b = base menor da vala (m);

B = base maior da vala (m);

x = cateto adjacente do ângulo de inclinação do talude (m);

ϕ = ângulo de inclinação do talude (graus).

3.5.44. Altura da vala

A equação 74 é utilizada para o cálculo da altura da vala.

$$h = pf + De \quad (74)$$

Em que:

h = altura da vala (m);

pf = profundidade da vala (m);

De = diâmetro externo do tubo (m).

3.5.45. Base menor da vala

A equação 75 é utilizada para o cálculo da base menor da vala.

$$b = De + 0,6 \quad (75)$$

Em que:

b = base menor da vala (m);

De = diâmetro externo da vala (m).

3.5.46. Base maior da vala

A equação 76 é utilizada para o cálculo do parâmetro x da vala.

$$x = \frac{h}{\text{tg } \phi} \quad (76)$$

Em que:

x = cateto adjacente do ângulo de inclinação do talude (m);

h = altura da vala (m);

ϕ = ângulo de inclinação do talude (graus).

Assim, a base maior da vala pode ser calculada pela equação 77.

$$B = b + 2x \quad (77)$$

Em que:

B = base maior da vala (m);

b = base menor da vala (m);

x = cateto adjacente do ângulo de inclinação do talude (m).

3.5.47. Área da vala

A equação 78 é utilizada para o cálculo da área da vala.

$$A_v = \frac{(B + b) h}{2} \quad (78)$$

Em que:

A_v = área da vala (m^2);

D_e = diâmetro externo da vala (m);

b = base menor da vala (m);

B = base maior da vala (m);

h = altura da vala (m).

3.5.48. Volume de escavação

A equação 79 é utilizada para o cálculo do volume de escavação.

$$V_{esc} = A_v L \quad (79)$$

Em que:

V_{esc} = volume de escavação (m^3);

A_v = área da vala (m^2);

L = comprimento da linha enterrada (m).

3.5.49. Volume de bota-fora

A equação 80 é utilizada para o cálculo da área do tubo.

$$A_t = \frac{\pi D_e^2}{4} \quad (80)$$

Em que:

A_t = área do tubo (m^2);

D_e = diâmetro externo do tubo (m).

A equação 81 é utilizada para o cálculo do volume de bota-fora.

$$V_{bf} = 1,3 A_t L \quad (81)$$

Em que:

V_{bf} = volume de bota-fora (m^3);

A_t = área do tubo (m^2);

L = comprimento da linha enterrada (m).

3.5.50. Volume de aterro

A equação 82 é utilizada para o cálculo do volume de aterro.

$$V_{at} = V_{esc} - V_{bf} \quad (82)$$

Em que:

V_{at} = volume de aterro (m^3);

V_{esc} = volume de escavação (m^3);

V_{bf} = volume de bota-fora (m^3).

3.5.51. Área para recomposição de pavimento

A equação 83 é utilizada para o cálculo do volume de bota-fora.

$$A_{rp} = B L \quad (83)$$

Em que:

A_{rp} = área de recomposição de pavimento (m^2);

B = base maior da vala (m^2);

L = comprimento da linha (m).

A figura 14 mostra a janela do aplicativo computacional – IRRIGAR desenvolvida para determinar as dimensões da vala para uma linha enterrada.

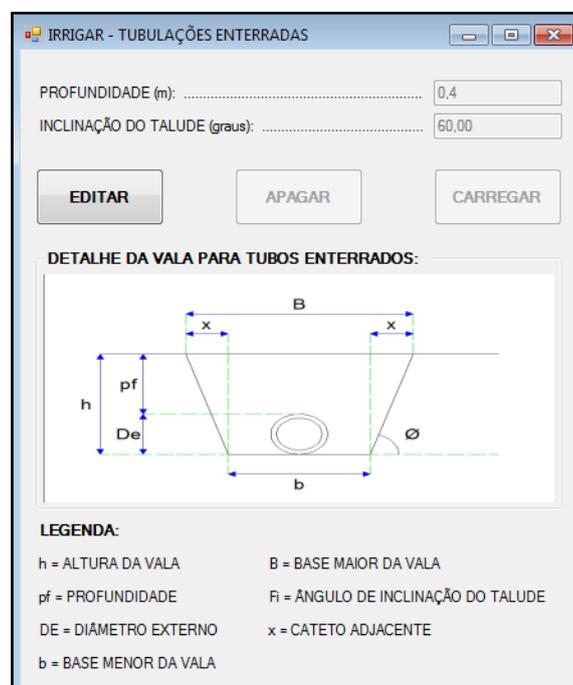


Figura 14. Janela do aplicativo computacional – IRRIGAR desenvolvida para o dimensionamento de valas para tubulações enterradas

3.6. Introdução aos custos

De uma forma geral, em qualquer tipo de empreendimento para maximizar os lucros é necessário minimizar os custos. Os custos de um sistema de irrigação por aspersão convencional são os correspondentes e necessários para sua implantação e operação. Os custos de implantação correspondem aos custos de componentes e serviços necessários para a instalação do sistema, como tubulações, motobomba, instalações elétricas, mão de obra de instalação e outros. Em contrapartida, os custos de operação correspondem aos custos necessários para o funcionamento do sistema, como os custos com manutenções e principalmente com energia elétrica.

Esses custos ocorrem em períodos de tempo diferentes, enquanto os custos de implantação ocorrem totalmente na instalação do sistema, os custos de operação ocorrem durante a vida útil e conforme o tempo de funcionamento do mesmo. Como a técnica do dimensionamento econômico tem a finalidade de dimensionar os componentes do sistema de forma a se obter o menor custo total, se faz necessário calcular esses custos para um mesmo período de tempo. Neste caso, normalmente, os custos de implantação são calculados para o período correspondente a um ano, com o auxílio do fator de recuperação capital e para o mesmo período, os custos de operação também são quantificados, permitindo assim, a adição dos mesmos.

Para dimensionar de forma econômica um sistema, é necessário realizar o levantamento de todos os custos em função dos diferentes tubos testados em todas as linhas. Entretanto, considerar os custos significativos e que apresentam potencial para sofrer variação em função das perdas de carga do sistema, permite uma simplificação significativa para determinar a solução do problema.

Um estudo sobre o tema permitiu identificar que os custos significativos que apresentam potencial para sofrer variação em função das perdas de carga do sistema de irrigação por aspersão convencional, são os que correspondem aos gastos com tubos, instalação de tubos enterrados, motobomba, posto de transformação, utilização da energia elétrica e manutenção. Os gastos com a utilização da energia elétrica e com as manutenções são custos de operação, o restante, são custos de implantação.

3.6.1. Custos

A figura 15 mostra a janela do aplicativo – IRRIGAR, com os custos de implantação anteriormente mencionados. Essa janela permite ao usuário selecionar os custos que devem ser considerados, tanto durante o dimensionamento hidráulico de linhas, como também, durante o dimensionamento econômico do sistema.

IRRIGAR - CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO

RELAÇÃO DE CUSTOS:

- TUBOS
- INSTALAÇÃO DE TUBOS ENTERRADOS
- MOTOBOMBA
- POSTO DE TRANSFORMAÇÃO DE ENERGIA

RELAÇÃO E CUSTO DE INSTALAÇÃO DE TUBOS:

CUSTO (R\$)

- CUSTO DA ESCAVAÇÃO (R\$/m): 3,50
- CUSTO DE BOTA-FORA (R\$/m): 1,20
- CUSTO DO ATERRO (R\$/m): 0,50
- CUSTO DE RECOMPOSIÇÃO DE PAVIMENTO (R\$/m): 2,10

EDITAR ADICIONAR

CUSTO DA MOTOBOMBA TRIFÁSICA:

POTÊNCIA NOMINAL	CUSTO (R\$)
5 cv	2081,11
7,5 cv	2565,88
10 cv	3249,04
12,5 cv	4044,48
15 cv	4408,07
20 cv	5910,90
25 cv	6849,30
30 cv	8778,06
40 cv	12410,47
60 cv	22500,00
75 cv	26000,00
100 cv	29000,00
125 cv	39000,00
150 cv	43000,00
175 cv	51000,00
200 cv	61000,00

EDITAR ADICIONAR

CUSTO DO POSTO DE TRANSFORMAÇÃO DE ENERGIA:

POTÊNCIA NOMINAL	CUSTO (R\$)
30 kVA	12500,00
45 kVA	18500,00
75 kVA	21500,00
112,5 kVA	27200,00
150 kVA	31600,00

EDITAR ADICIONAR

CUSTO DE TUBOS:

TABELA DE CONSULTA: [CUSTO DE TUBOS](#)

Figura 15. Janela do aplicativo computacional - IRRIGAR com a relação dos custos de implantação do sistema de irrigação por aspersão convencional

A figura 16 mostra a janela do aplicativo – IRRIGAR com a relação dos custos de operação, também mencionados anteriormente. Essa janela permite ao usuário editar, tanto os valores das tarifas de energia elétrica, como também, do percentual que irá incidir sobre o custo total de implantação para estimar o custo de manutenção anual.

Figura 16. Janela do aplicativo computacional - IRRIGAR com relação dos custos de operação do sistema de irrigação por persão convencional

3.6.2. Custo dos tubos de uma linha

A equação 84 é utilizada para o cálculo do custo dos tubos de uma linha.

$$C_t = C_{ut} L_l \quad (84)$$

Em que:

C_t = custo dos tubos de uma linha (R\$);

C_{ut} = custo por unidade de comprimento do tubo (R\$/m);

L_l = comprimento da linha (m).

3.6.3. Custo de instalação da linha

A equação 85 é utilizada para o cálculo do custo de instalação de linhas enterradas.

$$C_{it} = C_{esc} + C_{bf} + C_{at} + C_{rp} \quad (85)$$

Em que:

C_{it} = custo de instalação dos tubos de uma linha (R\$);

C_{esc} = custo de escavação (R\$);

C_{bf} = custo de escavação (R\$);

C_{at} = custo de aterro (R\$);

C_{rp} = custo de recomposição de pavimento (R\$).

3.6.4. Custo de escavação

A equação 86 é utilizada para o cálculo do custo de escavação da vala.

$$C_{esc} = C_{uesc} V_{esc} \quad (86)$$

Em que:

C_{esc} = custo de escavação (R\$);

C_{uesc} = custo por unidade de volume de escavação (R\$/m³);

V_{esc} = volume de escavação (m³).

3.6.5. Custo de bota-fora

A equação 87 é utilizada para o cálculo do custo de bota-fora.

$$C_{bf} = C_{ubf} V_{bf} \quad (87)$$

Em que:

C_{bf} = custo de bota-fora (R\$);

C_{ubf} = custo por unidade de volume de bota-fora (R\$/m³);

V_{bf} = volume de bota-fora (m³).

3.6.6. Custo de recomposição de pavimento

A equação 88 é utilizada para o cálculo do custo de recomposição do pavimento.

$$C_{rp} = C_{urp} A_{rp} \quad (88)$$

Em que:

C_{rp} = custo de bota-fora (R\$);

C_{urp} = custo por unidade de área de recomposição de pavimento (R\$/m²);

A_{rp} = volume de bota-fora (m²).

3.6.7. Custos de implantação

A equação 89 é utilizada para o cálculo do custo de implantação.

$$C_I = C_t + C_{it} + C_{mb} + C_{pt} \quad (89)$$

Em que:

C_I = custo de implantação (R\$);

C_t = custo dos tubos de uma linha (R\$);

C_{it} = custo de instalação dos tubos de uma linha (R\$);

C_{mb} = custo da motobomba (R\$);

C_{pt} = custo do posto de transformação (R\$).

3.6.8. Fator de recuperação de capital

A equação 90 é utilizada para o cálculo do fator de recuperação de capital.

$$\text{FRC} = \frac{(1 + i)^n i}{(1 + i)^n - 1} \quad (90)$$

Em que:

FRC = fator de recuperação de capital (decimal);

i = taxa de juros anual (decimal);

n = vida útil do sistema (anos).

3.6.9. Custo de implantação anual

A equação 91 é utilizada para o cálculo do custo de implantação anual.

$$\text{CIA} = \text{CI FRC} \quad (91)$$

Em que:

CIA = custo de implantação anual (R\$);

CI = custo de implantação (R\$);

FRC = fator de recuperação de capital (decimal).

3.6.10. Tarifação da energia elétrica

Basicamente os consumidores de energia elétrica são divididos em dois grupos, os consumidores do grupo B em baixa tensão, com tarifa monômnia, de consumo. E os consumidores do grupo A em alta tensão, com tarifa binômnia, de consumo e demanda. O consumo corresponde à energia utilizada, e a demanda corresponde à potência disponível em qualquer instante para alimentação de cargas.

Em geral, o fornecimento de energia elétrica em alta tensão é diferenciado, devido a motivos técnicos, ou seja, os consumidores do grupo A, além de possuírem cargas de valor bem maior e, de utilização muito mais freqüente, em comparação aos consumidores do grupo B, ainda, representam a maior parcela da carga total instalada no sistema elétrico. Em determinado intervalo de tempo do dia, o acionamento simultâneo das cargas dos consumidores dos grupos A e B, tende a atingir a capacidade máxima do sistema elétrico, colocando em risco sua continuidade, esse intervalo de tempo do dia é conhecido como horário de ponta e, corresponde ao intervalo de três horas consecutivas, definidas pela concessionária de energia elétrica local e, compreendidas entre os horários das 17h00min as 22h00min

de um dia, se excluindo dessa regra, os dias que correspondem aos sábados, domingos ou feriados nacionais. Em contrapartida, no horário fora de ponta, que no caso, é formado pelo restante das horas do dia, o consumo total de energia elétrica, varia e, em muitos momentos desse horário, se encontra, abaixo da metade da capacidade total do sistema elétrico. Portanto, fazendo o custo da energia elétrica maior no horário de ponta, provoca uma mudança de comportamento dos consumidores de alta tensão, que conforme as possibilidades irão migrar ao máximo e naturalmente o funcionamento de suas cargas para o horário fora de ponta. O que, além de melhorar o aproveitamento do sistema elétrico, proporcionado pela regulação do consumo durante as horas do dia, também, possibilita atender novos consumidores sem a necessidade de realizar investimentos.

Também existe um custo diferenciado da energia elétrica conforme o período do ano, pois, aproximadamente um percentual de 80% da geração de energia elétrica no Brasil, depende de hidroelétricas. Com isso, o ano é dividido em dois períodos, o período úmido de dezembro a abril do ano seguinte e, o período seco de maio a novembro desse mesmo ano.

A necessidade de controlar o funcionamento de cargas, conforme o horário do dia e, os períodos do ano deram origem à modalidade tarifária horo-sazonal verde e azul que, em conjunto com a modalidade tarifária convencional, anteriormente existente, formam as tarifas disponíveis para os consumidores do grupo A, esses consumidores devem optar por uma ou outra, para compor sua fatura. Cabe ressaltar, que as tarifas do tipo horo-sazonal passarão a ser do tipo horária e, que a sazonalidade será representada por meio de bandeiras da cor verde, equivalente ao período úmido, bandeira amarela e bandeira vermelha, equivalente ao período seco, sendo sua cor, determinada pela ANEEL, a cada mês. E, ainda, a tarifa convencional para o grupo A em alta tensão, será extinta.

Outro ponto importante, comentado anteriormente, trata do limite para ligação de consumidores em baixa tensão, que deve ser observado com atenção, pois poderá demandar a necessidade de instalação de um posto de transformação, caso o consumidor, utilize um motor elétrico trifásico de indução com potência nominal superior a 20 (cv). Mas também, consumidores que possuem postos de transformação com potência menor ou igual a 112,5 kVA podem optar pela tarifação em baixa tensão, devendo, portanto, ser analisado, qual será a melhor opção.

3.6.11. Demanda mínima

Para os consumidores do grupo A em alta tensão deve ser observado que a demanda mínima a ser contratada em pelo menos um dos postos horários, ou seja, no horário de ponta ou no horário fora de ponta, a demanda mínima a ser contratada segundo a ANELL deve ser igual ou maior a 30 kW.

3.6.12. Desconto para a irrigação

Existem incentivos para as unidades consumidoras que possuem atividade exclusiva na área que envolve a agropecuária e aqüicultura. Esse incentivo se dá, na forma de desconto sobre o consumo de energia ativa da mesma. Para isso, o responsável pela unidade consumidora deve solicitar o benefício à concessionária de energia elétrica local, comprovando o exercício das atividades anteriormente mencionadas. No entanto, é importante ressaltar, que esse desconto é para a utilização da energia elétrica dentro de um faixa de horários, que vai 21h30min até 6h00min do dia seguinte e pelo tempo de no máximo 8h30min consecutivas. Porém, o desconto é significativo e varia de acordo com a região do país, na região Centro Oeste, os consumidores do grupo A que utilizarem este benefício terão um desconto de 80% e, os consumidores do grupo B terão um desconto de 67% sobre o consumo ativo de energia elétrica.

3.6.13. Custo anual da energia elétrica em baixa tensão

A equação 92 é utilizada para o cálculo do custo anual da energia elétrica em baixa tensão.

$$C_{aebt} = P_{em} T_{fa} T_{cbt} \quad (92)$$

Em que:

C_{aebt} = custo anual da energia elétrica em baixa tensão (R\$);

P_{em} = potência de entrada do motor da motobomba (kW);

T_{fa} = tempo de funcionamento anual (h);

T_{cbt} = tarifa de consumo em baixa tensão (R\$/kWh).

3.6.14. Custo anual da energia elétrica em alta tensão - tarifa convencional

A equação 93 é utilizada para o cálculo do custo anual da energia elétrica em alta tensão considerando a tarifa convencional.

$$C_{aeatc} = P_{em} T_{fa} T_{cc} + D T_{dc} \quad (93)$$

Em que:

C_{aeatc} = custo anual da energia elétrica em alta tensão – tarifa convencional (R\$);

P_{em} = potência de entrada do motor da motobomba (kW);

T_{fa} = tempo de funcionamento anual (h);

T_{cc} = tarifa de consumo em alta tensão – tarifa convencional (R\$/kWh);

D = demanda ativa do motor da motobomba (kW);

T_{dc} = tarifa de demanda em alta tensão – tarifa convencional (R\$/kW).

3.6.15. Custo anual da energia elétrica em alta tensão - tarifa horo-sazonal verde

A equação 94 é utilizada para o cálculo do custo anual da energia elétrica em alta tensão considerando a tarifa horo-sazonal verde.

$$C_{aeatv} = P_{em} T_{fa} T_{cfpv} + P_{em} T_{fa} T_{cpv} + D T_{dv} \quad (94)$$

Em que:

C_{aeatv} = custo anual da energia elétrica em alta tensão – tarifa horo-sazonal verde (R\$);

P_{em} = potência de entrada do motor da motobomba (kW);

T_{fa} = tempo de funcionamento anual (h);

T_{cfpv} = tarifa de consumo fora do horário de ponta em alta tensão – tarifa horo-sazonal verde (R\$/kWh);

T_{cpv} = tarifa de consumo no horário de ponta em alta tensão – tarifa horo-sazonal verde (R\$/kWh);

D = demanda ativa do motor da motobomba (kW);

T_{dv} = tarifa de demanda em alta tensão – tarifa horo-sazonal verde (R\$/kW).

3.6.16. Custo anual da energia elétrica em alta tensão - tarifa horo-sazonal azul

A equação 95 é utilizada para o cálculo do custo anual da energia elétrica em alta tensão considerando a tarifa horo-sazonal azul.

$$C_{aeata} = P_{em} T_{fa} T_{cfpa} + P_{em} T_{fa} T_{cpa} + D T_{dfpa} + D T_{dpa} \quad (95)$$

Em que:

C_{aeata} = custo anual da energia elétrica em alta tensão – tarifa horo-sazonal azul (R\$);

P_{em} = potência de entrada do motor da motobomba (kW);

Tfa = tempo de funcionamento anual (h);

Tcfpa = tarifa de consumo fora do horário de ponta em alta tensão – tarifa horo-sazonal azul (R\$/kWh);

Tcpa = tarifa de consumo no horário de ponta em alta tensão – tarifa horo-sazonal azul (R\$/kWh);

D = demanda ativa do motor da motobomba (kW);

Tdfpa = tarifa de demanda em alta tensão no horário fora de ponta – tarifa horo-sazonal azul (R\$/kW).

Tdpa = tarifa de demanda em alta tensão no horário de ponta – tarifa horo-sazonal azul (R\$/kW).

3.6.17. Custo anual de manutenção

A equação 96 é utilizada para o cálculo do custo anual de manutenção.

$$Cam = \frac{CI Psci}{100} \quad (96)$$

Em que:

Cam = custo anual de manutenção (R\$);

CI = custo de implantação (R\$);

Psci = estimativa sobre o custo de implantação (percentual).

3.6.18. Custo de operação anual

A equação 97 é utilizada para o cálculo do custo de operação anual.

$$COA = Cae + Cam \quad (97)$$

Em que:

COA = custo de operação anual (R\$);

Cae = custo anual com energia elétrica (R\$);

Cam = custo anual de manutenção (R\$).

3.6.19. Custo total anual

A equação 98 é utilizada para o cálculo do custo total anual.

$$CTA = CIA + COA \quad (98)$$

Em que:

CTA = custo total anual (R\$);

CIA = custo de implantação anual (R\$);

COA = custo de operação anual (R\$).

3.7. Dimensionamento hidráulico de linhas laterais

Para dimensionar uma linha lateral é necessário determinar o diâmetro interno e a pressão na entrada dessa linha, como existe a necessidade de garantir uma boa uniformidade na distribuição da água emitida pelos aspersores, se utiliza o critério da máxima perda de carga permitida, fazendo a mesma, igual a máxima variação tolerável para a pressão de serviço dos aspersores de uma linha lateral. O aplicativo computacional – IRRIGAR permite selecionar os percentuais de 20 ou 23,5 (%) da pressão de serviço do aspersor mediano para definir o valor da máxima perda de carga permitida. Outro critério adotado foi o de corrigir o fator de múltiplas saídas, quando o espaçamento do primeiro aspersor sobre a linha lateral, for diferente do espaçamento entre os demais aspersores dessa linha.

O dimensionamento hidráulico de linhas laterais no aplicativo computacional – Irrigar é efetuado por meio de duas janelas. Na primeira janela, após o fornecimento e definição de alguns parâmetros necessários, o diâmetro interno da linha lateral é calculado, utilizando a equação universal de Darcy-Weissbach, entretanto, diferente das outras linhas do sistema, aqui o mesmo é determinado por um método iterativo, com a finalidade de determinar o diâmetro interno mínimo que a linha lateral deve possuir para atender ao critério da máxima perda de carga permitida. Após isso, o usuário poderá especificar um valor igual ou maior para esse parâmetro e com base no valor especificado, a perda de carga contínua e a pressão provisória na entrada da linha lateral são calculadas. A figura 17 mostra a janela do aplicativo computacional – IRRIGAR desenvolvida para o dimensionamento de linhas laterais, com um dimensionamento em andamento.

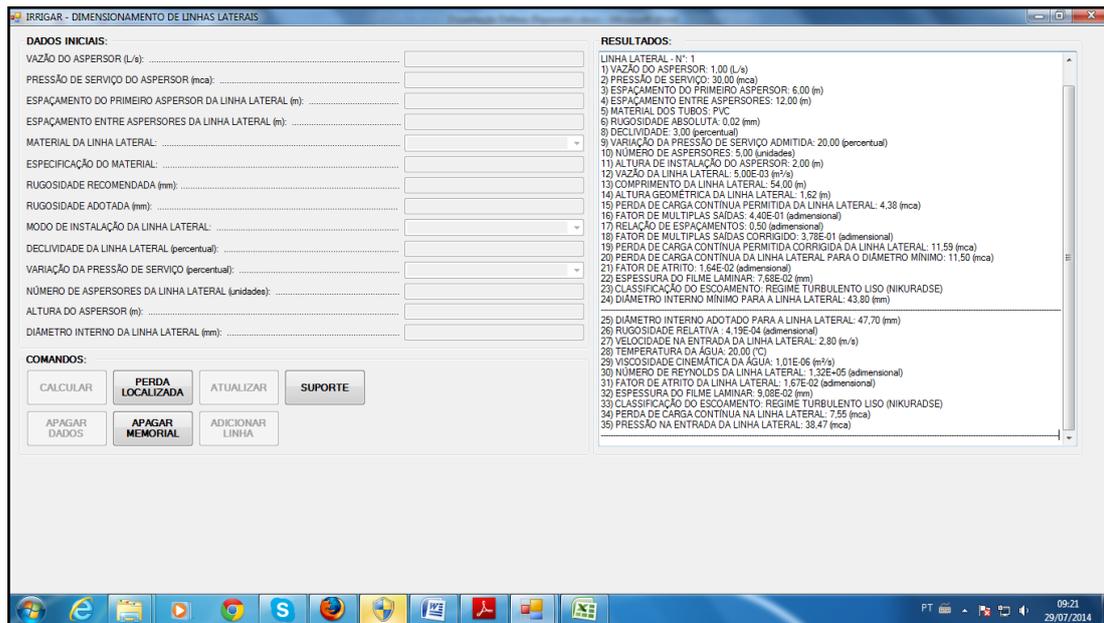


Figura 17. Janela do aplicativo computacional – IRRIGAR desenvolvida para o dimensionamento hidráulico de linhas laterais

A segunda janela para o dimensionamento de linhas laterais tem o propósito de complementar a primeira, pois, trata da quantificação das perdas de carga do tipo localizada. Por meio desta janela, essas perdas podem ser estimadas sobre a pressão de entrada da linha, ou, calculadas pelo método direto, neste caso, como o cálculo é efetuado por trecho, cabe ao usuário informar as peças especiais existentes em cada um deles, considerando como primeiro trecho, o intervalo formado pelo último e o penúltimo aspersores dessa linha.

A figura 18 mostra a janela do aplicativo computacional – IRRIGAR desenvolvida para determinação das perdas de carga do tipo localizada em linhas laterais, com um cálculo pelo método da estimativa.

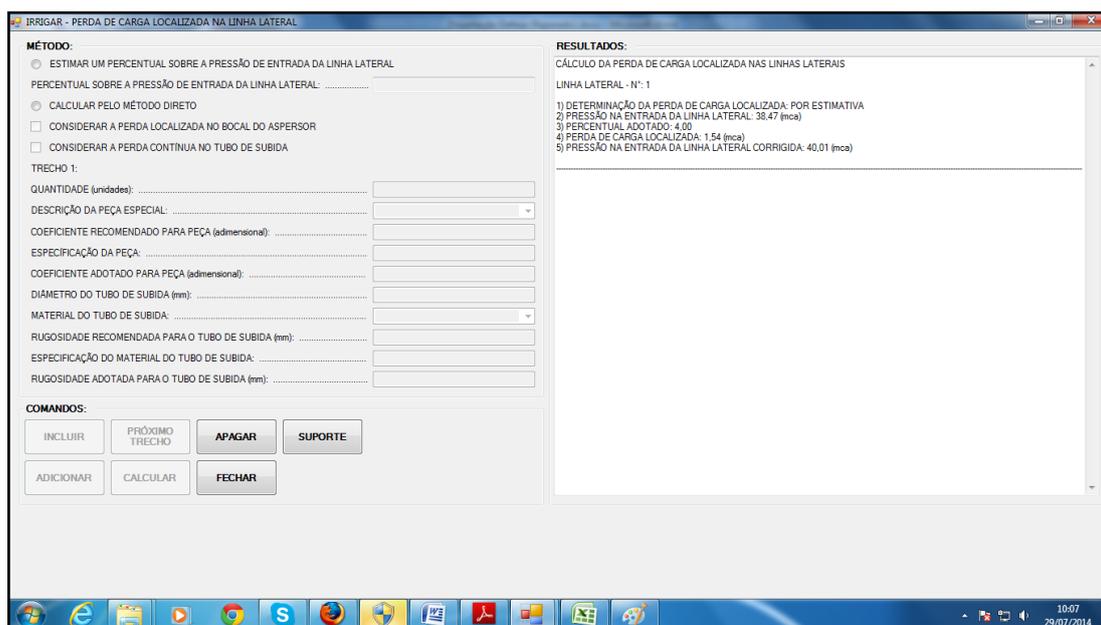


Figura 18. Janela do aplicativo computacional – IRRIGAR desenvolvida para a determinação das perdas de carga do tipo localizada de linhas laterais, com um cálculo pelo método da estimativa

A figura 19 mostra a mesma janela da figura anterior, porém, com um cálculo para determinação da perda de carga localizada pelo método direto. Quando é feita a opção de calcular as perdas de carga localizadas pelo método direto, o aplicativo permite a consideração, tanto da perda de carga localizada no bocal do aspersor, como também, a perda de carga contínua no tubo de subida. Dessa forma, essas duas perdas, também serão consideradas no cálculo da pressão de entrada da linha lateral.

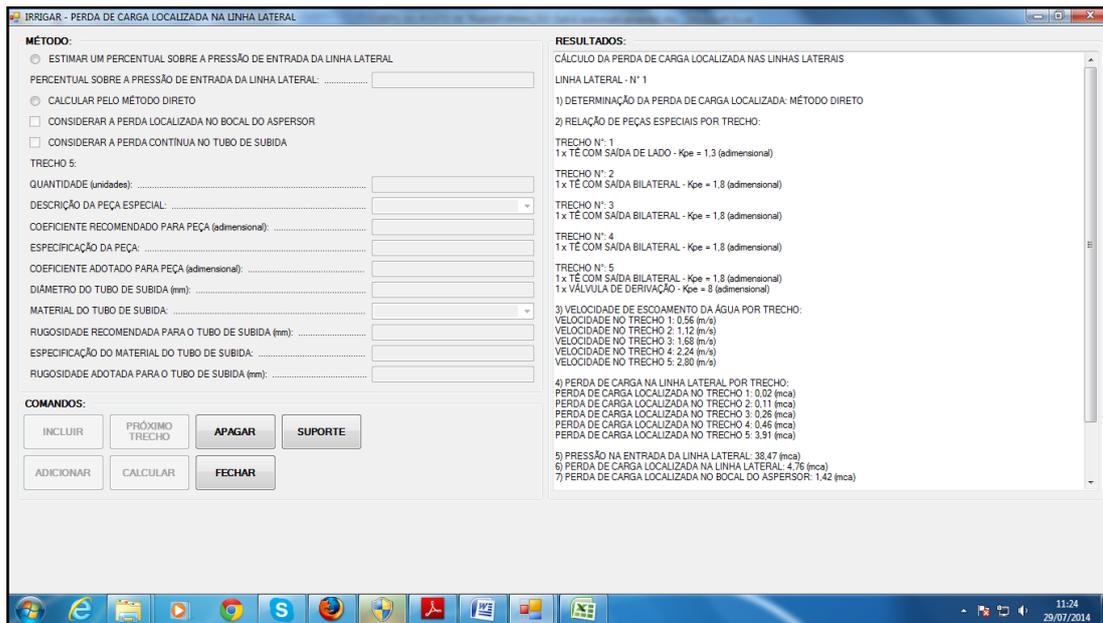


Figura 19. Janela do aplicativo computacional – IRRIGAR desenvolvida para a determinação das perdas de carga do tipo localizada de linhas laterais, com um cálculo pelo método direto

Após o cálculo das perdas de carga do tipo localizada, o usuário deve utilizar o BOTÃO FECHAR da área de comando dessa janela. Assim, o mesmo irá retornar a primeira janela, onde o mesmo deve corrigir o valor da pressão na entrada da linha lateral pelo BOTÃO ATUALIZAR.

O aplicativo computacional – IRRIGAR permite dimensionar mais de uma linha lateral, com os mesmos procedimentos que foram descritos anteriormente, toda linha lateral dimensionada recebe um número de identificação, dessa forma, são identificadas, quando selecionadas para compor o layout do sistema de irrigação que será analisado.

Para realizar o dimensionamento hidráulico de linhas laterais, o aplicativo computacional – IRRIGAR conta com as equações apresentadas a seguir.

3.7.1. Comprimento da linha lateral

A equação 99 é utilizada para o cálculo do comprimento da linha lateral.

$$L_{ll} = (Ea_1 + ((Na - 1) Ea)) \quad (99)$$

Em que:

L_{ll} = comprimento da linha lateral (m);

Ea_1 = espaçamento do primeiro aspersor da linha lateral (m);

Ea = espaçamento entre aspersores na mesma linha lateral (m);

N_a = número de aspersores da linha lateral (unidades).

3.7.2. Altura geométrica da linha lateral

A equação 100 é utilizada para o cálculo da altura geométrica da linha lateral.

$$h_{gll} = \frac{Pd_{ll} L_{ll}}{100} \quad (100)$$

Em que:

h_{gll} = altura geométrica da linha lateral (m);

L_{ll} = comprimento da linha lateral (m);

Pd_{ll} = declividade da linha lateral (percentual).

3.7.3. Perda de carga contínua permitida para a linha lateral.

Para as linhas laterais instaladas em nível, esse parâmetro é calculado pela equação 101.

$$h_{fcpll} = \frac{P_{vps} P_s}{100} \quad (101)$$

Para as linhas laterais instaladas em declive, esse parâmetro é calculado pela equação 102.

$$h_{fcpll} = \frac{P_{vps} P_s}{100} + h_{gll} \quad (102)$$

Para as linhas laterais instaladas em aclave, esse parâmetro é calculado pela equação 103.

$$h_{fcpll} = \frac{P_{vps} P_s}{100} - h_{gll} \quad (103)$$

Em que:

h_{fcpll} = perda de carga contínua permitida na linha lateral (mca);

P_{vps} = variação da pressão dos aspersores (percentual);

P_s = pressão de serviço do aspersor mediano (mca);

h_{gll} = altura geométrica da linha lateral (m).

3.7.4. Fator de múltiplas saídas da linha lateral

A equação 104 é utilizada para o cálculo do fator de múltiplas saídas da linha lateral.

$$F_{msll} = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2Na} + \frac{\sqrt{(m-1)}}{6Na^2} \quad (104)$$

Em que:

F_{msll} = fator de múltiplas saídas da linha lateral (adimensional);

m = expoente da vazão da equação universal ($m = 2$);

Na = número de aspersores da linha lateral (unidades).

3.7.5. Fator de múltiplas saídas corrigido da linha lateral

A equação 105 é utilizada para o cálculo da relação de espaçamento dos aspersores da linha lateral.

$$E1 = \frac{Ea1}{Ea} \quad (105)$$

Em que:

$E1$ = relação de espaçamento dos aspersores da linha lateral (adimensional);

$Ea1$ = espaçamento do primeiro aspersor sobre a linha lateral (m);

Ea = espaçamento entre aspersores da linha lateral (m).

A equação 106 é utilizada para corrigir o fator de múltiplas saídas da linha lateral.

$$F_{msc ll} = \frac{Na F_{msll} + E1 - 1}{Na + E1 - 1} \quad (106)$$

Em que:

$F_{msc ll}$ = fator de múltiplas saídas da linha lateral corrigido (adimensional);

Na = número de aspersores da linha lateral (unidades);

F_{msll} = fator de múltiplas saídas da linha lateral (adimensional);

$E1$ = relação de espaçamento dos aspersores da linha lateral (adimensional).

3.7.6. Perda de carga contínua permitida corrigida para a linha lateral

A equação 107 é utilizada para corrigir a perda de carga contínua permitida da linha lateral.

$$h_{fcpc ll} = \frac{h_{fcpl l}}{F_{msc ll}} \quad (107)$$

Em que:

$h_{fcpc ll}$ = perda de carga contínua permitida corrigida na linha lateral (mca);

$h_{fcpl l}$ = perda de carga contínua permitida na linha lateral (mca);

$F_{msc ll}$ = fator de múltiplas saídas da linha lateral corrigido (adimensional).

3.7.7. Vazão de entrada da linha lateral

A equação 108 é utilizada para o cálculo da vazão na entrada da linha lateral.

$$Q_{ll} = \frac{N_a Q_a}{10^3} \quad (108)$$

Em que:

Q_{ll} = vazão de entrada da linha lateral (m³/s);

N_a = número de aspersores da linha lateral (unidades).

Q_a = vazão dos aspersores da linha lateral (L/s);

3.7.8. Perda de carga contínua mínima da linha lateral

No aplicativo computacional – IRRIGAR, a perda de carga contínua mínima da linha lateral é calculada por um processo iterativo, ou seja, por tentativas. Para isso, se atribui um valor inicial igual a 0,1 (mm) para o diâmetro da mesma, na tentativa de se obter uma perda de carga contínua, menor ou igual à permitida e corrigida para a linha lateral. Se for obtido sucesso o processo é interrompido, e os valores da perda calculada e do diâmetro utilizado são apresentados, entretanto, se esse objetivo não tiver sido alcançado, se adiciona mais 0,1 (mm) ao diâmetro anterior e se repete o processo novamente em busca da solução, essa situação, se repete o número de vezes necessário para determinar a solução. Quando a solução é obtida, o valor desse diâmetro representa o diâmetro interno mínimo que pode ser utilizado na linha lateral, de forma a atender os critérios adotados para o seu dimensionamento. A equação 109 mostra a condição a ser atendida pelo método iterativo e as equações 110 e 111 representam as formas de calcular a perda de carga mínima.

$$h_{fcml} \leq h_{fcpc} \quad (109)$$

$$h_{fcml} = f_{ml} \frac{L_{ll}}{D_{imll}} \frac{v_{ll}^2}{2g} \quad (110)$$

$$h_{fcml} = \frac{8 f_{ml}}{\pi^2 g} \frac{L_{ll}}{D_{imll}^5} Q_{ll}^2 \quad (111)$$

Em que:

h_{fcml} = perda de carga contínua mínima da linha lateral (mca);

h_{fcpc} = perda de carga contínua permitida e corrigida para a linha lateral (mca);

f_{ml} = fator de atrito para o diâmetro interno mínimo da linha lateral (adimensional);

L_{ll} = comprimento da linha lateral (m);

Dim_{ll} = diâmetro interno mínimo para a linha lateral (m);

Q_{ll} = vazão na entrada da linha lateral (m^3/s).

3.7.9. Diâmetro interno comercial da linha lateral

Utilizando o valor do diâmetro mínimo como referência, se pode escolher um diâmetro interno que esteja disponível de forma comercial para a linha lateral, desde que o mesmo, seja maior ou igual ao diâmetro mínimo calculado. A equação 112 mostra esse critério.

$$D_{ill} \geq Dim_{ll} \quad (112)$$

Em que:

D_{ill} = diâmetro interno comercial da linha lateral (m);

Dim_{ll} = diâmetro interno mínimo para a linha lateral (m).

3.7.10. Perda de carga contínua da linha lateral

A perda de carga contínua da linha lateral é calculada tanto, pela equação 113, como também, pela equação 114.

$$hf_{cll} = f_{ll} \frac{L_{ll}}{D_{ill}} \frac{v_{ll}^2}{2g} \quad (113)$$

$$hf_{cll} = \frac{8 f_{ll}}{\pi^2 g} \frac{L_{ll}}{D_{ill}^5} Q_{ll}^2 \quad (114)$$

Em que:

hf_{cll} = perda de carga contínua da linha lateral (mca);

f_{ll} = fator de atrito da linha lateral (adimensional);

L_{ll} = comprimento da linha lateral (m);

D_{ill} = diâmetro interno comercial da linha lateral (m);

Q_{ll} = vazão de entrada da linha lateral (m^3/s).

3.7.11. Pressão provisória na entrada da linha lateral

Para as linhas laterais instaladas em nível a pressão provisória na entrada da linha lateral é calculada pela equação 115.

$$P_{ellp} = 0,75 hf_{cll} + A_a + P_s \quad (115)$$

Para as linhas laterais instaladas em declive a pressão provisória na entrada da linha lateral é calculada pela equação 116.

$$P_{ellp} = 0,75 hf_{cll} - 0,5 hg_{ll} + A_a + P_s \quad (116)$$

E, para as linhas laterais instaladas em aclave a pressão provisória na entrada da linha lateral é calculada pela equação 117.

$$P_{ellp} = 0,75 hf_{cll} + 0,5 hg_{ll} + A_a + P_s \quad (117)$$

Em que:

P_{ellp} = pressão provisória na entrada da linha lateral (mca);

hf_{cll} = perda de carga contínua na linha lateral (mca);

hg_{ll} = altura geométrica da linha lateral (m);

A_a = altura de instalação do aspersor (m);

P_s = pressão de serviço dos aspersores (mca).

3.7.12. Perda de carga localizada da linha lateral por estimativa

As perdas de carga localizadas de uma linha lateral por estimativa é calculadas pela equação 118.

$$hf_{lll} = \frac{P_{spep} P_{ellp}}{100} \quad (118)$$

Em que:

hf_{lll} = perda de carga localizada na linha lateral (mca);

P_{spep} = estimativa sobre a pressão de entrada provisória (percentual);

P_{ellp} = pressão provisória na entrada da linha lateral (mca).

3.7.13. Perda de carga localizada da linha lateral pelo método direto

A equação 119 é utilizada para o cálculo da velocidade de escoamento da água em cada trecho da linha lateral.

$$v_{lltx} = \frac{4 \times Q_a}{\pi D_{ill}^2} \quad (119)$$

Em que:

v_{lltx} = velocidade de escoamento da água no trecho x (m/s);

x = número do trecho da linha lateral (unidades);

Q_a = vazão do aspersor (m³/s).

D_{ill} = diâmetro interno comercial da linha lateral (m).

A perda de carga por trecho da linha lateral é calculada pela equação 120.

$$hf_{llltx} = \sum K_{pe} \frac{v_{lltx}^2}{2g} \quad (120)$$

Em que:

hf_{lltx} = perda de carga localizada da linha lateral no trecho x (mca);

v_{lltx} = velocidade de escoamento da água no trecho x (m/s);

$\sum K_{pe}$ = somatório das constantes de perda de carga das peças especiais de um trecho da linha lateral (adimensional);

g = aceleração da gravidade (m/s²).

Assim, a perda de carga localizada na linha lateral será igual ao somatório da perda de carga de cada trecho, sendo calculada pela equação 121.

$$hf_{lll} = \sum_{x=1}^{x=Na} hf_{lltx} \quad (121)$$

Em que:

hf_{lll} = perda de carga localizada da linha lateral (mca);

Na = número de aspersores (unidades);

$\sum hf_{lltx}$ = somatório das perdas de carga localizada em cada trecho (mca);

3.7.14. Pressão na entrada da linha lateral

A pressão na entrada da linha lateral irá depender do método adotado para realizar o levantamento das perdas de carga localizada da linha lateral. Se essas tiverem sido estimadas, a pressão na entrada da linha lateral é calculada pela equação 122.

$$P_{ell} = P_{ellp} + hf_{lll} \quad (122)$$

Em que:

P_{ell} = pressão na entrada da linha lateral (mca);

P_{ellp} = pressão provisória na entrada da linha lateral (mca);

hf_{lll} = perda de carga localizada da linha lateral (mca).

Se as perdas de carga localizada da linha lateral tiverem sido calculadas pelo método direto, antes de calcular a pressão na entrada da mesma, será necessário calcular o número de trechos a serem desconsiderados, pois, a pressão na entrada da linha lateral, esta sendo calculada, utilizando o aspersor mediano da linha como referência.

$$N = \frac{Na}{2} \quad (123)$$

Em que:

N = número de trechos a serem desconsiderados (unidades);

N_a = número de aspersores da linha lateral (unidades).

Se o valor do número de trechos a serem desconsiderados não for inteiro, o mesmo deve ser arredondado para o próximo inteiro superior, o que, não ocasiona nenhum erro, pois, como comentado, 75% da perda de carga contínua ocorre no trecho que corresponde a 40% do seu comprimento total. Assim, a pressão na entrada da linha lateral é calculada pela equação 124.

$$P_{ell} = P_{ellp} + \sum_{x=N}^{x=N_a} h_{fltx} \quad (124)$$

Em que:

N = número de trechos a serem desconsiderados (unidades);

N_a = número de aspersores da linha lateral (unidades).

Se for considerando a perda de carga no bocal do aspersor e, ou, a perda de carga contínua no tubo de subida, será necessário realizar o cálculo da velocidade de escoamento da água por esse tubo.

$$v_{ts} = \frac{4 Q_a}{\pi D_{ts}^2} \quad (125)$$

Em que:

v_{ts} = velocidade no tubo de subida (m/s);

Q_a = vazão do aspersor (m³/s).

D_{ts} = diâmetro comercial interno do tubo de subida (m).

A perda de carga localizada no bocal do aspersor é calculada pela equação 126.

$$h_{flba} = K_b \frac{v_{ts}^2}{2g} \quad (126)$$

Em que:

h_{flba} = perda de carga localizada no bocal do aspersor (mca);

K_b = constante de perda de carga do bocal do aspersor (adimensional);

v_{ts} = velocidade de escoamento da água no tubo de subida (m/s);

g = aceleração da gravidade (m/s²);

A perda de carga contínua no tubo de subida é calcula com a equação 127.

$$h_{fcts} = f_{ts} \frac{A_a v_{ts}^2}{D_{ts} 2g} \quad (127)$$

Em que:

hf_{cts} = perda de carga contínua no tubo de subida (mca);

f_{ts} = fator de atrito do tubo de subida (adimensional);

A_a = altura de instalação do aspersor (m);

D_{ts} = diâmetro comercial interno do tubo de subida (m).

v_{ts} = velocidade de escoamento da água no tubo de subida (m/s);

g = aceleração da gravidade (m/s^2).

Considerando as duas últimas perdas calculadas, a pressão na entrada da linha lateral é calculada pela equação 128.

$$P_{ell} = P_{ellp} + \sum_{x=N}^{x=N_a} h_{fltx} + h_{flba} + hf_{cts} \quad (128)$$

Em que:

P_{ell} = pressão na entrada da linha lateral (mca);

P_{ellp} = pressão provisória na entrada da linha lateral (mca);

N = número de trechos a serem desconsiderados (unidades);

N_a = número de aspersores da linha lateral (unidades).

h_{flba} = perda de carga localizada no bocal do aspersor (mca);

hf_{cts} = perda de carga contínua no tubo de subida (mca).

3.8. Dimensionamento hidráulico de linhas de derivação

As linhas de derivação possuem funcionamento similar ao das linhas laterais, ou seja, também possuem múltiplas saídas e, são utilizadas quando se faz necessário abastecer mais de uma linha lateral simultaneamente. Para isso, as linhas laterais devem ter vazões iguais e estarem distribuídas em trechos de mesmo comprimento ao longo da linha de derivação.

Para dimensionar uma linha de derivação é necessário determinar o diâmetro interno e as perdas de carga, tanto do tipo contínua, como também, do tipo localizada dessa linha. O diâmetro interno é determinado pela análise de custos através do método das tentativas, com auxílio da equação de Bresse. As perdas de carga do tipo contínua são quantificadas pela equação universal de Darcy-Weissbach, considerando o fator de múltiplas saídas. As perdas de carga do tipo localizada podem ser estimadas ou calculadas por trecho pelo método direto.

Esses conceitos e métodos foram utilizados no desenvolvimento do aplicativo computacional – IRRIGAR, que para realizar o dimensionamento de linhas de derivação conta com o apoio de duas janelas. Na primeira janela, as linhas são preparadas para a análise de custos pelo método das tentativas, nessa janela, além de ser possível preparar mais de uma linha de derivação, também é possível considerar diferentes materiais e diâmetros para o tubo de determinada linha. Toda linha de derivação dimensionada e todos os tubos experimentados para essa linha recebe um número de identificação, dessa forma, essas linhas e tubos são identificados, quando são selecionados para compor o layout do sistema de irrigação que será analisado.

A figura 20 mostra essa janela com um exemplo de dimensionamento em andamento.

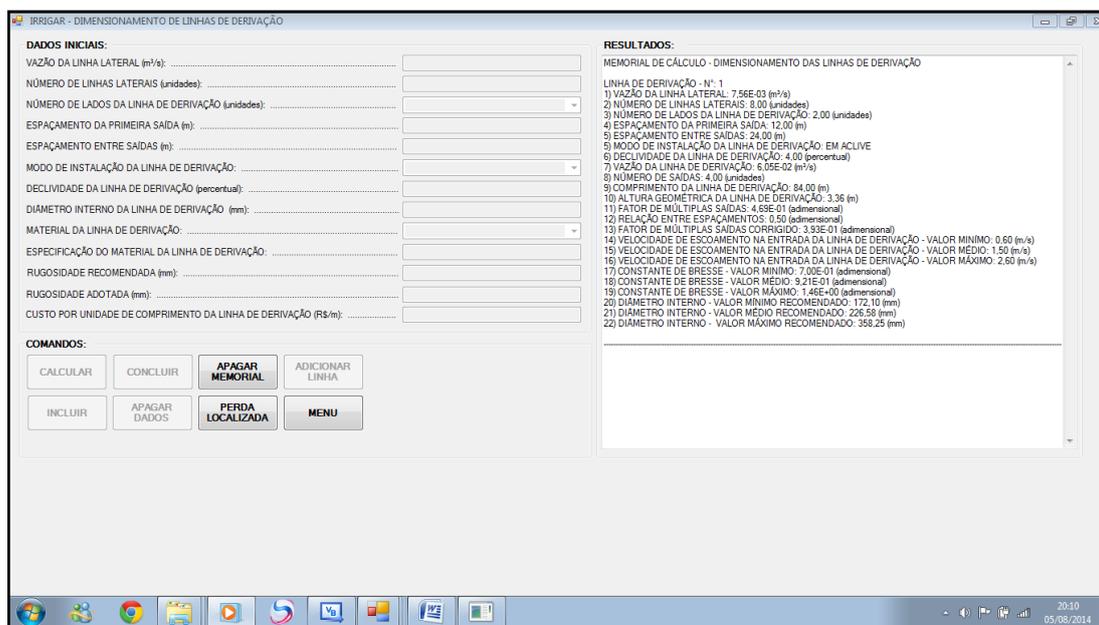


Figura 20. Janela do aplicativo computacional – IRRIGAR desenvolvida para o dimensionamento hidráulico de linhas de derivação

A segunda janela complementa a primeira, pois, foi desenvolvida para auxiliar no cálculo das perdas de carga localizada das linhas de derivação. A figura 21 mostra essa janela com um exemplo de dimensionamento em andamento.

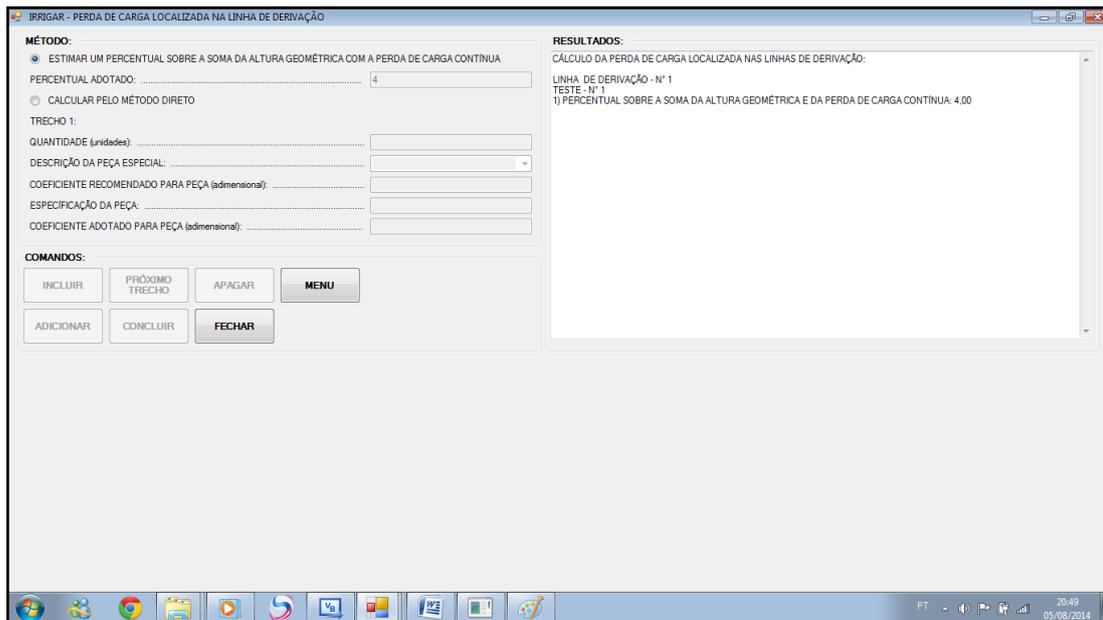


Figura 21. Janela do aplicativo computacional – IRRIGAR desenvolvida para auxiliar no cálculo das perdas localizadas das linhas de derivação

Para realizar o dimensionamento de linhas de derivação o aplicativo computacional – IRRIGAR conta com as equações apresentadas a seguir.

3.8.1. Vazão de entrada da linha de derivação

A equação 129 é utilizada para o cálculo da vazão de entrada da linha de derivação.

$$Q_{ld} = N_{lli} Q_{ll} \quad (129)$$

Em que:

Q_{ld} = vazão de entrada da linha de derivação (m^3/s);

N_{lli} = número de linhas laterais instaladas e em funcionamento simultâneo (unidades);

Q_{ll} = vazão de entrada da linha lateral (m^3/s).

3.8.2. Número de saídas da linha de derivação

O número de saídas da linha de derivação é calculada pela equação 130.

$$N_s = \frac{N_{lli}}{N_{lld}} \quad (130)$$

Em que:

N_s = número de saídas da linha de derivação (unidades);

N_{lli} = número de linhas laterais instaladas e em funcionamento simultâneo (unidades);

N_{lld} = número de lados ocupados da linha de derivação para instalação de linhas laterais (unidades).

3.8.3. Comprimento da linha de derivação

A equação 131 é utilizada para o cálculo do comprimento da linha de derivação.

$$L_{ld} = (Es_1 + ((Ns - 1) Es)) \quad (131)$$

Em que:

L_{dl} = comprimento da linha lateral (m);

Es_1 = espaçamento da primeira saída da linha de derivação (m);

Es = espaçamento entre saídas da linha de derivação (m);

Ns = número de saídas da linha de derivação (unidades).

3.8.4. Altura geométrica da linha de derivação

A altura geométrica da linha de derivação é calculada pela equação 132.

$$hg_{ld} = \frac{Pd_{ld} L_{ld}}{100} \quad (132)$$

Em que:

hg_{ld} = altura geométrica da linha de derivação (m);

L_{ld} = comprimento da linha de derivação (m);

Pd_{ld} = declividade da linha de derivação (percentual).

3.8.5. Fator de múltiplas saídas da linha de derivação

O fator de múltiplas saídas da linha de derivação é calculado pela equação 133.

$$F_{msld} = \frac{1}{m + 1} + \frac{1}{2 Ns} + \frac{\sqrt{(m - 1)}}{6 Ns^2} \quad (133)$$

Em que:

F_{msld} = fator de múltiplas saídas da linha de derivação (adimensional);

m = expoente da vazão da equação universal ($m = 2$);

Ns = número de saídas da linha de derivação (unidades).

3.8.6. Fator de múltiplas saídas corrigido da linha de derivação

A equação 134 é utilizada para o cálculo da relação de espaçamento das saídas da linha de derivação.

$$E2 = \frac{Es1}{Es} \quad (134)$$

Em que:

E2 = relação de espaçamento das saídas da linha de derivação (adimensional);

Es1 = espaçamento da primeira saída da linha de derivação (m);

Es = espaçamento entre saídas da linha de derivação (m).

O fator de múltiplas saídas corrigido é calculado pela equação 135.

$$Fmscl = \frac{Ns \cdot Fmsld + E2 - 1}{Ns + E2 - 1} \quad (135)$$

Em que:

Fmscl = fator de múltiplas saídas da linha de derivação corrigido (adimensional);

Ns = número de saídas da linha de derivação (unidades);

Fmsld = fator de múltiplas saídas da linha de derivação (adimensional);

E2 = relação de espaçamento das saídas da linha de derivação (adimensional).

3.8.7. Diâmetros para a linha de derivação

Com o auxílio da equação de Bresse e de acordo com a faixa econômica de velocidades para o escoamento da água em condutos forçados, são calculados os limites para os valores de diâmetros internos recomendados para serem testados para a linha de derivação, na análise de custos pelo método das tentativas. De acordo com as velocidades definidas para compor a faixa econômica de velocidades as constantes de Bresse são calculadas.

$$Kbmin = \frac{2}{\sqrt{(\pi \cdot v_{max})}} \quad (136)$$

$$Kbmed = \frac{2}{\sqrt{(\pi \cdot v_{med})}} \quad (137)$$

$$Kbmax = \frac{2}{\sqrt{(\pi \cdot v_{min})}} \quad (138)$$

Em que:

Kbmin = constante de Bresse de valor mínimo (adimensional);

Kbmed = constante de Bresse de valor médio (adimensional);

K_{bmax} = constante de Bresse de valor máximo (adimensional);

v_{max} = velocidade de escoamento máxima (m/s);

v_{med} = velocidade de escoamento média (m/s);

v_{min} = velocidade de escoamento mínima (m/s).

Com o auxílio das constantes de Bresse que foram calculadas, a faixa dos valores dos diâmetros que devem ser testados para a linha de derivação é determinada, a título de orientação, pois, diâmetros que possuem valores fora dos limites desta faixa, também, podem ser testados.

$$D_{min} = K_{bmin} \sqrt{Q_{ld}} \quad (139)$$

$$D_{med} = K_{bmed} \sqrt{Q_{ld}} \quad (140)$$

$$D_{max} = K_{bmax} \sqrt{Q_{ld}} \quad (141)$$

Em que:

D_{min} = diâmetro interno mínimo (m);

D_{med} = diâmetro interno médio (m);

D_{max} = diâmetro interno máximo (m);

K_{bmin} = constante de Bresse de valor mínimo (adimensional);

K_{bmed} = constante de Bresse de valor médio (adimensional);

K_{bmax} = constante de Bresse de valor máximo (adimensional);

Q_{ld} = vazão na entrada da linha de derivação máxima (m³/s).

3.8.8. Perda de carga contínua da linha de derivação

As perdas de carga do tipo contínua, de cada um dos tubos testados para uma linha de derivação, pode ser calculada tanto pela equação 142, como também, pela equação 143.

$$hf_{cld} = F_{mscld} f_{ld} \frac{L_{ld}}{D_{ld}} \frac{v_{eld}^2}{2g} \quad (142)$$

$$hf_{cld} = F_{mscld} \frac{8 f_{ld}}{\pi^2 g} \frac{L_{ld}}{D_{ld}^5} Q_{ld}^2 \quad (143)$$

Em que:

hf_{cld} = perda de carga contínua da linha de derivação (mca);

F_{mscld} = fator de múltiplas saídas corrigido da linha de derivação (adimensional);

f_{ld} = fator de atrito da linha de derivação (adimensional);

g = aceleração da gravidade (m/s²);

Lld = comprimento da linha de derivação (m);

Dild = diâmetro interno comercial da linha de derivação (m);

veld = velocidade de escoamento da água na entrada da linha de derivação (m/s);

Qld = vazão na entrada da linha de derivação (m³/s).

3.8.9. Perda de carga localizada da linha de derivação por estimativa

A equação 144 é utilizada para o cálculo das perdas de carga do tipo localizada da linha de derivação.

$$hfld = \frac{Papl (hgld + hfcd)}{100} \quad (144)$$

Em que:

hfld = perda de carga localizada da linha de derivação (mca);

Papl = coeficiente adotado para estimar as perdas localizadas (percentual);

hgld = altura geométrica da linha de derivação (m);

hfcd = perda de carga contínua na linha de derivação (m).

3.8.10. Perda de carga localizada da linha de derivação pelo método direto

A equação 145 é utilizada para determinar a velocidade de escoamento da água em cada trecho da linha de derivação.

$$vldtx = \frac{4 \times Nlld \times Qll}{\pi \times Dild^2} \quad (145)$$

Em que:

vldtx = velocidade de escoamento da água no trecho x (m/s);

x = número do trecho da linha de derivação (unidades);

Nlld = número de lados ocupados da linha de derivação para instalação de linhas laterais (unidades).

Qll = vazão da linha lateral (m³/s).

Dild = diâmetro interno comercial da linha de derivação (m).

A perda de carga localizada por trecho da linha de derivação é calculada pela equação 146.

$$hfldtx = \sum Kpe \frac{vldtx^2}{2g} \quad (146)$$

Em que:

hfldtx = perda de carga localizada da linha de derivação no trecho x (mca);

v_{ltx} = velocidade de escoamento da água no trecho x (m/s);

$\sum K_{pe}$ = somatório das constantes de perda de carga das peças especiais de um trecho da linha de derivação (adimensional);

g = aceleração da gravidade (m/s²).

A perda de carga localizada da linha de derivação será igual ao somatório da perda de carga de cada trecho, sendo calculada pela equação 147.

$$h_{flld} = \sum_{x=1}^{x=N_s} h_{flldtx} \quad (147)$$

Em que:

h_{flld} = perda de carga localizada da linha de derivação (mca);

N_s = número de saídas (unidades);

$\sum h_{flldtx}$ = somatório das perdas de carga localizada em cada trecho (mca);

3.8.11. Perda de carga da linha de derivação

A perda de carga de uma linha de derivação e a soma das perdas de carga do tipo contínua e do tipo localizada da mesma.

$$h_{fld} = h_{fcd} + h_{flld} \quad (148)$$

Em que:

h_{fld} = perda de carga da linha de derivação (mca);

h_{fcd} = perda de carga contínua da linha de derivação (mca);

h_{flld} = perda de carga localizada da linha de derivação (mca).

3.8.12. Custo dos tubos da linha de derivação

O custo dos tubos da linha de derivação é calculado pela equação 149.

$$C_{ld} = C_{utld} L_{ld} \quad (149)$$

Em que:

C_{ld} = custo dos tubos da linha de derivação (R\$);

C_{utld} = custo unitário do tubo da linha de derivação (R\$/m);

L_{ld} = comprimento da linha de derivação (m).

3.8.13. Custo de instalação da linha de derivação

O custo de instalação de uma linha de derivação é calculado pela equação 150.

$$Cild = Cesclid + Catld + Cb fld + Crpld \quad (150)$$

Em que:

Cild = custo de instalação da linha de derivação (R\$);

Cesclid = custo de escavação da linha de derivação (R\$);

Catld = custo de aterro da linha de derivação (R\$);

Cb fld = custo de bota-fora da linha de derivação (R\$);

Crpld = custo de escavação da linha de derivação (R\$).

3.9. Dimensionamento hidráulico de linhas principais

No aplicativo computacional – IRRIGAR, as linhas principais servem para conduzir a água dentro da área irrigada até os pontos de consumo definidos pelo usuário. Portanto, essas linhas são de trecho único e vazão constante, podendo existir mais de uma linha desse tipo no sistema.

Para dimensionar uma linha principal é necessário determinar o diâmetro interno e as perdas de carga, tanto do tipo contínua, como também, do tipo localizada dessa linha. O diâmetro interno é determinado pela análise de custos através do método das tentativas, com auxílio da equação de Bresse. As perdas de carga do tipo contínua são quantificadas pela equação universal de Darcy-Weissbach e as perdas de carga do tipo localizada podem ser estimadas ou calculadas.

Esses conceitos e métodos foram utilizados no desenvolvimento do aplicativo computacional – IRRIGAR, que para realizar o dimensionamento de linhas principais necessita de apenas uma janela. Nessa janela, as linhas são preparadas para a análise de custos pelo método das tentativas, além de ser possível preparar mais de uma linha de principal, também é possível considerar diferentes materiais e diâmetros para o tubo de determinada linha. Toda linha principal dimensionada e todos os tubos experimentados recebem um número de identificação, dessa forma, essas linhas e tubos são identificados, quando são selecionados para compor o layout do sistema de irrigação que será analisado.

A figura 22 mostra a janela do aplicativo computacional – IRRIGAR, desenvolvida para o dimensionamento hidráulico de linhas principais com um exemplo de dimensionamento em andamento.

Figura 22. Janela do aplicativo computacional – IRRIGAR desenvolvida para o dimensionamento hidráulico de linhas principais

Para realizar o dimensionamento de linhas principais o aplicativo computacional – IRRIGAR conta com as equações apresentadas a seguir.

3.9.1. Altura geométrica da linha principal

A altura geométrica da linha principal é calculada pela equação 151.

$$h_{glp} = \frac{Pd_{lp} L_{lp}}{100} \quad (151)$$

Em que:

h_{glp} = altura geométrica da linha principal (m);

L_{lp} = comprimento da linha principal (m);

Pd_{lp} = declividade da linha principal (percentual).

3.9.2. Diâmetros para a linha principal

Com o auxílio da equação de Bresse e de acordo com a faixa econômica de velocidades para o escoamento da água em condutos forçados, são calculados os limites para os valores de diâmetros internos recomendados para serem testados para a linha principal, na análise de custos pelo método das tentativas. De acordo com as velocidades definidas para compor a faixa econômica de velocidades as constantes de Bresse são calculadas.

$$K_{bmin} = \frac{2}{\sqrt{(\pi v_{max})}} \quad (152)$$

$$K_{bmed} = \frac{2}{\sqrt{(\pi v_{med})}} \quad (153)$$

$$K_{bmax} = \frac{2}{\sqrt{(\pi v_{min})}} \quad (154)$$

Em que:

K_{bmin} = constante de Bresse de valor mínimo (adimensional);

K_{bmed} = constante de Bresse de valor médio (adimensional);

K_{bmax} = constante de Bresse de valor máximo (adimensional);

v_{max} = velocidade de escoamento máxima (m/s);

v_{med} = velocidade de escoamento média (m/s);

v_{min} = velocidade de escoamento mínima (m/s).

Com o auxílio das constantes de Bresse que foram calculadas, a faixa dos valores dos diâmetros que devem ser testados para a linha principal é determinada, a título de orientação, pois, diâmetros que possuem valores fora dos limites desta faixa, também, podem ser testados.

$$D_{min} = K_{bmin} \sqrt{Q_{lp}} \quad (155)$$

$$D_{med} = K_{bmed} \sqrt{Q_{lp}} \quad (156)$$

$$D_{max} = K_{bmax} \sqrt{Q_{lp}} \quad (157)$$

Em que:

D_{min} = diâmetro interno mínimo (m);

D_{med} = diâmetro interno médio (m);

D_{max} = diâmetro interno máximo (m);

K_{bmin} = constante de Bresse de valor mínimo (adimensional);

K_{bmed} = constante de Bresse de valor médio (adimensional);

K_{bmax} = constante de Bresse de valor máximo (adimensional);

Q_{lp} = vazão da linha principal (m³/s).

3.9.3. Perda de carga contínua da linha principal

As perdas de carga do tipo contínua de uma linha principal é calculada, tanto pela equação 158, como também, pela equação 159.

$$hf_{clp} = f_{lp} \frac{L_{lp}}{D_{ilp}} \frac{v_{lp}^2}{2g} \quad (158)$$

$$hf_{clp} = \frac{8 f_{lp}}{\pi^2 g} \frac{L_{lp}}{D_{ilp}^5} Q_{lp}^2 \quad (159)$$

Em que:

hf_{clp} = perda de carga contínua da linha principal (mca);

f_{lp} = fator de atrito da linha principal (adimensional);

g = aceleração da gravidade (m/s²);

L_{lp} = comprimento da linha principal (m);

D_{ilp} = diâmetro interno comercial da linha principal (m);

v_{lp} = velocidade de escoamento da água na linha principal (m/s);

Q_{lp} = vazão na linha principal (m³/s).

3.9.4. Perda de carga localizada da linha principal por estimativa

A equação 160 é utilizada para determinar as perdas de carga do tipo localizada por estimativa da linha principal.

$$hf_{llp} = \frac{P_{apl} (h_{glp} + hf_{clp})}{100} \quad (160)$$

Em que:

hf_{llp} = perda de carga localizada da linha principal (mca);

P_{apl} = coeficiente adotado para estimar as perdas localizadas (percentual);

h_{glp} = altura geométrica da linha principal (m);

hf_{clp} = perda de carga contínua na linha principal (mca).

3.9.5. Perda de carga localizada da linha principal pelo método direto

A equação 161 é utilizada para determinar a velocidade de escoamento da água na linha principal.

$$v_{lp} = \frac{4 Q_{lp}}{\pi D_{ilp}^2} \quad (161)$$

Em que:

v_{lp} = velocidade de escoamento da água na linha principal (m/s);

Q_{lp} = vazão da linha principal (m³/s).

D_{ilp} = diâmetro interno comercial da linha principal (m).

A equação 162 é utilizada para cálculo das perdas de carga do tipo localizada da linha principal pelo método direto.

$$hf_{lp} = \sum K_{pe} \frac{v_{lp}^2}{2g} \quad (162)$$

Em que:

hf_{lp} = perda de carga localizada da linha principal (mca);

v_{lp} = velocidade de escoamento da água na linha principal (m/s);

$\sum K_{pe}$ = somatório das constantes de perda de carga das peças especiais da linha principal (adimensional);

g = aceleração da gravidade (m/s²).

3.9.6. Perda de carga da linha principal

A equação 163 é utilizada para cálculo das perdas de carga do tipo localizada da linha principal pelo método direto.

$$hf_{lp} = hf_{clp} + hf_{llp} \quad (163)$$

Em que:

hf_{lp} = perda de carga da linha principal (mca);

hf_{clp} = perda de carga contínua da linha principal (mca);

hf_{llp} = perda de carga localizada da linha principal (mca).

3.9.7. Custo dos tubos da linha principal

O custo dos tubos da linha principal é calculado pela equação 164.

$$C_{lp} = C_{utlp} L_{lp} \quad (164)$$

Em que:

C_{lp} = custo dos tubos da linha principal (R\$);

C_{utlp} = custo unitário do tubo da linha principal (R\$/m);

L_{lp} = comprimento da linha principal (m).

3.9.8. Custo de instalação da linha principal

O custo de instalação da linha principal enterrada é calculado pela equação 165.

$$C_{ilp} = C_{esclp} + C_{atlp} + C_{bflp} + C_{rplp} \quad (165)$$

Em que:

Cilp = custo de instalação da linha principal (R\$);

Cesclp = custo de escavação da linha principal (R\$);

Catlp = custo de aterro da linha principal (R\$);

Cbflp = custo de bota-fora da linha principal (R\$);

Crplp = custo de escavação da linha principal (R\$).

3.10. Parâmetros da motobomba

Antes de dimensionar a linha de recalque, existe a necessidade de definir os parâmetros da motobomba, pois, as perdas de carga do tipo localizada da linha de recalque, quando são calculadas pelo método direto, depende também, do diâmetro de saída da motobomba. Esse fato impede, que a elaboração do projeto de sistema de recalque de água, semelhantes aos considerados neste estudo, apresentem solução direta, sendo necessário, no mínimo, duas interações para garantir que a solução seja precisa.

O aplicativo computacional – IRRIGAR permite o dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersão convencional que fazem aproveitamento de fontes superficiais ou subterrâneas de água, para tanto, permite o usuário selecionar o tipo e a forma de instalação de motobomba, entre: eixo horizontal não afogada, eixo horizontal afogada e submersa em poço.

A figura 23 mostra a janela do aplicativo computacional – IRRIGAR desenvolvida para a especificação do tipo e forma de instalação da motobomba.

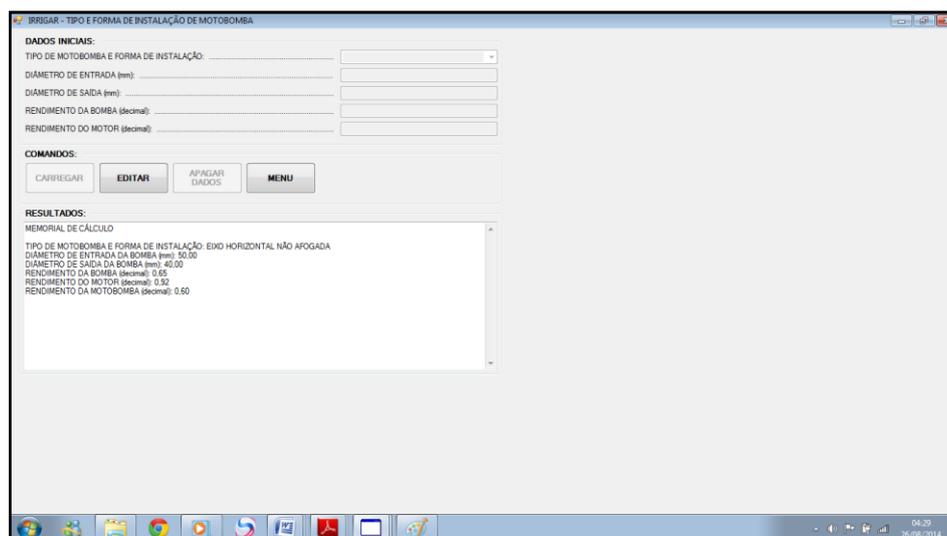


Figura 23. Janela do aplicativo computacional – IRRIGAR desenvolvida para especificação do tipo e forma de instalação da motobomba

Dependendo do tipo da motobomba, o usuário deverá informar alguns parâmetros, por exemplo, para motobombas de eixo horizontal, independente da forma de instalação é necessário os seguintes parâmetros: diâmetro de entrada (sucção), diâmetro de saída (recalque), rendimento da bomba e rendimento do motor. Se a motobomba for do tipo submersa instalada em poço, se elimina a necessidade do diâmetro de entrada (sucção), no entanto, se faz necessário os demais parâmetros.

3.11. Dimensionamento hidráulico da linha de recalque

De forma semelhante às linhas principais, a linha de recalque, possui trecho único e vazão constante. A metodologia de dimensionamento, também, é muito semelhante, a única diferença é o cálculo da perda de carga localizada pelo método direto. Neste caso, quando o usuário selecionar na lista de peças especiais, disponível na janela desenvolvida para o dimensionamento hidráulico de linhas de recalque, a peça “ampliação gradual”, o aplicativo computacional – IRRIGAR irá considerar a velocidade da água na saída da bomba para quantificar as perdas de carga do tipo localizada dessa peça. As demais peças especiais, disponíveis ou cadastradas pelo usuário, utilizam a velocidade de escoamento da água calculada segundo o diâmetro interno especificado para esta linha para a quantificação das perdas de carga do tipo localizada proveniente do seu uso.

A figura 24 mostra a janela do aplicativo computacional – IRRIGAR desenvolvida para o dimensionamento hidráulico de linhas de recalque com um exemplo do dimensionamento de uma linha por um usuário em andamento.

Figura 24. Janela do aplicativo computacional – IRRIGAR desenvolvida para o dimensionamento hidráulico de linhas de recalque

Para realizar o dimensionamento de linhas de recalque o aplicativo computacional – IRRIGAR conta com as equações apresentadas a seguir.

3.11.1. Altura geométrica da linha de recalque

A altura geométrica da linha de recalque é calculada pela equação 166.

$$h_{glr} = \frac{Pdlr \cdot Llr}{100} \quad (166)$$

Em que:

h_{glr} = altura geométrica da linha de recalque (m);

Llr = comprimento da linha de recalque (m);

$Pdlr$ = declividade da linha de recalque (percentual).

3.11.2. Diâmetros para a linha de recalque

Com o auxílio da equação de Bresse e de acordo com a faixa econômica de velocidades para o escoamento da água em condutos forçados, são calculados os limites para os valores de diâmetros internos recomendados para serem testados para a linha de recalque, na análise de custos pelo método das tentativas. De acordo com as velocidades definidas para compor a faixa econômica de velocidades as constantes de Bresse são calculadas.

$$K_{bmin} = \frac{2}{\sqrt{(\pi v_{max})}} \quad (167)$$

$$K_{bmed} = \frac{2}{\sqrt{(\pi v_{med})}} \quad (168)$$

$$K_{bmax} = \frac{2}{\sqrt{(\pi v_{min})}} \quad (169)$$

Em que:

K_{bmin} = constante de Bresse de valor mínimo (adimensional);

K_{bmed} = constante de Bresse de valor médio (adimensional);

K_{bmax} = constante de Bresse de valor máximo (adimensional);

v_{max} = velocidade de escoamento máxima (m/s);

v_{med} = velocidade de escoamento média (m/s);

v_{min} = velocidade de escoamento mínima (m/s).

Com o auxílio das constantes de Bresse que foram calculadas, a faixa dos valores dos diâmetros que devem ser testados para a linha de recalque é determinada, a título de orientação, pois, diâmetros que possuem valores fora dos limites desta faixa, também, podem ser testados.

$$D_{min} = K_{bmin} \sqrt{Q_{lr}} \quad (170)$$

$$D_{med} = K_{bmed} \sqrt{Q_{lr}} \quad (171)$$

$$D_{max} = K_{bmax} \sqrt{Q_{lr}} \quad (172)$$

Em que:

D_{min} = diâmetro interno mínimo (m);

D_{med} = diâmetro interno médio (m);

D_{max} = diâmetro interno máximo (m);

K_{bmin} = constante de Bresse de valor mínimo (adimensional);

K_{bmed} = constante de Bresse de valor médio (adimensional);

K_{bmax} = constante de Bresse de valor máximo (adimensional);

Q_{lr} = vazão da linha de recalque (m³/s).

3.11.3. Perda de carga contínua da linha de recalque

As perdas de carga do tipo contínua da linha de recalque é calculada tanto pela equação 173, como também, pela equação 174.

$$hfclr = flr \frac{Llr}{Dilr} \frac{vlr^2}{2g} \quad (173)$$

$$hfclr = \frac{8 flr}{\pi^2 g} \frac{Llr}{Dilr^5} Qlr^2 \quad (174)$$

Em que:

hfclr = perda de carga contínua da linha de recalque (mca);

flr = fator de atrito da linha de recalque (adimensional);

g = aceleração da gravidade (m/s²);

Llr = comprimento da linha de recalque (m);

Dilr = diâmetro interno comercial da linha de recalque (m);

vlr = velocidade de escoamento da água na linha de recalque (m/s);

Qlr = vazão na linha de recalque (m³/s).

3.11.4. Perda de carga localizada da linha de recalque por estimativa

As perdas de carga do tipo localizada da linha de recalque por estimativa é calculada pela equação 175.

$$hfllp = \frac{Papl (hglr + hfclr)}{100} \quad (175)$$

Em que:

hfllr = perda de carga localizada da linha de recalque (mca);

Papl = coeficiente adotado para estimar as perdas localizadas (percentual);

hglr = altura geométrica da linha de recalque (m);

hfclr = perda de carga contínua na linha de recalque (mca).

3.11.5. Perda de carga localizada pelo método direto

As equações 176 e 177 são utilizadas para os cálculos das velocidades de escoamento da água na linha de recalque e na saída da bomba.

$$vlr = \frac{4 Qlr}{\pi Dilr^2} \quad (176)$$

$$vsb = \frac{4 Qlr}{\pi Dsb^2} \quad (177)$$

Em que:

vlr = velocidade de escoamento da água na linha de recalque (m/s);

vsb = velocidade da água na saída da bomba (m/s);

Qlr = vazão da linha de recalque (m³/s).

D_{lr} = diâmetro interno comercial da linha de recalque (m).

D_{sb} = diâmetro de saída da bomba (m).

A equação 178 é utilizada para cálculo das perdas de carga do tipo localizada da linha de recalque pelo método direto.

$$h_{flr} = \frac{1}{2g} \left(\left(\sum K_{pe} \right) v_{lr}^2 + (K_{ag} v_{sb}^2) \right) \quad (178)$$

Em que:

h_{flr} = perda de carga localizada da linha de recalque (mca);

v_{lr} = velocidade de escoamento da água na linha de recalque (m/s);

v_{sb} = velocidade da água na saída da bomba (m/s);

$\sum K_{pe}$ = somatório das constantes de perda de carga das peças especiais da linha de recalque (adimensional);

K_{ag} = constante de perda de carga da ampliação gradual (adimensional);

g = aceleração da gravidade (m/s²).

3.11.6. Perda de carga da linha de recalque

A perda de carga da linha de recalque e a soma das perdas de carga do tipo contínua e do tipo localizada da mesma.

$$h_{flr} = h_{fclr} + h_{flr} \quad (179)$$

Em que:

h_{flr} = perda de carga da linha de recalque (mca);

h_{fclr} = perda de carga contínua da linha de recalque (mca);

h_{flr} = perda de carga localizada da linha de recalque (mca).

3.11.7. Custo dos tubos da linha de recalque

O custo dos tubos da linha de recalque é calculado pela equação 180.

$$C_{lr} = C_{utlr} L_{lr} \quad (180)$$

Em que:

C_{lr} = custo dos tubos da linha de recalque (R\$);

C_{utlr} = custo unitário do tubo da linha de recalque (R\$/m);

L_{lr} = comprimento da linha de recalque (m).

3.11.8. Custo de instalação da linha de recalque

O custo de instalação da linha de recalque enterrada é calculado pela equação 208.

$$C_{ilr} = C_{esclr} + C_{atlr} + C_{bflr} + C_{rplr} \quad (181)$$

Em que:

C_{ilr} = custo de instalação da linha de recalque (R\$);

C_{esclr} = custo de escavação da linha de recalque (R\$);

C_{atlr} = custo de aterro da linha de recalque (R\$);

C_{bflr} = custo de bota-fora da linha de recalque (R\$);

C_{rplr} = custo de escavação da linha de recalque (R\$).

3.12. Dimensionamento hidráulico da linha de sucção

De forma semelhante à linha de recalque, a linha de sucção, também, possui trecho único e vazão constante. A metodologia de dimensionamento é similar, a única diferença é que no cálculo das perdas de carga do tipo localizada pelo método direto, quando o usuário selecionar na lista de peças especiais, disponível na janela desenvolvida para o dimensionamento hidráulico de linhas de sucção, a peça “redução gradual”, o aplicativo computacional – IRRIGAR irá considerar a velocidade da água na entrada da bomba para quantificar as perdas de carga do tipo localizada dessa peça. As demais peças especiais, disponíveis ou cadastradas pelo usuário, utilizam a velocidade de escoamento da água calculada segundo o diâmetro interno especificado para esta linha para a quantificação das perdas de carga do tipo localizada proveniente do seu uso.

A figura 25 mostra a janela do aplicativo computacional – IRRIGAR desenvolvida para o dimensionamento hidráulico de linhas de sucção, com um exemplo do dimensionamento de uma linha por um usuário em andamento.

Figura 25. Janela do aplicativo computacional – IRRIGAR desenvolvida para o dimensionamento hidráulico de linhas de sucção

Para realizar o dimensionamento de linhas de sucção o aplicativo computacional – IRRIGAR conta com as equações apresentadas a seguir.

3.12.1. Diâmetros para a linha de sucção

Com o auxílio da equação de Bresse e de acordo com a faixa econômica de velocidades para o escoamento da água em condutos forçados, são calculados os limites para os valores de diâmetros internos recomendados para serem testados para a linha de sucção, na análise de custos pelo método das tentativas. De acordo com as velocidades definidas para compor a faixa econômica de velocidades as constantes de Bresse são calculadas.

$$K_{bmin} = \frac{2}{\sqrt{(\pi v_{max})}} \quad (182)$$

$$K_{bmed} = \frac{2}{\sqrt{(\pi v_{med})}} \quad (183)$$

$$K_{bmax} = \frac{2}{\sqrt{(\pi v_{min})}} \quad (184)$$

Em que:

K_{bmin} = constante de Bresse de valor mínimo (adimensional);

K_{bmed} = constante de Bresse de valor médio (adimensional);

K_{bmax} = constante de Bresse de valor máximo (adimensional);

v_{max} = velocidade de escoamento máxima (m/s);

v_{med} = velocidade de escoamento média (m/s);

v_{min} = velocidade de escoamento mínima (m/s).

Com o auxílio das constantes de Bresse que foram calculadas, a faixa dos valores dos diâmetros que devem ser testados para a linha de sucção é determinada, a título de orientação, pois, diâmetros que possuem valores fora dos limites desta faixa, também, podem ser testados.

$$D_{min} = K_{bmin} \sqrt{Q_{ls}} \quad (185)$$

$$D_{med} = K_{bmed} \sqrt{Q_{ls}} \quad (186)$$

$$D_{max} = K_{bmax} \sqrt{Q_{ls}} \quad (187)$$

Em que:

D_{min} = diâmetro interno mínimo (m);

D_{med} = diâmetro interno médio (m);

D_{max} = diâmetro interno máximo (m);

K_{bmin} = constante de Bresse de valor mínimo (adimensional);

K_{bmed} = constante de Bresse de valor médio (adimensional);

K_{bmax} = constante de Bresse de valor máximo (adimensional);

Q_{ls} = vazão da linha de sucção (m³/s).

3.12.2. Perda de carga contínua da linha de sucção

A perda de carga contínua, de cada um dos tubos testados para a linha de sucção é calculada tanto pela equação 188, como também, pela equação 189.

$$hf_{cls} = fls \frac{L_{ls}}{D_{ils}} \frac{v_{ls}^2}{2g} \quad (188)$$

$$hf_{cls} = \frac{8 fls}{\pi^2 g} \frac{L_{ls}}{D_{ils}^5} Q_{ls}^2 \quad (189)$$

Em que:

hf_{cls} = perda de carga contínua da linha de sucção (mca);

fls = fator de atrito da linha de sucção (adimensional);

g = aceleração da gravidade (m/s²);

L_{ls} = comprimento da linha de sucção (m);

D_{ils} = diâmetro interno comercial da linha de sucção (m);

v_{ls} = velocidade de escoamento da água na linha de sucção (m/s);

Q_{ls} = vazão na linha de sucção (m^3/s).

3.12.3. Perda de carga localizada da linha de sucção por estimativa

A equação 190 é utilizada para cálculo das perdas de carga do tipo localizada da linha de recalque pelo método direto.

$$h_{fls} = \frac{P_{apl} (h_{gls} + h_{fcls})}{100} \quad (190)$$

Em que:

h_{fls} = perda de carga localizada da linha de sucção (mca);

P_{apl} = coeficiente adotado para estimar as perdas localizadas (percentual);

h_{gls} = altura geométrica da linha de sucção (m);

h_{fcls} = perda de carga contínua na linha de sucção (mca).

3.12.4. Perda de carga localizada da linha de sucção pelo método direto

As equações 191 e 192 são utilizadas para os cálculos das velocidades de escoamento da água na linha de sucção e na entrada da bomba.

$$v_{ls} = \frac{4 Q_{ls}}{\pi D_{lr}^2} \quad (191)$$

$$v_{eb} = \frac{4 Q_{ls}}{\pi D_{eb}^2} \quad (192)$$

Em que:

v_{ls} = velocidade de escoamento da água na linha de sucção (m/s);

v_{eb} = velocidade da água na entrada da bomba (m/s);

Q_{ls} = vazão da linha de sucção (m^3/s).

D_{lr} = diâmetro interno comercial da linha de sucção (m).

D_{eb} = diâmetro de entrada da bomba (m).

As perdas de carga do tipo localizada da linha de sucção é calculada pela equação 193.

$$h_{fls} = \frac{1}{2g} \left(\left(\sum K_{pe} \right) v_{ls}^2 + (K_{rg} v_{eb}^2) \right) \quad (193)$$

Em que:

h_{fls} = perda de carga localizada da linha de recalque (mca);

v_{ls} = velocidade de escoamento da água na linha de recalque (m/s);

v_{eb} = velocidade da água na saída da bomba (m/s);

$\sum K_{pe}$ = somatório das constantes de perda de carga das peças especiais da linha de sucção (adimensional);

K_{rg} = constante de perda de carga da redução gradual (adimensional);

g = aceleração da gravidade (m/s^2).

3.12.5. Perda de carga da linha de sucção

As perdas de carga da linha de sucção e a soma das perdas de carga do tipo contínua e do tipo localizada da mesma.

$$h_{fls} = h_{fcls} + h_{flls} \quad (194)$$

Em que:

h_{flr} = perda de carga da linha de recalque (mca);

h_{fclr} = perda de carga contínua da linha de recalque (mca);

h_{fllr} = perda de carga localizada da linha de recalque (mca).

3.12.6. Custo dos tubos da linha de sucção

O custo dos tubos da linha de sucção é calculado pela equação 195.

$$C_{ls} = C_{utls} L_{ls} \quad (195)$$

Em que:

C_{ls} = custo dos tubos da linha de sucção (R\$);

C_{utls} = custo unitário do tubo da linha de sucção (R\$/m);

L_{ls} = comprimento da linha de sucção (m).

3.12.7. Custo de instalação da linha de sucção

O custo de instalação da linha de sucção enterrada é calculado pela equação 196.

$$C_{ils} = C_{escls} + C_{atls} + C_{bfls} + C_{rpls} \quad (196)$$

Em que:

C_{ils} = custo de instalação da linha de recalque (R\$);

C_{escls} = custo de escavação da linha de recalque (R\$);

C_{atls} = custo de aterro da linha de recalque (R\$);

C_{bfls} = custo de bota-fora da linha de recalque (R\$);

C_{rpls} = custo de escavação da linha de recalque (R\$).

3.13. Tempo de funcionamento do sistema

O tempo de funcionamento diário do sistema que foi definido no dimensionamento agrônomico e operacional, não representa o tempo que o sistema irá funcionar por dia, durante o ciclo vegetativo da cultura. Mesmo porque, o período de irrigação pode ser menor que o turno rega, no entanto, não só por isso, pois, na verdade, esse parâmetro representa o máximo tempo que o sistema poderá funcionar no período correspondente a máxima demanda hídrica da cultura, desconsiderando a contribuição das precipitações naturais. Além, do tempo de funcionamento do sistema, variar conforme o estágio de desenvolvimento da cultura deve ser levado em consideração, também, o fato dos custos estarem sendo calculados para o período igual há um ano, pois, muitas vezes, por maior que seja o aproveitamento da área cultivada, a mesma, não fica ocupada por todo esse período.

Lembrando, também, que o custo da energia elétrica é o mais impactante dos custos que incidem sobre o sistema, sendo, às vezes, maior que o dobro da soma dos demais. Como esse custo aumenta com o tempo de funcionamento do sistema, super dimensionar esse tempo poderá provocar distorções no dimensionamento econômico, em geral, pelo super dimensionamento dos tubos.

O tipo de dispositivo utilizado para o controle da vazão do sistema, frente às variações comuns da altura manométrica, provocadas pelas mudanças de posições de irrigação das linhas laterais durante a irrigação da área de plantio, deve ser considerado para determinar o tempo de funcionamento. Pois, dispositivos rudimentares, como é o caso, do registro de gaveta e da válvula de estrangulamento, não colaboram para a economia de consumo da energia elétrica, mas, a utilização de tecnologias como o inversor de frequência ou a associação de bombas, pode produzir uma economia significativa no consumo desse recurso.

O aplicativo computacional – IRRIGAR permite ao usuário estabelecer o tempo de funcionamento do sistema por dia, mês ou ano. E, como, as tarifas de demanda e consumo de energia elétrica do tipo horo-sazonal em alta tensão, podem apresentar preços diferenciados para o horário de ponta e fora de ponta, também, é, possível, estabelecer, o regime de funcionamento do sistema em relação a esses horários, no entanto, se o sistema funcionar por um período diário superior a 21 horas, compulsoriamente, seu funcionamento se fará em ambos os horários.

A figura 26 mostra a janela do aplicativo computacional – IRRIGAR desenvolvida para a especificação do tempo de funcionamento do sistema de irrigação por aspersão convencional.

The screenshot shows a window titled "IRRIGAR - TEMPO DE FUNCIONAMENTO". It contains three radio buttons for frequency: "DIÁRIO", "MENSAL", and "ANUAL". Below these are two input fields for "TEMPO DE FUNCIONAMENTO NO HORÁRIO FORA DE PONTA (horas):" with values 6.00 and 0.00. Three buttons labeled "EDITAR", "APAGAR", and "CALCULAR" are positioned below the input fields. At the bottom, there are three more input fields showing calculated annual values: "TEMPO DE FUNCIONAMENTO ANUAL NO HORÁRIO FORA DE PONTA (horas):" with 2190.00, "TEMPO DE FUNCIONAMENTO ANUAL NO HORÁRIO DE PONTA (horas):" with 0.00, and "TEMPO TOTAL DE FUNCIONAMENTO ANUAL (horas):" with 2190.00.

Figura 26. Janela do aplicativo computacional – IRRIGAR desenvolvida para especificação do tempo de funcionamento anual do sistema de irrigação por aspersão convencional

Foi adotado como padrão um tempo de funcionamento diário igual há 6 horas, entretanto, esse tempo pode ser editado pelo usuário conforme sua necessidade. Quando o tempo é estabelecido por dia, o mesmo é multiplicado por 365 para representar o período de funcional anual, de forma análoga, quando o tempo é estabelecido por mês, o mesmo é multiplicado por 12.

3.14. Dimensionamento de econômico

O dimensionamento econômico é a etapa final do projeto, onde as linhas do sistema de irrigação por aspersão convencional terão seus tubos estabelecidos de forma definitiva, ou seja, conforme, a melhor eficiência econômica apresentada por um determinado tubo, entre os que foram selecionados para serem experimentados em uma linha. É, nesta etapa, que os demais componentes do sistema, também são dimensionados, como a motobomba e, também, se necessário, o posto de transformação de energia elétrica.

Na janela desenvolvida para efetuar o dimensionamento econômico do sistema, o layout do sistema é definido, ou seja, as linhas do sistema que serão analisadas. Na elaboração do projeto, a motobomba deve ser dimensionada para a situação de irrigação que irá demandar o maior fornecimento de potência de sua parte. Em sistemas de vazão constante, esta situação, corresponde ao trecho, que

começa em uma linha lateral e termina no início do sistema ou na captação, e que, resulta na maior altura manométrica necessária para efetuar a irrigação.

Para a definição do layout de irrigação as linhas são identificadas pelas seguintes informações: tipo de linha, número da linha e número do tubo. Somente as linhas laterais não necessitam da informação referente ao número do tubo. Ao concluir o layout, o aplicativo computacional – IRRIGAR busca as informações da motobomba. Permitindo o usuário efetuar o primeiro teste de dimensionamento e posteriormente proceder às trocas de tubos de uma determinada linha, observando o comportamento dos custos, com a finalidade de realizar o dimensionamento econômico do sistema.

A figura 27 mostra a janela do aplicativo computacional – IRRIGAR desenvolvida para o dimensionamento econômico do sistema de irrigação por aspersão convencional com um exemplo de dimensionamento de um usuário em andamento.

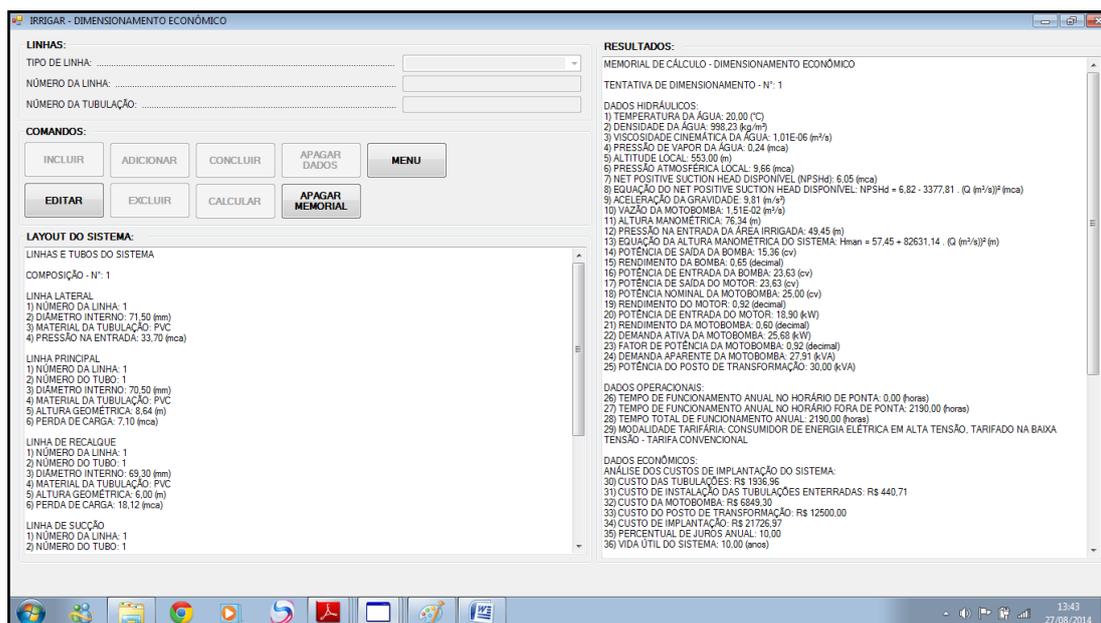


Figura 27. Janela do aplicativo computacional – IRRIGAR desenvolvida para o dimensionamento econômico de sistema de irrigação por aspersão convencional

Para efetuar o dimensionamento econômico de sistemas de irrigação por aspersão convencional, ou seja, dimensionar a motobomba e se necessário o posto de transformação de energia elétrica, assim como, quantificar o custo total anual referente aos gastos com a implantação e a operação do sistema, calculados para o

mesmo período, o aplicativo computacional - IRRIGAR utiliza as equações que foram demonstradas na subseções 3.5 e 3.6.

Além da elaboração de projetos, o aplicativo computacional – IRRIGAR, também, pode ser utilizado em estudos de eficiência energética, que tenham o propósito de reduzir o consumo de energia elétrica, pois, sua capacidade de analisar qualquer layout de irrigação gerando a equação que representa a altura manométrica do sistema em função da vazão, permite que o aplicativo seja utilizado simular qualquer posição da linha lateral dentro da área irrigada, colaborando dessa forma, para otimizar o ponto de funcionamento de motobombas.

3.15. Teste de funcionamento

Para testar a eficiência do aplicativo computacional – IRRIGAR na elaboração de projetos foi adaptado um exemplo didático da página 157, do livro, Irrigação – Princípios e Métodos de Mantovani et al. (2009). Segue os dados utilizados na elaboração do projeto.

Dados da cultura:

- a) Planta: Feijão.
- b) Fator de disponibilidade: 0,5 (decimal).
- c) Profundidade efetiva do sistema radicular: 40 (cm).

Dados do solo:

- a) Percentual de umidade do solo em peso na capacidade de campo: 38%.
- b) Percentual de umidade do solo em peso no ponto de murcha: 15%.
- c) Densidade aparente do solo seco: 1,3 (g/cm³).
- d) Velocidade básica de infiltração: 12 (mm/h).

Dados do sistema de irrigação:

- e) Eficiência de aplicação: 0,85 (decimal).
- f) Espaçamentos:
 - Espaçamento do primeiro aspersor sobre a linha lateral: 9 (m).
 - Espaçamento entre aspersores: 18 (m).
 - Espaçamento da primeira derivação sobre a linha principal: 9 (m).
 - Espaçamento entre derivações: 18 (m).

g) Funcionamento diário: 18 (h/dia).

h) Tipo de tubo e critério de dimensionamento:

Linha lateral: tubos de PVC para linha fixa com pressão nominal de 60 mca: dimensionado pelo critério da máxima perda de carga permitida.

Linha principal 1 e 2: tubos de PVC para linha fixa e adutora com pressão nominal de 80 mca: dimensionadas pela análise de custos pelo método das tentativas com auxílio da equação de Bresse.

Linha de recalque: tubos de PVC para linha fixa e adutora com pressão nominal de 125 mca: dimensionada pela análise de custos pelo método das tentativas com auxílio da equação de Bresse.

Linha de sucção: tubos de PVC para linha fixa e adutora com pressão nominal de 60 mca: dimensionada pela análise de custos pelo método das tentativas com auxílio da equação de Bresse.

i) Modo de instalação das linhas:

Linha lateral e linha de sucção: instaladas de forma aparente.

Linha principal 1, linha principal 2 e linha de recalque: instaladas enterradas.

j) Dimensões da vala:

Profundidade: 0,40 (m).

Inclinação do talude: 60 (graus).

k) Tipo e forma de instalação da motobomba: bomba centrífuga de fluxo radial do tipo eixo horizontal, com motor elétrico de indução gaiola de esquilo trifásico, instalada de forma não afogada.

Rendimento da bomba: 0,65 (decimal);

Rendimento do motor: 0,92 (decimal);

Altura de sucção: 2 (m);

Comprimento da linha de sucção: 4,5 (m).

Dados do clima e do local de instalação:

a) Local: Dourados – MS.

b) Área: $360 \times 288 \text{ (m}^2\text{)} = 10,37 \text{ (ha)}$.

c) Altitude: 553 (m).

d) Temperatura da água: 20 (°C).

e) Evapotranspiração máxima da cultura: 6 (mm/dia).

Dados econômicos:

a) Taxa de juro anual: 10%.

b) Vida útil do sistema ou tempo de amortização: 10 (anos).

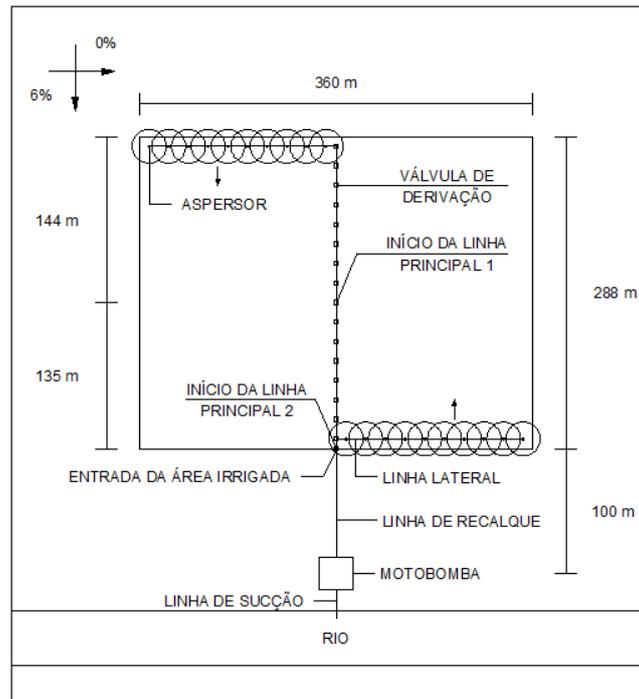


Figura 28. Croqui do sistema de irrigação por aspersão convencional sobre a área irrigada

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A tabela 9 apresenta os diâmetros econômicos de cada linha e os resultados dos custos anuais por linha dimensionada que foram obtidos com o aplicativo computacional IRRIGAR.

Tabela 9. Custos anuais por linha dimensionada para 18 horas de funcionamento diário em baixa tensão

Linha dimensionada	Diâmetro interno por linha (mm)				Custos anuais		
	Dilp1	Dilp2	Dilr	Dils	CIA	COA	CTA
1. Principal I	111,8	70,5	69,3	71,5	R\$ 5.940,54	R\$ 37.040,93	R\$ 42.981,47
2. Principal II	111,8	161,2	69,3	71,5	R\$ 4.553,31	R\$ 29.468,34	R\$ 34.021,65
3. Recalque	111,8	161,2	138,0	71,5	R\$ 2.787,66	R\$ 24.907,24	R\$ 27.694,90
4. Sucção	111,8	161,2	138,0	162,2	R\$ 2.802,05	R\$ 24.639,77	R\$ 27.441,82

Dilp1 = diâmetro interno da linha principal I; Dilp2 = diâmetro interno da linha principal II
 Dilr = diâmetro interno da linha de recalque; Dils = diâmetro interno da linha de sucção
 CIA = custo de implantação anual; COA = custo de operação anual; CTA = custo total anual

A figura 29 mostra a variação dos custos anuais por linha dimensionada, onde é possível observar, que para este projeto em particular, tanto o custo de implantação anual, como o custo de operação anual foram reduzindo a cada linha dimensionada.

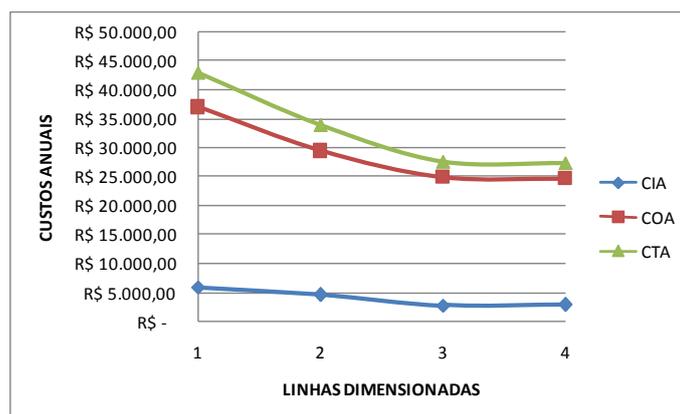


Figura 29. Custos anuais para 18 horas de funcionamento diário em baixa tensão por linha dimensionada

A figura 30 mostra o percentual detalhado do custo anual por despesa, onde é possível observar o forte impacto dos gastos com a energia elétrica, que para este projeto em particular, foi 8 (oito) vezes maior do que a soma das demais despesas.

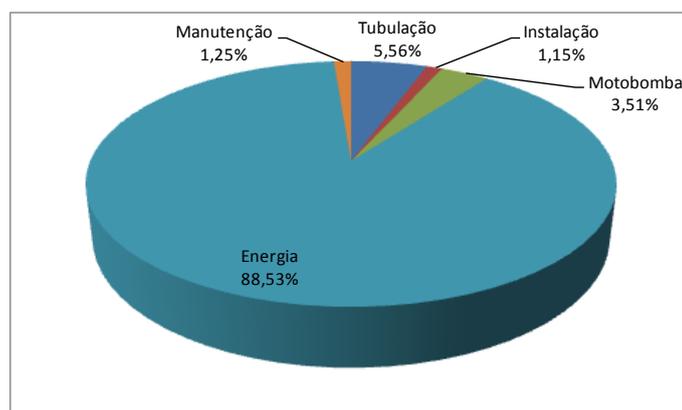


Figura 30. Percentual do custo total anual por despesa para 18 horas de funcionamento diário em baixa tensão

A tabela 10 apresenta a comparação dos resultados do dimensionamento por componente do sistema, que foram obtidos na elaboração do projeto pelos autores Mantovani et al. (2009), no livro, Irrigação – Princípios e Métodos e com o auxílio do aplicativo computacional – IRRIGAR.

Tabela 10. Componentes dimensionados

Componentes dimensionados	Livro	Aplicativo
Diâmetro mínimo da linha lateral (mm)	66,00	62,30
Diâmetro interno da linha principal I (mm)	75,00	111,80
Diâmetro interno da linha principal II (mm)	100,00	161,20
Diâmetro interno da linha de recalque (mm)	100,00	115,00
Diâmetro interno da linha de sucção (mm)	125,00	112,60
Potência nominal da motobomba (cv)	25,00	20,00

No livro, os autores, utilizaram a equação de Hazen-Williams para dimensionar o diâmetro mínimo da linha lateral pelo critério da máxima perda de carga permitida e para quantificar as perdas de carga do tipo contínua das linhas do sistema. Os diâmetros das linhas principais e da linha de recalque foram dimensionados pelo critério da velocidade econômica para o escoamento da água em condutos forçados e o diâmetro da linha de sucção foi dimensionado de forma prática, pela adoção, do diâmetro nominal de valor imediatamente superior ao dimensionado para a linha de recalque.

A comparação dos resultados permite comprovar os benefícios de utilização da equação universal de Darcy-Weissbach para a quantificação das perdas de carga do tipo contínua, pois, a utilização da equação de Hazen-Williams conduziu a utilização de uma motobomba com potência superior a necessária, onerando o projeto. Deve ser observado, que a motobomba dimensionada no livro, demanda ainda, a necessidade de instalação de um posto de transformação de energia elétrica.

O diâmetro mínimo da linha lateral dimensionado pelo critério da máxima perda de carga permitida pelo aplicativo foi menor em relação ao do livro. Mostrando que o uso da equação de Hazen-Williams pode super dimensionar essa linha.

Os diâmetros dimensionados de forma econômica utilizando o método das tentativas pelo aplicativo, para as linhas principais, são superiores em relação aos dimensionados pelo critério da velocidade econômica utilizado no livro. Mostrando que o método da velocidade econômica, que na verdade é idêntico ao uso da equação de Bresse, não tem capacidade para solucionar o problema, podendo provocar erros no dimensionamento econômico e prejuízos financeiros.

Anexo a esta dissertação encontra-se os relatórios do: dimensionamento agrônomico e operacional do sistema, dimensionamento hidráulico das linhas e o econômico ótimo, que foram obtidos com o aplicativo computacional - IRRIGAR.

5. CONCLUSÕES

O aplicativo computacional - IRRIGAR funcionou adequadamente, demonstrando que sua utilização facilita o incremento da eficiência econômica na elaboração de projetos. Dessa forma, concluiu-se que o uso desse recurso tecnológico pode contribuir de forma significativa para viabilizar a utilização desse método de irrigação de forma racional em benefício da agricultura.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Andrade, L.; Carvalho, J. A. Software para suporte hidráulico. In: INFOAGRO2000 / CONGRESSO E MOSTRA DE INFORMÁTICA, Ponta Grossa, 2000. *Anais...* Ponta Grossa, Departamento de Informática da UEPG, 2000.
2. Andrade, L.; Carvalho, J. A. Análise da equação de Swamee-Jain para o cálculo do fator de atrito. **Revista de Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, **5** (3): 554 – 557, 2001a.
3. Andrade, L.; Carvalho, J. A. Desenvolvimento de software para dimensionamento de sistemas de recalque. **Revista de Brasileira de Agrocomputação**, **1** (1): 22 – 29, 2001b.
4. Arruda, A. F. R.; Souza, F. Dimensionamento computadorizado de sistemas de irrigação por pressão – aspersão convencional e localizada: I – aspectos técnicos. **Ciê. Agron.**, **23** (1/2): 53 – 60, 1992.
5. Bernardo, S.; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 625p.
6. Biscaro, G. A. **Sistema de irrigação por aspersão**. Dourados: Ed. UFGD, 2009. 134p.
7. Bernardo, S.; Soares, A.A.; Mantovani, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 625p.
8. Botrel, T. A.; Marques, P. A. A. Software para dimensionamento de irrigação por sulcos. **Scientia Agricola**, **57** (4): 803-811, 2000.
9. Carvalho, J. A.; Oliveira, L. F. C. **Instalações de bombeamento para irrigação hidráulica e consumo de energia**. Lavras: Ed. UFLA, 2008. 354p.
10. Coelho, E. F.; Coelho Filho, M. A.; Oliveira, S. L. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e uso da água. **Bahia Agríc.** **7** (1): 57 – 60, 2005.
11. Faria, R. A.; Soares, A. A.; Sediyaama, G. C.; Ribeiro, C. A. Á. S. Economia de água e energia em projetos de irrigação suplementar no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, **6** (2): 189 – 194, 2002.
12. Filho, D. O.; Teixeira, C. A.; Ribeiro, M. C. Racionalização energética de uma estação de pressurização de um perímetro irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, **8** (1): 135 – 143, 2004.

13. Filho, D. O.; Ribeiro, M. C.; Mantovani, E. C.; Soares, A. A.; Fernandes, H. C. Dimensionamento de motores para o bombeamento de água. **Eng. Agríc.**, **30** (6): 1012 – 1022, 2010.
14. Flores, D. M.; Oliveira, F. C.; Geisenhoff, L. O.; Jordan, R. A.; Biscaro, G. A.; Almeida, A. C. DOS S. Automação de sistema de bombeamento de água para pequenas propriedades rurais. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 23. Luis Eduardo Magalhães-Bahia, 2013. *Anais...* Luis Eduardo Magalhães, ABID, 2013.
15. Gomes, H. P. **Engenharia de irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados aspersão e gotejamento**. 3^o Ed. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999, 412p.
16. Gomes, H. P. Dimensionamento econômico de sistemas de recalque. **Engenharia sanitária e ambiental**. **6** (3): 108 – 114, 2001.
17. Mantovani, E. C.; Bernardo, S.; Palaretti, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 355p.
18. Perroni, B. L. T.; Carvalho, J. A.; Faria L. C. Velocidade econômica de escoamento e custos de energia de bombeamento. **Eng. Agríc.** **31** (3): 487 – 496, 2011.
19. Pires, R. C. M.; Arruda, F. B.; Sakai, E.; Cavalheiros, R. O.; Brunini, O. Agricultura Irrigada. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**. São Paulo: **1** (1): 98-111, 2008.
20. Queiroz, T. M.; Botrel, T. A.; Frizzone, J. A. Desenvolvimento de software e hardware para irrigação de precisão usando pivô central. **Eng. Agríc.** Jaboticabal: **28** (1): 44-54; 2008.
21. Robaina, A. D.; Calgaro, M.; Peiter, M. X. Tubulações em sistemas de recalque. **Ciência Rural**, **34** (4): 1065 – 1068, 2004.
22. Souza I.; Andrade E. M.; Silva E. L. Avaliação hidráulica de um sistema de irrigação localizada de baixa pressão, projetado pelo software “bubler”. **Eng. Agríc.** **25** (1): 264-271, 2005.
23. Souza, L. O. C.; Faccioli, G. G.; Mudrik, A. S.; Mantovani, E. C. Comparação da evapotranspiração de referência (ET_o), estimada pelos modelos teóricos de Penman-Monteith e Hargraves-Samani, com uso do software sista. In: II SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, Vitória, 2001. *Anais...* Brasília, Embrapa Café, 2001.
24. Tenório F. J. C.; Cavalheiros C. B. M.; Madalena J. A. S.; Cunha J. L. X. L.; Silva J. A. C. Economia de água em irrigação por aspersão baseado na definição da velocidade de infiltração. **Revista Caatinga**, **21** (5): 185-188, 2008.

7. ANEXO

7.1. Relatório de dimensionamento agrônômico e operacional

MEMORIAL DE CÁLCULO - DIMENSIONAMENTO AGRONÔMICO E OPERACIONAL

DIMENSIONAMENTO - N° 1

- 1) CULTURA: FEIJÃO
- 2) PROFUNDIDADE EFETIVA DO SISTEMA RADICULAR: 40,00 (cm)
- 3) FATOR DE DISPONIBILIDADE: 0,50 (decimal)
- 4) UMIDADE DO SOLO EM PESO NA CAPACIDADE DE CAMPO: 38,00 (percentual)
- 5) UMIDADE DO SOLO EM PESO NO PONTO DE MURCHA: 15,00 (percentual)
- 6) DENSIDADE APARENTE DO SOLO SECO: 1,30 (g/cm³)
- 7) VELOCIDADE BÁSICA DE INFILTRAÇÃO: 12,00 (mm/h)
- 8) MÁXIMA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA NO CICLO DE PLANTIO: 6,00 (mm/d)
- 9) VAZÃO DO ASPERSOR: 0,76 (L/s)
- 10) ESPAÇAMENTO ENTRE ASPERSORES: 18,00 (m)
- 11) ESPAÇAMENTO ENTRE LINHAS LATERAIS: 18,00 (m)
- 12) EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO: 0,85 (decimal)
- 13) INTENSIDADE DE APLICAÇÃO: 8,40 (mm/h)
- 14) DISPONIBILIDADE TOTAL DE ÁGUA: 2,99 (mm/cm)
- 15) CAPACIDADE TOTAL DE ÁGUA: 119,60 (mm)
- 16) CAPACIDADE REAL DE ÁGUA: 59,80 (mm)
- 17) TURNO DE REGA CALCULADO: 9,97 (d)
- 18) TURNO DE REGA ADOTADO: 10,00 (d)
- 19) FOLGA: 1,00 (dias)
- 20) PERÍODO DE IRRIGAÇÃO: 9,00 (d)
- 21) LÂMINA LÍQUIDA: 60,00 (mm)
- 22) FATOR DE DISPONIBILIDADE CORRIGIDO: 0,50 (decimal)
- 23) LÂMINA BRUTA: 70,59 (mm)
- 24) TEMPO DE IRRIGAÇÃO: 8,40 (h)
- 25) TEMPO NECESSÁRIO POR POSIÇÃO: 9,00 (h)

- 26) TEMPO DE MUDANÇA DE LINHA: 0,60 (h)
 - 27) TEMPO DE FUNCIONAMENTO DIÁRIO: 18,00 (h)
 - 28) NÚMERO TOTAL DE POSIÇÕES: 32,00 (unidades)
 - 29) NÚMERO DE POSIÇÕES DA LINHA LATERAL POR DIA: 2,00 (unidades)
 - 30) NÚMERO DE POSIÇÕES À SEREM IRRIGADAS POR DIA: 4,00 (unidades)
 - 31) NÚMERO DE LINHAS LATERAIS NECESSÁRIAS: 2,00 (unidades)
-
-

7.2. Relatório de dimensionamento hidráulico da linha lateral

MEMORIAL DE CÁLCULO - DIMENSIONAMENTO DAS LINHAS LATERAIS

LINHA LATERAL - N°: 1

- 1) VAZÃO DO ASPERSOR: 0,76 (L/s)
- 2) PRESSÃO DE SERVIÇO: 25,00 (mca)
- 3) ESPAÇAMENTO DO PRIMEIRO ASPERSOR: 9,00 (m)
- 4) ESPAÇAMENTO ENTRE ASPERSORES: 18,00 (m)
- 5) MATERIAL DOS TUBOS: PVC
- 6) RUGOSIDADE ABSOLUTA: 0,02 (mm)
- 7) MODO DE INSTALAÇÃO: EM NÍVEL
- 8) DECLIVIDADE: 0,00 (percentual)
- 9) VARIAÇÃO DA PRESSÃO DE SERVIÇO ADMITIDA: 20,00 (percentual)
- 10) NÚMERO DE ASPERSORES: 10,00 (unidades)
- 11) ALTURA DE INSTALAÇÃO DO ASPERSOR: 2,00 (m)
- 12) VAZÃO DA LINHA LATERAL: 7,56E-03 (m³/s)
- 13) COMPRIMENTO DA LINHA LATERAL: 171,00 (m)
- 14) ALTURA GEOMÉTRICA DA LINHA LATERAL: 0,00 (m)
- 15) PERDA DE CARGA CONTÍNUA PERMITIDA DA LINHA LATERAL: 5,00 (mca)
- 16) FATOR DE MULTIPLAS SAÍDAS: 3,85E-01 (adimensional)
- 17) RELAÇÃO DE ESPAÇAMENTOS: 0,50 (adimensional)

- 18) FATOR DE MULTIPLAS SAÍDAS CORRIGIDO: 3,53E-01 (adimensional)
 - 19) PERDA DE CARGA CONTÍNUA PERMITIDA CORRIGIDA DA LINHA LATERAL: 14,18 (mca)
 - 20) PERDA DE CARGA CONTÍNUA DA LINHA LATERAL PARA O DIÂMETRO MÍNIMO: 14,09 (mca)
 - 21) FATOR DE ATRITO: 1,62E-02 (adimensional)
 - 22) ESPESSURA DO FILME LAMINAR: 1,04E-01 (mm)
 - 23) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO: REGIME TURBULENTO LISO (NIKURADSE)
 - 24) DIÂMETRO INTERNO MÍNIMO PARA A LINHA LATERAL: 62,30 (mm)
 - 25) DIÂMETRO INTERNO ADOTADO PARA A LINHA LATERAL: 71,50 (mm)
 - 26) RUGOSIDADE RELATIVA : 2,80E-04 (adimensional)
 - 27) VELOCIDADE NA ENTRADA DA LINHA LATERAL: 1,88 (m/s)
 - 28) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)
 - 29) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)
 - 30) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA LATERAL: 1,33E+05 (adimensional)
 - 31) FATOR DE ATRITO DA LINHA LATERAL: 1,67E-02 (adimensional)
 - 32) ESPESSURA DO FILME LAMINAR: 1,35E-01 (mm)
 - 33) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO: REGIME TURBULENTO LISO (NIKURADSE)
 - 34) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA LATERAL: 7,21 (mca)
 - 35) PRESSÃO NA ENTRADA DA LINHA LATERAL: 32,41 (mca)
 - 36) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA LATERAL: 1,30 (mca)
 - 37) PRESSÃO NA ENTRADA DA LINHA LATERAL CORRIGIDA: 33,70 (mca)
-
-

7.3. Relatório do dimensionamento hidráulico das linhas principais

MEMORIAL DE CÁLCULO - DIMENSIONAMENTO DAS LINHAS PRINCIPAIS

LINHA PRINCIPAL - N°: 1

- 1) VAZÃO DA LINHA PRINCIPAL: 7,56E-03 (m³/s)
- 2) COMPRIMENTO DA LINHA PRINCIPAL: 144,00 (m)
- 3) MODO DE INSTALAÇÃO DA LINHA PRINCIPAL: EM ACLIVE
- 4) DECLIVIDADE DA LINHA PRINCIPAL: 6,00 (percentual)

- 5) ALTURA GEOMÉTRICA DA LINHA PRINCIPAL: 8,64 (m)
 - 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA - VALOR MÍNIMO: 0,60 (m/s)
 - 7) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA - VALOR MÉDIO: 1,50 (m/s)
 - 8) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA - VALOR MÁXIMO: 2,60 (m/s)
 - 9) CONSTANTE DE BRESSE - VALOR MÍNIMO: 7,00E-01 (adimensional)
 - 10) CONSTANTE DE BRESSE - VALOR MÉDIO: 9,21E-01 (adimensional)
 - 11) CONSTANTE DE BRESSE - VALOR MÁXIMO: 1,46E+00 (adimensional)
 - 12) DIÂMETRO INTERNO - VALOR MÍNIMO RECOMENDADO: 60,85 (mm)
 - 13) DIÂMETRO INTERNO - VALOR MÉDIO RECOMENDADO: 80,11 (mm)
 - 14) DIÂMETRO INTERNO - VALOR MÁXIMO RECOMENDADO: 126,66 (mm)
-

DETERMINAÇÃO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA POR ESTIMATIVA

- 1) PERCENTUAL ADOTADO: 4,00
-

TUBO - Nº: 1

- 1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA PRINCIPAL: 70,50 (mm)
- 2) MATERIAL DA LINHA PRINCIPAL: PVC
- 3) RUGOSIDADE ADOTADA: 2,00E-02 (mm)
- 4) RUGOSIDADE RELATIVA: 2,84E-04 (adimensional)
- 5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 7,16 (R\$/m)
- 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA PRINCIPAL: 1,94 (m/s)
- 7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)
- 8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)
- 9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA PRINCIPAL: 135182,80 (adimensional)
- 10) FATOR DE ATRITO DA LINHA PRINCIPAL: 1,66E-02 (adimensional)
- 11) ESPESSURA DO FILME LAMINAR DA LINHA PRINCIPAL: 1,31E-01 (mm)
- 12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO NA LINHA PRINCIPAL: REGIME TURBULENTO LISO (NIKURADSE)
- 13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA PRINCIPAL: 6,50 (mca)
- 14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA PRINCIPAL: 0,61 (mca)
- 15) PERDA DE CARGA NA LINHA PRINCIPAL: 7,10 (mca)

16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA PRINCIPAL: R\$ 1031,04

17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA PRINCIPAL: R\$ 255,84

TUBO - Nº: 2

1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA PRINCIPAL: 94,40 (mm)

2) MATERIAL DA LINHA PRINCIPAL: PVC

3) RUGOSIDADE ADOTADA: 2,00E-02 (mm)

4) RUGOSIDADE RELATIVA: 2,12E-04 (adimensional)

5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 13,83 (R\$/m)

6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA PRINCIPAL: 1,08 (m/s)

7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)

8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)

9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA PRINCIPAL: 100957,49 (adimensional)

10) FATOR DE ATRITO DA LINHA PRINCIPAL: 1,76E-02 (adimensional)

11) ESPESURA DO FILME LAMINAR DA LINHA PRINCIPAL: 2,29E-01 (mm)

12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO NA LINHA PRINCIPAL: REGIME TURBULENTO LISO (NIKURADSE)

13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA PRINCIPAL: 1,60 (mca)

14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA PRINCIPAL: 0,41 (mca)

15) PERDA DE CARGA NA LINHA PRINCIPAL: 2,01 (mca)

16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA PRINCIPAL: R\$ 1991,52

17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA PRINCIPAL: R\$ 279,95

TUBO - Nº: 3

1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA PRINCIPAL: 140,00 (mm)

2) MATERIAL DA LINHA PRINCIPAL: PVC

3) RUGOSIDADE ADOTADA: 2,00E-02 (mm)

4) RUGOSIDADE RELATIVA: 1,43E-04 (adimensional)

5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 28,43 (R\$/m)

6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA PRINCIPAL: 0,49 (m/s)

7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)

- 8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)
 - 9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA PRINCIPAL: 68074,19 (adimensional)
 - 10) FATOR DE ATRITO DA LINHA PRINCIPAL: 1,90E-02 (adimensional)
 - 11) ESPESSURA DO FILME LAMINAR DA LINHA PRINCIPAL: 4,85E-01 (mm)
 - 12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO NA LINHA PRINCIPAL: REGIME TURBULENTO LISO (NIKURADSE)
 - 13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA PRINCIPAL: 0,24 (mca)
 - 14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA PRINCIPAL: 0,36 (mca)
 - 15) PERDA DE CARGA NA LINHA PRINCIPAL: 0,60 (mca)
 - 16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA PRINCIPAL: R\$ 4093,92
 - 17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA PRINCIPAL: R\$ 329,16
-

TUBO - Nº: 4

- 1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA PRINCIPAL: 111,80 (mm)
 - 2) MATERIAL DA LINHA PRINCIPAL: PVC
 - 3) RUGOSIDADE ADOTADA: 2,00E-02 (mm)
 - 4) RUGOSIDADE RELATIVA: 1,79E-04 (adimensional)
 - 5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 13,97 (R\$/m)
 - 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA PRINCIPAL: 0,77 (m/s)
 - 7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)
 - 8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)
 - 9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA PRINCIPAL: 85244,97 (adimensional)
 - 10) FATOR DE ATRITO DA LINHA PRINCIPAL: 1,82E-02 (adimensional)
 - 11) ESPESSURA DO FILME LAMINAR DA LINHA PRINCIPAL: 3,16E-01 (mm)
 - 12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO NA LINHA PRINCIPAL: REGIME TURBULENTO LISO (NIKURADSE)
 - 13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA PRINCIPAL: 0,71 (mca)
 - 14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA PRINCIPAL: 0,37 (mca)
 - 15) PERDA DE CARGA NA LINHA PRINCIPAL: 1,08 (mca)
 - 16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA PRINCIPAL: R\$ 2011,68
 - 17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA PRINCIPAL: R\$ 298,23
-

TUBO - Nº: 5

- 1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA PRINCIPAL: 161,20 (mm)
 - 2) MATERIAL DA LINHA PRINCIPAL: PVC
 - 3) RUGOSIDADE ADOTADA: 2,00E-02 (mm)
 - 4) RUGOSIDADE RELATIVA: 1,24E-04 (adimensional)
 - 5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 28,57 (R\$/m)
 - 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA PRINCIPAL: 0,37 (m/s)
 - 7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)
 - 8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)
 - 9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA PRINCIPAL: 59121,51 (adimensional)
 - 10) FATOR DE ATRITO DA LINHA PRINCIPAL: 1,95E-02 (adimensional)
 - 11) ESPESURA DO FILME LAMINAR DA LINHA PRINCIPAL: 6,34E-01 (mm)
 - 12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO NA LINHA PRINCIPAL: REGIME TURBULENTO LISO (NIKURADSE)
 - 13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA PRINCIPAL: 0,12 (mca)
 - 14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA PRINCIPAL: 0,35 (mca)
 - 15) PERDA DE CARGA NA LINHA PRINCIPAL: 0,47 (mca)
 - 16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA PRINCIPAL: R\$ 4114,08
 - 17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA PRINCIPAL: R\$ 353,47
-
-

LINHA PRINCIPAL - Nº: 2

- 1) VAZÃO DA LINHA PRINCIPAL: 1,51E-02 (m³/s)
- 2) COMPRIMENTO DA LINHA PRINCIPAL: 135,00 (m)
- 3) MODO DE INSTALAÇÃO DA LINHA PRINCIPAL: EM ACLIVE
- 4) DECLIVIDADE DA LINHA PRINCIPAL: 6,00 (percentual)
- 5) ALTURA GEOMÉTRICA DA LINHA PRINCIPAL: 8,10 (m)
- 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA - VALOR MINÍMO: 0,60 (m/s)
- 7) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA - VALOR MÉDIO: 1,50 (m/s)
- 8) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA - VALOR MÁXIMO: 2,60 (m/s)
- 9) CONSTANTE DE BRESSE - VALOR MINÍMO: 7,00E-01 (adimensional)

- 10) CONSTANTE DE BRESSE - VALOR MÉDIO: 9,21E-01 (adimensional)
 - 11) CONSTANTE DE BRESSE - VALOR MÁXIMO: 1,46E+00 (adimensional)
 - 12) DIÂMETRO INTERNO - VALOR MÍNIMO RECOMENDADO: 86,05 (mm)
 - 13) DIÂMETRO INTERNO - VALOR MÉDIO RECOMENDADO: 113,29 (mm)
 - 14) DIÂMETRO INTERNO - VALOR MÁXIMO RECOMENDADO: 179,12 (mm)
-

DETERMINAÇÃO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA POR ESTIMATIVA

- 1) PERCENTUAL ADOTADO: 4,00
-

TUBO - N°: 1

- 1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA PRINCIPAL: 70,50 (mm)
 - 2) MATERIAL DA LINHA PRINCIPAL: PVC
 - 3) RUGOSIDADE ADOTADA: 2,00E-02 (mm)
 - 4) RUGOSIDADE RELATIVA: 2,84E-04 (adimensional)
 - 5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 7,16 (R\$/m)
 - 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA PRINCIPAL: 3,87 (m/s)
 - 7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)
 - 8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)
 - 9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA PRINCIPAL: 270365,59 (adimensional)
 - 10) FATOR DE ATRITO DA LINHA PRINCIPAL: 1,46E-02 (adimensional)
 - 11) ESPESSURA DO FILME LAMINAR DA LINHA PRINCIPAL: 7,02E-02 (mm)
 - 12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO NA LINHA PRINCIPAL: REGIME TURBULENTO LISO (KONAKOV)
 - 13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA PRINCIPAL: 21,37 (mca)
 - 14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA PRINCIPAL: 1,18 (mca)
 - 15) PERDA DE CARGA NA LINHA PRINCIPAL: 22,55 (mca)
 - 16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA PRINCIPAL: R\$ 966,60
 - 17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA PRINCIPAL: R\$ 239,85
-

TUBO - N°: 2

- 1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA PRINCIPAL: 94,40 (mm)

- 2) MATERIAL DA LINHA PRINCIPAL: PVC
 - 3) RUGOSIDADE ADOTADA: 2,00E-02 (mm)
 - 4) RUGOSIDADE RELATIVA: 2,12E-04 (adimensional)
 - 5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 13,83 (R\$/m)
 - 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA PRINCIPAL: 2,16 (m/s)
 - 7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)
 - 8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)
 - 9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA PRINCIPAL: 201914,98 (adimensional)
 - 10) FATOR DE ATRITO DA LINHA PRINCIPAL: 1,54E-02 (adimensional)
 - 11) ESPESSURA DO FILME LAMINAR DA LINHA PRINCIPAL: 1,22E-01 (mm)
 - 12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO NA LINHA PRINCIPAL: REGIME TURBULENTO LISO (NIKURADSE)
 - 13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA PRINCIPAL: 5,25 (mca)
 - 14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA PRINCIPAL: 0,53 (mca)
 - 15) PERDA DE CARGA NA LINHA PRINCIPAL: 5,78 (mca)
 - 16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA PRINCIPAL: R\$ 1867,05
 - 17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA PRINCIPAL: R\$ 262,45
-

TUBO - N°: 3

- 1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA PRINCIPAL: 140,00 (mm)
- 2) MATERIAL DA LINHA PRINCIPAL: PVC
- 3) RUGOSIDADE ADOTADA: 2,00E-02 (mm)
- 4) RUGOSIDADE RELATIVA: 1,43E-04 (adimensional)
- 5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 28,43 (R\$/m)
- 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA PRINCIPAL: 0,98 (m/s)
- 7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)
- 8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)
- 9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA PRINCIPAL: 136148,39 (adimensional)
- 10) FATOR DE ATRITO DA LINHA PRINCIPAL: 1,66E-02 (adimensional)
- 11) ESPESSURA DO FILME LAMINAR DA LINHA PRINCIPAL: 2,59E-01 (mm)
- 12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO NA LINHA PRINCIPAL: REGIME TURBULENTO LISO (NIKURADSE)

- 13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA PRINCIPAL: 0,79 (mca)
 - 14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA PRINCIPAL: 0,36 (mca)
 - 15) PERDA DE CARGA NA LINHA PRINCIPAL: 1,14 (mca)
 - 16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA PRINCIPAL: R\$ 3838,05
 - 17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA PRINCIPAL: R\$ 308,59
-

TUBO - Nº: 4

- 1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA PRINCIPAL: 111,80 (mm)
 - 2) MATERIAL DA LINHA PRINCIPAL: PVC
 - 3) RUGOSIDADE ADOTADA: 2,00E-02 (mm)
 - 4) RUGOSIDADE RELATIVA: 1,79E-04 (adimensional)
 - 5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 13,97 (R\$/m)
 - 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA PRINCIPAL: 1,54 (m/s)
 - 7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)
 - 8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)
 - 9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA PRINCIPAL: 170489,93 (adimensional)
 - 10) FATOR DE ATRITO DA LINHA PRINCIPAL: 1,59E-02 (adimensional)
 - 11) ESPESSURA DO FILME LAMINAR DA LINHA PRINCIPAL: 1,69E-01 (mm)
 - 12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO NA LINHA PRINCIPAL: REGIME TURBULENTO LISO (NIKURADSE)
 - 13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA PRINCIPAL: 2,32 (mca)
 - 14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA PRINCIPAL: 0,42 (mca)
 - 15) PERDA DE CARGA NA LINHA PRINCIPAL: 2,74 (mca)
 - 16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA PRINCIPAL: R\$ 1885,95
 - 17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA PRINCIPAL: R\$ 279,59
-

TUBO - Nº: 5

- 1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA PRINCIPAL: 161,20 (mm)
- 2) MATERIAL DA LINHA PRINCIPAL: PVC
- 3) RUGOSIDADE ADOTADA: 2,00E-02 (mm)
- 4) RUGOSIDADE RELATIVA: 1,24E-04 (adimensional)

- 5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 28,57 (R\$/m)
 - 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA PRINCIPAL: 0,74 (m/s)
 - 7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)
 - 8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)
 - 9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA PRINCIPAL: 118243,02 (adimensional)
 - 10) FATOR DE ATRITO DA LINHA PRINCIPAL: 1,71E-02 (adimensional)
 - 11) ESPESSURA DO FILME LAMINAR DA LINHA PRINCIPAL: 3,39E-01 (mm)
 - 12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO NA LINHA PRINCIPAL: REGIME TURBULENTO LISO (NIKURADSE)
 - 13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA PRINCIPAL: 0,40 (mca)
 - 14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA PRINCIPAL: 0,34 (mca)
 - 15) PERDA DE CARGA NA LINHA PRINCIPAL: 0,74 (mca)
 - 16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA PRINCIPAL: R\$ 3856,95
 - 17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA PRINCIPAL: R\$ 331,38
-

TUBO - Nº: 6

- 1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA PRINCIPAL: 210,40 (mm)
- 2) MATERIAL DA LINHA PRINCIPAL: PVC
- 3) RUGOSIDADE ADOTADA: 2,00E-02 (mm)
- 4) RUGOSIDADE RELATIVA: 9,51E-05 (adimensional)
- 5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 49,17 (R\$/m)
- 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA PRINCIPAL: 0,43 (m/s)
- 7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)
- 8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)
- 9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA PRINCIPAL: 90593,03 (adimensional)
- 10) FATOR DE ATRITO DA LINHA PRINCIPAL: 1,80E-02 (adimensional)
- 11) ESPESSURA DO FILME LAMINAR DA LINHA PRINCIPAL: 5,63E-01 (mm)
- 12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO NA LINHA PRINCIPAL: REGIME TURBULENTO LISO (NIKURADSE)
- 13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA PRINCIPAL: 0,11 (mca)
- 14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA PRINCIPAL: 0,33 (mca)
- 15) PERDA DE CARGA NA LINHA PRINCIPAL: 0,44 (mca)

16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA PRINCIPAL: R\$ 6637,95

17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA PRINCIPAL: R\$ 387,55

7.4. Relatório do dimensionamento hidráulico das linhas de recalque

MEMORIAL DE CÁLCULO - DIMENSIONAMENTO DAS LINHAS DE RECALQUE

LINHA DE RECALQUE - N°: 1

2) VAZÃO DA LINHA DE RECALQUE: 1,51E-02 (m³/s)

3) COMPRIMENTO DA LINHA DE RECALQUE: 100,00 (m)

4) MODO DE INSTALAÇÃO DA LINHA DE RECALQUE: EM ACLIVE

5) DECLIVIDADE DA LINHA DE RECALQUE: 6,00 (percentual)

6) ALTURA GEOMÉTRICA DA LINHA DE RECALQUE: 6,00 (m)

7) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA - VALOR MÍNIMO: 0,60 (m/s)

8) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA - VALOR MÉDIO: 1,50 (m/s)

9) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA - VALOR MÁXIMO: 2,60 (m/s)

10) CONSTANTE DE BRESSE - VALOR MÍNIMO: 7,00E-01 (adimensional)

11) CONSTANTE DE BRESSE - VALOR MÉDIO: 9,21E-01 (adimensional)

12) CONSTANTE DE BRESSE - VALOR MÁXIMO: 1,46E+00 (adimensional)

13) DIÂMETRO INTERNO - VALOR MÍNIMO RECOMENDADO: 86,05 (mm)

14) DIÂMETRO INTERNO - VALOR MÉDIO RECOMENDADO: 113,29 (mm)

15) DIÂMETRO INTERNO - VALOR MÁXIMO RECOMENDADO: 179,12 (mm)

DETERMINAÇÃO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA POR ESTIMATIVA

1) PERCENTUAL ADOTADO: 4,00

RELAÇÃO DOS TUBOS TESTADOS NA LINHA DE RECALQUE

TUBO - N°: 1

1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA DE RECALQUE: 69,30 (mm)

2) MATERIAL DA LINHA DE RECALQUE: PVC

- 3) RUGOSIDADE ADOTADA: 2,00E-02 (mm)
 - 4) RUGOSIDADE RELATIVA: 2,89E-04 (adimensional)
 - 5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 8,80 (R\$/m)
 - 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE RECALQUE: 4,01 (m/s)
 - 7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)
 - 8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)
 - 9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA DE RECALQUE: 275047,25 (adimensional)
 - 10) FATOR DE ATRITO DA LINHA DE RECALQUE: 1,45E-02 (adimensional)
 - 11) ESPESSURA DO FILME LAMINAR DA LINHA DE RECALQUE: 6,79E-02 (mm)
 - 12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE RECALQUE: REGIME TURBULENTO LISO (KONAKOV)
 - 13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA DE RECALQUE: 17,19 (mca)
 - 14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA DE RECALQUE: 0,93 (mca)
 - 15) PERDA DE CARGA NA LINHA DE RECALQUE: 18,12 (mca)
 - 16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA DE RECALQUE: R\$ 880,00
 - 17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA DE RECALQUE: R\$ 431,20
-

TUBO - N°: 2

- 1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA DE RECALQUE: 93,40 (mm)
- 2) MATERIAL DA LINHA DE RECALQUE: PVC
- 3) RUGOSIDADE ADOTADA: 2,00E-02 (mm)
- 4) RUGOSIDADE RELATIVA: 2,14E-04 (adimensional)
- 5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 15,67 (R\$/m)
- 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE RECALQUE: 2,21 (m/s)
- 7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)
- 8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)
- 9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA DE RECALQUE: 204076,81 (adimensional)
- 10) FATOR DE ATRITO DA LINHA DE RECALQUE: 1,54E-02 (adimensional)
- 11) ESPESSURA DO FILME LAMINAR DA LINHA DE RECALQUE: 1,20E-01 (mm)
- 12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE RECALQUE: REGIME TURBULENTO LISO (NIKURADSE)

- 13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA DE RECALQUE: 4,09 (mca)
 - 14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA DE RECALQUE: 0,40 (mca)
 - 15) PERDA DE CARGA NA LINHA DE RECALQUE: 4,49 (mca)
 - 16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA DE RECALQUE: R\$ 1567,00
 - 17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA DE RECALQUE: R\$ 458,95
-

TUBO - Nº: 3

- 1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA DE RECALQUE: 115,00 (mm)
 - 2) MATERIAL DA LINHA DE RECALQUE: PVC
 - 3) RUGOSIDADE ADOTADA: 2,00E-02 (mm)
 - 4) RUGOSIDADE RELATIVA: 1,74E-04 (adimensional)
 - 5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 23,53 (R\$/m)
 - 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE RECALQUE: 1,46 (m/s)
 - 7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)
 - 8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)
 - 9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA DE RECALQUE: 165745,86 (adimensional)
 - 10) FATOR DE ATRITO DA LINHA DE RECALQUE: 1,60E-02 (adimensional)
 - 11) ESPESSURA DO FILME LAMINAR DA LINHA DE RECALQUE: 1,78E-01 (mm)
 - 12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE RECALQUE: REGIME TURBULENTO LISO (NIKURADSE)
 - 13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA DE RECALQUE: 1,50 (mca)
 - 14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA DE RECALQUE: 0,30 (mca)
 - 15) PERDA DE CARGA NA LINHA DE RECALQUE: 1,80 (mca)
 - 16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA DE RECALQUE: R\$ 2353,00
 - 17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA DE RECALQUE: R\$ 484,52
-

TUBO - Nº: 4

- 1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA DE RECALQUE: 138,00 (mm)
- 2) MATERIAL DA LINHA DE RECALQUE: PVC
- 3) RUGOSIDADE ADOTADA: 2,00E-02 (mm)
- 4) RUGOSIDADE RELATIVA: 1,45E-04 (adimensional)

- 5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 33,88 (R\$/m)
 - 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE RECALQUE: 1,01 (m/s)
 - 7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)
 - 8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)
 - 9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA DE RECALQUE: 138121,55 (adimensional)
 - 10) FATOR DE ATRITO DA LINHA DE RECALQUE: 1,66E-02 (adimensional)
 - 11) ESPESSURA DO FILME LAMINAR DA LINHA DE RECALQUE: 2,52E-01 (mm)
 - 12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE RECALQUE: REGIME TURBULENTO LISO (NIKURADSE)
 - 13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA DE RECALQUE: 0,63 (mca)
 - 14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA DE RECALQUE: 0,27 (mca)
 - 15) PERDA DE CARGA NA LINHA DE RECALQUE: 0,89 (mca)
 - 16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA DE RECALQUE: R\$ 3388,00
 - 17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA DE RECALQUE: R\$ 512,46
-

TUBO - Nº: 5

- 1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA DE RECALQUE: 182,00 (mm)
- 2) MATERIAL DA LINHA DE RECALQUE: PVC
- 3) RUGOSIDADE ADOTADA: 2,00E-02 (mm)
- 4) RUGOSIDADE RELATIVA: 1,10E-04 (adimensional)
- 5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 67,40 (R\$/m)
- 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE RECALQUE: 0,58 (m/s)
- 7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)
- 8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)
- 9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA DE RECALQUE: 104729,53 (adimensional)
- 10) FATOR DE ATRITO DA LINHA DE RECALQUE: 1,75E-02 (adimensional)
- 11) ESPESSURA DO FILME LAMINAR DA LINHA DE RECALQUE: 4,27E-01 (mm)
- 12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE RECALQUE: REGIME TURBULENTO LISO (NIKURADSE)
- 13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA DE RECALQUE: 0,17 (mca)
- 14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA DE RECALQUE: 0,25 (mca)

- 15) PERDA DE CARGA NA LINHA DE RECALQUE: 0,41 (mca)
 - 16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA DE RECALQUE: R\$ 6740,00
 - 17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA DE RECALQUE: R\$ 567,99
-

TUBO - Nº: 6

- 1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA DE RECALQUE: 108,40 (mm)
 - 2) MATERIAL DA LINHA DE RECALQUE: PVC
 - 3) RUGOSIDADE ADOTADA: 2,00E-02 (mm)
 - 4) RUGOSIDADE RELATIVA: 1,85E-04 (adimensional)
 - 5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 21,31 (R\$/m)
 - 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE RECALQUE: 1,64 (m/s)
 - 7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)
 - 8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)
 - 9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA DE RECALQUE: 175837,40 (adimensional)
 - 10) FATOR DE ATRITO DA LINHA DE RECALQUE: 1,58E-02 (adimensional)
 - 11) ESPESSURA DO FILME LAMINAR DA LINHA DE RECALQUE: 1,59E-01 (mm)
 - 12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE RECALQUE: REGIME TURBULENTO LISO (NIKURADSE)
 - 13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA DE RECALQUE: 2,00 (mca)
 - 14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA DE RECALQUE: 0,32 (mca)
 - 15) PERDA DE CARGA NA LINHA DE RECALQUE: 2,32 (mca)
 - 16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA DE RECALQUE: R\$ 2131,00
 - 17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA DE RECALQUE: R\$ 476,64
-

TUBO - Nº: 7

- 1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA DE RECALQUE: 156,40 (mm)
- 2) MATERIAL DA LINHA DE RECALQUE: PVC
- 3) RUGOSIDADE ADOTADA: 2,00E-02 (mm)
- 4) RUGOSIDADE RELATIVA: 1,28E-04 (adimensional)
- 5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 43,51 (R\$/m)
- 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE RECALQUE: 0,79 (m/s)

- 7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)
 - 8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)
 - 9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA DE RECALQUE: 121871,96 (adimensional)
 - 10) FATOR DE ATRITO DA LINHA DE RECALQUE: 1,70E-02 (adimensional)
 - 11) ESPESSURA DO FILME LAMINAR DA LINHA DE RECALQUE: 3,20E-01 (mm)
 - 12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE RECALQUE: REGIME TURBULENTO LISO (NIKURADSE)
 - 13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA DE RECALQUE: 0,34 (mca)
 - 14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA DE RECALQUE: 0,25 (mca)
 - 15) PERDA DE CARGA NA LINHA DE RECALQUE: 0,60 (mca)
 - 16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA DE RECALQUE: R\$ 4351,00
 - 17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA DE RECALQUE: R\$ 535,35
-

TUBO - N°: 8

- 1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA DE RECALQUE: 204,20 (mm)
- 2) MATERIAL DA LINHA DE RECALQUE: PVC
- 3) RUGOSIDADE ADOTADA: 2,00E-02 (mm)
- 4) RUGOSIDADE RELATIVA: 9,79E-05 (adimensional)
- 5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 74,37 (R\$/m)
- 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE RECALQUE: 0,46 (m/s)
- 7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)
- 8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)
- 9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA DE RECALQUE: 93343,65 (adimensional)
- 10) FATOR DE ATRITO DA LINHA DE RECALQUE: 1,79E-02 (adimensional)
- 11) ESPESSURA DO FILME LAMINAR DA LINHA DE RECALQUE: 5,32E-01 (mm)
- 12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE RECALQUE: REGIME TURBULENTO LISO (NIKURADSE)
- 13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA DE RECALQUE: 0,10 (mca)
- 14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA DE RECALQUE: 0,24 (mca)
- 15) PERDA DE CARGA NA LINHA DE RECALQUE: 0,34 (mca)
- 16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA DE RECALQUE: R\$ 7437,00

17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA DE RECALQUE: R\$ 597,04

7.5. Relatório do dimensionamento hidráulico das linhas de sucção

MEMORIAL DE CÁLCULO - DIMENSIONAMENTO DAS LINHAS DE SUCCÃO

LINHA DE SUCCÃO - N°: 1

- 1) VAZÃO DA LINHA DE SUCCÃO: 1,51E-02 (m³/s)
 - 2) COMPRIMENTO DA LINHA DE SUCCÃO: 4,50 (m)
 - 3) ALTURA GEOMÉTRICA DA LINHA DE SUCCÃO: 2,00 (m)
 - 4) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA - VALOR MÍNIMO: 0,60 (m/s)
 - 5) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA - VALOR MÉDIO: 1,50 (m/s)
 - 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA - VALOR MÁXIMO: 2,60 (m/s)
 - 7) CONSTANTE DE BRESSE - VALOR MÍNIMO: 7,00E-01 (adimensional)
 - 8) CONSTANTE DE BRESSE - VALOR MÉDIO: 9,21E-01 (adimensional)
 - 9) CONSTANTE DE BRESSE - VALOR MÁXIMO: 1,46E+00 (adimensional)
 - 10) DIÂMETRO INTERNO - VALOR MÍNIMO RECOMENDADO: 86,05 (mm)
 - 11) DIÂMETRO INTERNO - VALOR MÉDIO RECOMENDADO: 113,29 (mm)
 - 12) DIÂMETRO INTERNO - VALOR MÁXIMO RECOMENDADO: 179,12 (mm)
-
-

DETERMINAÇÃO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA POR ESTIMATIVA

- 1) PERCENTUAL ADOTADO: 4,00
-
-

RELAÇÃO DOS TUBOS TESTADOS NA LINHA DE SUCCÃO

TUBO - N°: 1

- 1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA DE SUCCÃO: 71,50 (mm)
- 2) MATERIAL DA LINHA DE SUCCÃO: PVC
- 3) RUGOSIDADE ADOTADA: 2,00E-02 (mm)
- 4) RUGOSIDADE RELATIVA: 2,80E-04 (adimensional)
- 5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 5,76 (R\$/m)

- 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE SUCÇÃO: 3,77 (m/s)
 - 7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)
 - 8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)
 - 9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA DE SUCÇÃO: 266584,25 (adimensional)
 - 10) FATOR DE ATRITO DA LINHA DE SUCÇÃO: 1,46E-02 (adimensional)
 - 11) ESPESSURA DO FILME LAMINAR DA LINHA DE SUCÇÃO: 7,21E-02 (mm)
 - 12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE SUCÇÃO: REGIME TURBULENTO LISO (KONAKOV)
 - 13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA DE SUCÇÃO: 0,67 (mca)
 - 14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA DE SUCÇÃO: 0,11 (mca)
 - 15) PERDA DE CARGA NA LINHA DE SUCÇÃO: 0,77 (mca)
 - 16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA DE SUCÇÃO: R\$ 25,92
 - 17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA DE SUCÇÃO: R\$ 0,00
-

TUBO - N°: 2

- 1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA DE SUCÇÃO: 96,00 (mm)
- 2) MATERIAL DA LINHA DE SUCÇÃO: PVC
- 3) RUGOSIDADE ADOTADA: 2,00E-02 (mm)
- 4) RUGOSIDADE RELATIVA: 2,08E-04 (adimensional)
- 5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 10,85 (R\$/m)
- 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE SUCÇÃO: 2,09 (m/s)
- 7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)
- 8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)
- 9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA DE SUCÇÃO: 198549,73 (adimensional)
- 10) FATOR DE ATRITO DA LINHA DE SUCÇÃO: 1,55E-02 (adimensional)
- 11) ESPESSURA DO FILME LAMINAR DA LINHA DE SUCÇÃO: 1,26E-01 (mm)
- 12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE SUCÇÃO: REGIME TURBULENTO LISO (NIKURADSE)
- 13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA DE SUCÇÃO: 0,16 (mca)
- 14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA DE SUCÇÃO: 0,09 (mca)
- 15) PERDA DE CARGA NA LINHA DE SUCÇÃO: 0,25 (mca)

16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA DE SUCÇÃO: R\$ 48,83

17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA DE SUCÇÃO: R\$ 0,00

TUBO - Nº: 3

1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA DE SUCÇÃO: 118,20 (mm)

2) MATERIAL DA LINHA DE SUCÇÃO: PVC

3) RUGOSIDADE ADOPTADA: 2,00E-02 (mm)

4) RUGOSIDADE RELATIVA: 1,69E-04 (adimensional)

5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 16,21 (R\$/m)

6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE SUCÇÃO: 1,38 (m/s)

7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)

8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)

9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA DE SUCÇÃO: 161258,66 (adimensional)

10) FATOR DE ATRITO DA LINHA DE SUCÇÃO: 1,61E-02 (adimensional)

11) ESPESURA DO FILME LAMINAR DA LINHA DE SUCÇÃO: 1,88E-01 (mm)

12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE SUCÇÃO: REGIME TURBULENTO LISO (NIKURADSE)

13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA DE SUCÇÃO: 0,06 (mca)

14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA DE SUCÇÃO: 0,08 (mca)

15) PERDA DE CARGA NA LINHA DE SUCÇÃO: 0,14 (mca)

16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA DE SUCÇÃO: R\$ 72,95

17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA DE SUCÇÃO: R\$ 0,00

TUBO - Nº: 4

1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA DE SUCÇÃO: 142,00 (mm)

2) MATERIAL DA LINHA DE SUCÇÃO: PVC

3) RUGOSIDADE ADOPTADA: 2,00E-02 (mm)

4) RUGOSIDADE RELATIVA: 1,41E-04 (adimensional)

5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 22,90 (R\$/m)

6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE SUCÇÃO: 0,95 (m/s)

7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)

- 8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: $1,01E-06$ (m^2/s)
 - 9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA DE SUCÇÃO: 134230,80 (adimensional)
 - 10) FATOR DE ATRITO DA LINHA DE SUCÇÃO: $1,67E-02$ (adimensional)
 - 11) ESPESSURA DO FILME LAMINAR DA LINHA DE SUCÇÃO: $2,66E-01$ (mm)
 - 12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE SUCÇÃO: REGIME TURBULENTO LISO (NIKURADSE)
 - 13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA DE SUCÇÃO: 0,02 (mca)
 - 14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA DE SUCÇÃO: 0,08 (mca)
 - 15) PERDA DE CARGA NA LINHA DE SUCÇÃO: 0,11 (mca)
 - 16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA DE SUCÇÃO: R\$ 103,05
 - 17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA DE SUCÇÃO: R\$ 0,00
-

TUBO - Nº: 5

- 1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA DE SUCÇÃO: 112,60 (mm)
- 2) MATERIAL DA LINHA DE SUCÇÃO: PVC
- 3) RUGOSIDADE ADOTADA: $2,00E-02$ (mm)
- 4) RUGOSIDADE RELATIVA: $1,78E-04$ (adimensional)
- 5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 12,21 (R\$/m)
- 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE SUCÇÃO: 1,52 (m/s)
- 7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 ($^{\circ}C$)
- 8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: $1,01E-06$ (m^2/s)
- 9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA DE SUCÇÃO: 169278,63 (adimensional)
- 10) FATOR DE ATRITO DA LINHA DE SUCÇÃO: $1,59E-02$ (adimensional)
- 11) ESPESSURA DO FILME LAMINAR DA LINHA DE SUCÇÃO: $1,71E-01$ (mm)
- 12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE SUCÇÃO: REGIME TURBULENTO LISO (NIKURADSE)
- 13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA DE SUCÇÃO: 0,07 (mca)
- 14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA DE SUCÇÃO: 0,08 (mca)
- 15) PERDA DE CARGA NA LINHA DE SUCÇÃO: 0,16 (mca)
- 16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA DE SUCÇÃO: R\$ 54,95
- 17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA DE SUCÇÃO: R\$ 0,00

TUBO - Nº: 6

- 1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA DE SUCÇÃO: 162,20 (mm)
- 2) MATERIAL DA LINHA DE SUCÇÃO: PVC
- 3) RUGOSIDADE ADOTADA: 2,00E-02 (mm)
- 4) RUGOSIDADE RELATIVA: 1,23E-04 (adimensional)
- 5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 25,40 (R\$/m)
- 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE SUCÇÃO: 0,73 (m/s)
- 7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)
- 8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)
- 9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA DE SUCÇÃO: 117514,02 (adimensional)
- 10) FATOR DE ATRITO DA LINHA DE SUCÇÃO: 1,71E-02 (adimensional)
- 11) ESPESURA DO FILME LAMINAR DA LINHA DE SUCÇÃO: 3,43E-01 (mm)
- 12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE SUCÇÃO: REGIME TURBULENTO LISO (NIKURADSE)
- 13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA DE SUCÇÃO: 0,01 (mca)
- 14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA DE SUCÇÃO: 0,08 (mca)
- 15) PERDA DE CARGA NA LINHA DE SUCÇÃO: 0,09 (mca)
- 16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA DE SUCÇÃO: R\$ 114,30
- 17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA DE SUCÇÃO: R\$ 0,00

TUBO - Nº: 7

- 1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA DE SUCÇÃO: 212,00 (mm)
- 2) MATERIAL DA LINHA DE SUCÇÃO: PVC
- 3) RUGOSIDADE ADOTADA: 2,00E-02 (mm)
- 4) RUGOSIDADE RELATIVA: 9,43E-05 (adimensional)
- 5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 42,54 (R\$/m)
- 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE SUCÇÃO: 0,43 (m/s)
- 7) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)
- 8) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)
- 9) NÚMERO DE REYNOLDS DA LINHA DE SUCÇÃO: 89909,31 (adimensional)

- 10) FATOR DE ATRITO DA LINHA DE SUCÇÃO: 1,80E-02 (adimensional)
 - 11) ESPESSURA DO FILME LAMINAR DA LINHA DE SUCÇÃO: 5,71E-01 (mm)
 - 12) CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO DA ÁGUA NA LINHA DE SUCÇÃO: REGIME TURBULENTO LISO (NIKURADSE)
 - 13) PERDA DE CARGA CONTÍNUA NA LINHA DE SUCÇÃO: 0,00 (mca)
 - 14) PERDA DE CARGA LOCALIZADA NA LINHA DE SUCÇÃO: 0,08 (mca)
 - 15) PERDA DE CARGA NA LINHA DE SUCÇÃO: 0,08 (mca)
 - 16) CUSTO DOS TUBOS DA LINHA DE SUCÇÃO: R\$ 191,43
 - 17) CUSTO DE INSTALAÇÃO DOS TUBOS DA LINHA DE SUCÇÃO: R\$ 0,00
-
-

7.6. Relatório do dimensionamento econômico ótimo do sistema de irrigação por aspersão convencional para 18 horas de funcionamento diário em baixa tensão

LINHAS E TUBOS DO SISTEMA

COMPOSIÇÃO - N°: 1

LINHA LATERAL

- 1) NÚMERO DA LINHA: 1
- 2) DIÂMETRO INTERNO: 71,50 (mm)
- 3) MATERIAL DA TUBULAÇÃO: PVC
- 4) PRESSÃO NA ENTRADA: 33,70 (mca)

LINHA PRINCIPAL

- 1) NÚMERO DA LINHA: 1
- 2) NÚMERO DO TUBO: 4
- 3) DIÂMETRO INTERNO: 111,80 (mm)
- 4) MATERIAL DA TUBULAÇÃO: PVC
- 5) ALTURA GEOMÉTRICA: 8,64 (m)
- 6) PERDA DE CARGA: 1,08 (mca)

LINHA PRINCIPAL

- 1) NÚMERO DA LINHA: 2

- 2) NÚMERO DO TUBO: 5
- 3) DIÂMETRO INTERNO: 161,20 (mm)
- 4) MATERIAL DA TUBULAÇÃO: PVC
- 5) ALTURA GEOMÉTRICA: 8,10 (m)
- 6) PERDA DE CARGA: 0,74 (mca)

LINHA DE RECALQUE

- 1) NÚMERO DA LINHA: 1
- 2) NÚMERO DO TUBO: 4
- 3) DIÂMETRO INTERNO: 138,00 (mm)
- 4) MATERIAL DA TUBULAÇÃO: PVC
- 5) ALTURA GEOMÉTRICA: 6,00 (m)
- 6) PERDA DE CARGA: 0,89 (mca)

LINHA DE SUCCÃO

- 1) NÚMERO DA LINHA: 1
- 2) NÚMERO DO TUBO: 6
- 3) DIÂMETRO INTERNO: 162,20 (mm)
- 4) MATERIAL DA TUBULAÇÃO: PVC
- 5) ALTURA GEOMÉTRICA: 2,00 (m)
- 6) PERDA DE CARGA: 0,09 (mca)

DADOS DA MOTOBOMBA:

- 1) TIPO DE BOMBA E FORMA DE INSTALAÇÃO: EIXO HORIZONTAL NÃO AFOGADA
- 2) DIÂMETRO DE ENTRADA (SUCCÃO): 50 (mm)
- 3) DIÂMETRO DE SAÍDA (RECALQUE): 40 (mm)
- 4) RENDIMENTO DA BOMBA: 0,65 (decimal)
- 5) RENDIMENTO DO MOTOR: 0,92 (decimal)
- 6) RENDIMENTO DA MOTOBOMBA: 0,60 (decimal)

MEMORIAL DE CÁLCULO - DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO

TENTATIVA DE DIMENSIONAMENTO - N°: 1

DADOS HIDRÁULICOS:

- 1) TEMPERATURA DA ÁGUA: 20,00 (°C)
- 2) DENSIDADE DA ÁGUA: 998,23 (kg/m³)
- 3) VISCOSIDADE CINEMÁTICA DA ÁGUA: 1,01E-06 (m²/s)
- 4) PRESSÃO DE VAPOR DA ÁGUA: 0,24 (mca)
- 5) ALTITUDE LOCAL: 553,00 (m)
- 6) PRESSÃO ATMOSFÉRICA LOCAL: 9,66 (mca)
- 7) NET POSITIVE SUCTION HEAD DISPONÍVEL (NPSHd): 6,72 (mca)
- 8) EQUAÇÃO DO NET POSITIVE SUCTION HEAD DISPONÍVEL: $NPSHd = 6,82 - 408,81 \cdot (Q \text{ (m}^3\text{/s)})^2$ (mca)
- 9) ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE: 9,81 (m/s²)
- 10) VAZÃO DA MOTOBOMBA: 1,51E-02 (m³/s)
- 11) ALTURA MANOMÉTRICA: 61,25 (m)
- 12) PRESSÃO NA ENTRADA DA ÁREA IRRIGADA: 52,27 (m)
- 13) EQUAÇÃO DA ALTURA MANOMÉTRICA DO SISTEMA: $H_{man} = 60,27 + 4303,71 \cdot (Q \text{ (m}^3\text{/s)})^2$ (m)
- 14) POTÊNCIA DE SAÍDA DA BOMBA: 12,32 (cv)
- 15) RENDIMENTO DA BOMBA: 0,65 (decimal)
- 16) POTÊNCIA DE ENTRADA DA BOMBA: 18,96 (cv)
- 17) POTÊNCIA DE SAÍDA DO MOTOR: 18,96 (cv)
- 18) POTÊNCIA NOMINAL DA MOTOBOMBA: 20,00 (cv)
- 19) RENDIMENTO DO MOTOR: 0,92 (decimal)
- 20) POTÊNCIA DE ENTRADA DO MOTOR: 15,17 (kW)
- 21) RENDIMENTO DA MOTOBOMBA: 0,60 (decimal)

DADOS OPERACIONAIS:

- 22) TEMPO DE FUNCIONAMENTO ANUAL NO HORÁRIO DE PONTA: 0,00 (horas)
- 23) TEMPO DE FUNCIONAMENTO ANUAL NO HORÁRIO FORA DE PONTA: 6570,00 (horas)
- 24) TEMPO TOTAL DE FUNCIONAMENTO ANUAL: 6570,00 (horas)
- 25) MODALIDADE TARIFÁRIA: CONSUMIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA EM BAIXA TENSÃO - TARIFA CONVENCIONAL

DADOS ECONÔMICOS:

ANÁLISE DOS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA:

- 26) CUSTO DAS TUBULAÇÕES: R\$ 9370,93
- 27) CUSTO DE INSTALAÇÃO DAS TUBULAÇÕES ENTERRADAS: R\$ 856,63

- 28) CUSTO DA MOTOBOMBA: R\$ 5910,90
- 29) CUSTO DE IMPLANTAÇÃO: R\$ 16138,46
- 30) PERCENTUAL DE JUROS ANUAL: 10,00
- 31) VIDA ÚTIL DO SISTEMA: 10,00 (anos)
- 32) FATOR DE RECUPERAÇÃO DE CAPITAL: 0,16 (decimal)

33) CUSTO DE IMPLANTAÇÃO ANUAL: R\$ 2626,46

ANÁLISE DOS CUSTOS DE OPERAÇÃO DO SISTEMA:

- 34) CUSTO ANUAL DA ENERGIA ELÉTRICA: R\$ 24295,42
- 35) CUSTO ANUAL DE MANUTENÇÃO: R\$ 322,77
- 36) CUSTO DE OPERAÇÃO ANUAL: R\$ 24618,19
- 37) CUSTO TOTAL ANUAL: R\$ 27244,65

BALANÇO FINAL:

- 38) CUSTO DE IMPLANTAÇÃO ANUAL: R\$ 2626,46
- 39) CUSTO DE OPERAÇÃO ANUAL: R\$ 24618,19
- 40) CUSTO TOTAL ANUAL: R\$ 27244,65
- 40) NÚMERO DA TENTATIVA COM MAIOR EFICIÊNCIA ECONÔMICA - N°: 1
- 41) MENOR CUSTO TOTAL ANUAL OBTIDO: R\$ 27244,65

