



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia - FAENG



DANILO DE MATTOS FLORES



Campo Grande, MS.

2025

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS E ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS**

DANILO DE MATTOS FLORES

**METODOLOGIA APRIMORADA DE
DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO E
HIDROENERGÉTICO EM RECALQUE**

Tese submetida ao Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul como requisito parcial a obtenção do título de Doutor em Tecnologias Ambientais em Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Veríssimo Gonçalves

Aprovada em: 19/11/2025

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Fábio Veríssimo Gonçalves
Orientador PGTA- UFMS

Prof. Dr. Carlos Nobuyoshi Ide
PGTA/UFMS

Prof. Dra. Keila Ferreira de Oliveira
PGTA/UFMS

Prof. Dr. Enio Arriero Shinma
FAENG/UFMS

Prof. Dr. Moacir Muniz Pereira Junior
FAENG/UFMS

**Campo Grande, MS.
2025**

DEDICATÓRIA

A minha mãe, Professora Alaide Brum de Mattos, por todo o apoio durante todas as fases da minha vida, mas em especial, durante o curso de Doutorado.

Aos meus irmãos, Ana Lucia, Luciana, Sibelle e André Luiz. Pela força, companheirismo e incentivo durante esta jornada.

Ao meu filho Vincenzo, por ser um jovem educado e esforçado, que estuda e pratica esportes.

EPÍGRAFE

“Só sei que nada sei.”

Socrátes

AGRADECIMENTOS

A Santíssima Trindade (Pai, Filho e Espírito Santo) e Ave Maria pela vida, saúde e proteção.

Ao professor, Dr. Fábio Veríssimo Gonçalves por toda ajuda e orientação durante o Doutorado.

Aos professores, Dr. Carlos Nobuyoshi Ide e Dr. Enio Arriero Shinma, pelas dicas e sugestões, que permitiram o enriquecimento científico deste trabalho.

A todos os professores do PGTA pela transmissão dos seus conhecimentos.

A minha família, pelo apoio, companheirismo e incentivo durante esta jornada.

Ao PGTA, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTA), da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

Ao Programa Qualifica pela oportunidade de cursar o Doutorado como servidor da UFMS.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS/MEC - Brasil.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO.....	8
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	9
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	24
4.1. Modelagem Hidráulica.....	24
4.1.1. Propriedades físicas da água.....	24
4.1.2. Consumo específico diário.....	25
4.1.3. Volume diário.....	25
4.1.4. Vazão de projeto.....	26
4.1.5. Equação de Bresse.....	26
4.1.6. Perda de carga contínua por Darcy-Weissbach.....	26
4.1.7. Número de Reynolds.....	27
4.1.8. Rugosidade absoluta.....	27
4.1.9. Rugosidade relativa.....	27
4.1.10. Fator de atrito de Swamee.....	28
4.1.11. Perda de carga contínua por Hazen-Williams.....	28
4.1.12. Coeficiente C.....	28
4.1.13. Perda de carga localizada pelo método do comprimento equivalente.....	29
4.1.14. Número de diâmetro das peças especiais.....	29
4.1.15. Perda de carga localizada pelo método direto.....	30
4.1.16. Coeficiente K das peças especiais.....	30
4.1.17. Tipo de bomba e forma de instalação.....	31
4.1.18. Altura manométrica do sistema.....	31
4.1.19. Equação da altura manométrica do sistema.....	32
4.1.20. Pressão atmosférica local.....	33
4.1.21. Net Positive Suction Head – NPSH.....	33
4.1.22. Dimensionamento da motobomba.....	35

4.1.23. Gráfico de pré-seleção da bomba.....	35
4.1.24. Curvas características da bomba.....	36
4.1.25. Ponto de operação do sistema.....	37
4.1.26. Potência de saída da bomba.....	38
4.1.27. Potência de entrada da bomba.....	39
4.2. Modelagem Elétrica.....	39
4.2.1. Potência nominal do motor.....	39
4.2.2. Carregamento do motor.....	40
4.2.3. Potência de entrada do motor.....	41
4.2.4. Rendimento da motobomba.....	42
4.2.5. Demanda de potência ativa do motor.....	42
4.2.6. Potência aparente do motor.....	42
4.2.7. Potência aparente do transformador em função do motor.....	42
4.2.8. Potência aparente de uma instalação.....	42
4.2.9. Fator de potência de uma instalação.....	43
4.2.10. Multa por demanda e consumo de reativo.....	43
4.2.11. Correção do fator de potência.....	44
4.2.12. Fatura mensal de energia elétrica.....	45
4.2.13. Consumo diário de energia.....	46
4.2.14. Energia diária gerada.....	46
4.2.15. Potência total dos painéis.....	46
4.2.16. Tempo de exposição.....	47
4.2.17. Quantidade de painéis.....	47
4.2.18. Potência do inversor.....	48
4.2.19. Capacidade mensal do sistema fotovoltaico.....	48
4.2.20. Economia mensal.....	48
4.2.21. Potência aparente do sistema fotovoltaico.....	49
4.2.22. Potência nominal do transformador em função do sistema fotovoltaico.....	49
4.3. Modelagem Econômica.....	49
4.3.1. Custo da tubulação da adutora.....	49
4.3.2. Custo da motobomba.....	50
4.3.3. Custo do inversor de frequência.....	51
4.3.4. Custo do banco de capacitores.....	52
4.3.5. Custo do posto de transformação de energia elétrica.....	52

4.3.6. Custo do sistema fotovoltaico.....	53
4.3.7. Custo da energia elétrica.....	54
4.3.8. Custo de implantação.....	54
4.3.9. Fator de recuperação de capital.....	55
4.3.10. Custo de implantação anual.....	55
4.3.11. Custo anual de manutenção.....	55
4.3.12. Custo de operação anual.....	55
4.3.13. Custo total anual.....	55
4.3.14. Valor presente.....	56
5. METODOLOGIA.....	57
5.1. Implementação da metodologia aprimorada no desenvolvimento do aplicativo computacional Supply.....	57
5.2. Metodologia para verificação das hipóteses.....	59
6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	61
6.1. Apresentação do aplicativo computacional Supply.....	61
6.2. Verificação das hipóteses.....	70
6.2.1. Primeiro projeto.....	71
6.2.2. Segundo projeto.....	76
6.2.3. Terceiro projeto.....	80
6.2.4. Resumo dos resultados.....	83
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
9. ANEXO.....	89
9.1. Memorial de cálculo do primeiro projeto obtido com o aplicativo computacional Supply.....	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Variação dos custos em função do diâmetro.....	2
Figura 2 - Gráfico de pré-seleção de bomba.....	36
Figura 3 - Curvas características da bomba.....	37
Figura 4 - Curva da bomba versus curva do sistema com registro de gaveta.....	38
Figura 5 - Curva da bomba com inversor de frequência versus curva do sistema.....	38
Figura 6 - Janela principal do Supply.....	61
Figura 7 - Janela propriedades físicas da água.....	62
Figura 8 - Janela pressão atmosférica local.....	63
Figura 9 - Janela faixa econômica de velocidades.....	63
Figura 10 - Janela parâmetros econômicos.....	64
Figura 11 - Janela parâmetros elétricos.....	64
Figura 12 - Janela custos de implantação.....	65
Figura 13 - Janela custos de operação.....	66
Figura 14 - Janela parâmetros do sistema fotovoltaico.....	67
Figura 15 - Janela tempos de operação.....	67
Figura 16 - Janela modelagem e composição do sistema.....	68
Figura 17 - Janela estimativa de consumo.....	69
Figura 18 - Janela dimensionamento econômico.....	70
Figura 19 - Curvas da bomba e dos sistemas testados no primeiro e segundo projetos.....	72
Figura 20 - Curvas da bomba e do sistema 6 no ponto de projeto.....	74
Figura 21 - Curvas da bomba e do sistema 13 no ponto de máximo rendimento.....	78
Figura 22 - Curvas da bomba e dos sistemas testados no terceiro projeto.....	81
Figura 23 - Curvas da bomba e do sistema 2 no ponto de projeto.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variação da densidade da água de acordo com sua temperatura.....	24
Tabela 2 - Variação da viscosidade cinemática da água de acordo com sua temperatura.....	25
Tabela 3 - Variação da pressão de vapor da água de acordo com sua temperatura.....	25
Tabela 4 - Consumo específico de água para algumas instalações prediais.....	25
Tabela 5 - Rugosidade absoluta de alguns materiais.....	27
Tabela 6 - Coeficiente C de alguns materiais.....	29
Tabela 7 - Número de diâmetro das peças especiais.....	30
Tabela 8 - Constante de perda de carga localizada de algumas peças especiais.....	31
Tabela 9 - Variação da pressão atmosférica com a altitude do local de instalação.....	33
Tabela 10. Potência nominal e fator de serviço em função do número de polos dos motores trifásicos de indução.....	40
Tabela 11 - Rendimento e fator de potência.....	41
Tabela 12 - Dados dos painéis solares.....	47
Tabela 13. Custo unitário dos tubos de PVC linha fixa.....	50
Tabela 14 - Custo unitário dos tubos de PVC linha DEFOFO.....	50
Tabela 15 - Custo da motobomba em função da potência.....	51
Tabela 16 - Custo do inversor de frequência em função da potência.....	51
Tabela 17 - Custo do banco de capacitores em função da potência reativa.....	52
Tabela 18 - Custo do posto de transformação em função da potência aparente.....	53
Tabela 19 - Custo do sistema fotovoltaico em função da capacidade mensal.....	53
Tabela 20 - Custo da energia elétrica.....	54
Tabela 21 - Descrição dos sistemas testados do primeiro e segundo projetos.....	71
Tabela 22 - Dados de operação dos sistemas testados do primeiro projeto.....	72
Tabela 23 - Dimensionamento econômico do primeiro projeto.....	73
Tabela 24 - Dados de operação dos sistemas testados do segundo projeto.....	77
Tabela 25 - Dimensionamento econômico do segundo projeto.....	77
Tabela 26 - Descrição dos sistemas testados do terceiro projeto.....	80
Tabela 27 - Dados de operação dos sistemas testados do terceiro projeto.....	81
Tabela 28 - Dimensionamento econômico do terceiro projeto.....	82

RESUMO

FLORES, D. M. (2025). Supply – Aplicativo computacional para o dimensionamento econômico de sistemas de recalque de água. 2025. 173 páginas. Tese – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Este trabalho apresenta uma metodologia para o dimensionamento econômico de sistemas de recalque de água que consomem energia elétrica da rede de concessionárias brasileiras. Essa metodologia foi incorporada no desenvolvimento em Visual Basic, de um aplicativo computacional específico para elaboração de projetos denominado Supply. A utilização de recursos computacionais para determinar a solução permite economizar tempo de planejamento, evitar erros de quantificação, simular condições distintas de implantação e operação e principalmente, enriquecer a modelagem do sistema. A modelagem hidráulica, elétrica e econômica do sistema foi aprimorada após uma minuciosa revisão de literatura sobre o tema. O dimensionamento é realizado pela análise de custos através do método das tentativas com o apoio da equação de Bresse, para orientar sobre os diâmetros que devem ser testados na adutora do sistema. A perda de carga do tipo contínua pode ser determinada tanto pela equação de Darcy-Weissbach, quanto pela equação de Hazen-Williams. A perda de carga localizada pode ser determinada pelo método do comprimento equivalente, pelo método direto, estimada sobre a perda de carga contínua ou desprezada. O diâmetro econômico para a adutora minimiza o custo total anual, composto pelos custos de implantação e operação, destacando-se o impacto da energia elétrica no orçamento. Dessa forma, técnicas alternativas de dimensionamento como a utilização de inversor de frequência, banco de capacitores e sistemas fotovoltaicos on-grid foram propostas para maximizar a eficiência econômica. Depois de desenvolvido, Supply foi utilizado para comprovar algumas hipóteses levantadas sobre a otimização do regime de operação dos sistemas de recalque de água e para determinar a viabilidade econômica do emprego das técnicas alternativas propostas para o dimensionamento econômico. As hipóteses levantadas analisaram a viabilidade do uso do inversor de frequência como dispositivo para selecionar o melhor ponto de operação do sistema, a utilização de banco de capacitores e sistema fotovoltaico on-grid para redução do custo de operação com energia elétrica, a conexão em média tensão de consumidores que podem ser conectados na rede de baixa tensão com a finalidade de reduzir custos, o aumento da vazão para reduzir o tempo de operação e aumentar a eficiência econômica de sistemas que estão operando de forma contínua. O aplicativo computacional Supply colaborou para a verificação e comprovação das hipóteses levantadas apresentando bom desempenho de funcionamento, dessa forma, concluiu-se que essa ferramenta pode colaborar de forma significativa para o incremento da eficiência econômica tanto de novos projetos, como na reforma de sistemas existentes. Auxiliando engenheiros, técnicos e acadêmicos na determinação da solução ótima e no uso racional dos insumos envolvidos.

Palavras-chave: Bombeamento de água, Projeto, Eficiência econômica, Energia solar, Fator de potência, Inversor de frequência.

ABSTRACT

This work presents a methodology for the economic sizing of water pumping systems powered by electricity from the Brazilian utility grid. The methodology was implemented in the development, of computer application, named Supply, using Visual Basic language. Employing computational resources to determine solutions saves planning time, prevents quantification errors, enables simulation of various implementation and operational scenarios, and, most importantly, enhances the system modeling. The hydraulic, electrical, and economic modeling of the system was refined following a comprehensive literature review on the subject. Sizing is performed through cost analysis using the trial-and-error method, guided by the Bresse equation to determine which pipeline diameters should be tested. Continuous head loss can be calculated using either the Darcy-Weissbach equation or the Hazen-Williams equation. Localized head loss can be determined using the equivalent length method, the direct method, estimation based on continuous head loss or may be neglected. The economic diameter for the pipeline is the one that minimizes the total annual cost, which comprises both implementation and operating expenses, with particular emphasis on the impact of electricity costs. To maximize economic efficiency alternative sizing techniques such as the use of frequency inverters, capacitor banks, and on-grid photovoltaic systems have been proposed. After its development, the Supply software was used to test several hypotheses raised regarding the optimization of the operational regime of water pumping systems and to assess the economic feasibility of the proposed alternative techniques. The hypotheses examined included the feasibility of using a frequency inverter to select the optimal operating point, the use of a capacitor bank and an on-grid photovoltaic system to reduce operating costs, the connection of medium-voltage consumers to the low-voltage grid to lower expenses, and increasing flow rates to reduce operating time and enhance the economic efficiency of continuously operating systems. The Supply application contributed to the validation of these hypotheses, demonstrating strong operational performance. It was concluded that this tool can significantly enhance the economic efficiency of both new projects and the renovation of existing systems, assisting engineers, technicians, and academics in determining optimal solutions and promoting the rational use of resources.

Keywords: Water pumping, Design, Economic efficiency, Solar energy, Power factor, Frequency inverter.

1. INTRODUÇÃO

A água é essencial para a vida e para o desenvolvimento sócio econômico da humanidade. A quantidade e qualidade desse recurso natural devem ser suficientes para atender à demanda imposta pela população (Justino & Nogueira, 2012; Junior & Pedreiro, 2023).

Normalmente, as fontes superficiais e subterrâneas de água se encontram em locais de cota inferior aos locais de consumo, o que impede o transporte do líquido por gravidade. Nesse caso, sistemas de recalque de água são utilizados para transferir energia para o líquido, a fim de superar a altura equivalente à soma do desnível com as perdas de carga do sistema (Porto, 2004 apud Flores, 2014a).

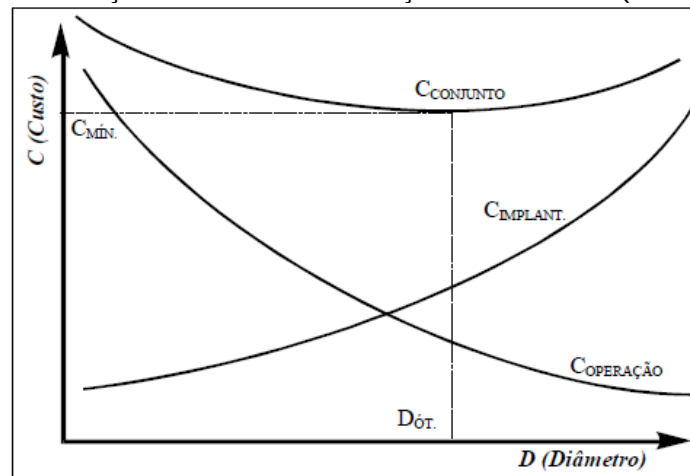
Os sistemas de recalque de água estão presentes em todos os segmentos da sociedade. Na área urbana em edifícios residenciais do tipo horizontal ou vertical, em edificações comerciais ou industriais e principalmente no abastecimento público de água. Na área rural, para o consumo humano, o dessedentamento animal e para irrigação de culturas (Flores et al., 2025).

O dimensionamento envolve muitos parâmetros, demanda vários cálculos e exige à consulta de catálogos de fabricantes que descrevem o desempenho de bombas e de motores. Dessa forma, o apoio computacional por meio de planilhas eletrônicas e aplicativos computacionais específicos, facilita a elaboração do projeto (Andrade & Carvalho, 2001; Zocoler et al., 2004; Flores, 2014a; Flores, 2014b; Geisenhoff et al., 2018; Cunha & Oliveira, 2021).

O dimensionamento de um conduto forçado pode apresentar várias soluções, para contornar esse problema, existem algumas alternativas práticas, como limitar o valor da perda de carga, trabalhar com uma velocidade de escoamento

recomendada ou utilizar um diâmetro padronizado. Entretanto, do ponto de vista econômico, o diâmetro ótimo é aquele que minimiza o custo total anual do sistema, composto pelos custos de implantação e operação (Gomes, 2001; Caldas et al., 2016; Martin et al., 2020; Kuritza et al., 2022). A figura 1 mostra a variação dos custos de implantação, operação e total em função do diâmetro.

Figura 1. Variação dos custos em função do diâmetro (Freire, 2000)



Os custos de implantação são os custos referentes à instalação do sistema como tubulação da adutora, motobomba, inversor de frequência, posto de transformação de energia elétrica, banco de capacitores e sistema fotovoltaico. O custo de operação são os custos referentes à energia elétrica e as manutenções (Geisenhoff et al., 2018; Flores et al., 2025).

O custo da energia elétrica depende do tempo operação do sistema e pode ter grande impacto no orçamento. Assim, compreender as normas e regras da ANEEL em conjunto com as concessionárias de energia, para o fornecimento, tarifação e geração de energia elétrica é fundamental para o dimensionamento econômico adequado do sistema (Flores et al., 2025). A necessidade do uso racional e sustentável desse recurso impulsionou avanços tecnológicos no setor e a criação de produtos como o

inversor de frequência, banco de capacitores e o sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica, que permitem incrementar tanto a eficiência energética, como a eficiência econômica, dos sistemas de recalque de água.

Os custos de implantação e operação ocorrem em períodos distintos de tempo, enquanto o custo de implantação ocorre totalmente na instalação do sistema, o custo de operação ocorre no decorrer da vida útil do mesmo e conforme seu regime de operação. Para serem somados, os custos de implantação e operação necessitam ser quantificados para o mesmo período de tempo, normalmente, 1 (um) ano. Isto é feito com o auxílio do fator de recuperação de capital, que multiplicado pelo custo de implantação resulta no custo de implantação anual. Dessa forma, o custo de operação anual é determinado para o mesmo período de tempo. A soma do custo de implantação anual, com o custo de operação anual, resulta no custo total anual (Andrade & Carvalho, 2001; Geisenhoff, 2018; Flores et al., 2025).

O custo de implantação e o custo de operação são antagônicos. Considerando de forma simplificada, que o custo de implantação é igual ao custo da tubulação da adutora e o custo de operação é igual ao custo da energia elétrica. Quando o diâmetro aumenta, o custo de implantação da tubulação tende a aumentar, mas por outro lado, diminui a perda de carga da tubulação, portanto, diminui o custo de operação com a energia elétrica. Ao contrário, quando o diâmetro diminui, o custo de implantação da tubulação tende a diminuir, mas por outro lado, aumenta a perda de carga da tubulação, portanto, aumenta o custo de operação com a energia elétrica (Freire, 2000; Gomes, 2001; Zocoler et al., 2004; Flores, 2014b; Geisenhoff et al., 2018).

O dimensionamento econômico de um sistema de recalque de água é uma matéria multidisciplinar que envolve no mínimo conceitos hidráulicos, elétricos e econômicos (Flores et al., 2025). Em tempos remotos, quando os cálculos eram

efetuados de forma manual, muitos métodos simplificados e práticos foram desenvolvidos, tanto para a modelagem econômica, como para a modelagem hidráulica e elétrica do sistema. Atualmente, o apoio computacional por meio de planilhas eletrônicas e softwares específicos para o dimensionamento de sistemas de recalque de água, facilitou a utilização de métodos mais complexos, porém mais adequados para modelagem do sistema.

Este trabalho apresenta uma metodologia para o dimensionamento econômico de sistemas de recalque de água que foi idealizada e aprimorada após minuciosa revisão de literatura sobre o tema. O dimensionamento econômico é realizado pela análise de custos através do método das tentativas com o apoio da equação de Bresse, utilizada para selecionar os diâmetros que devem ser testados na adutora do sistema, segundo a faixa econômica de escoamento da água em condutos forçados de 0,6 a 2,6 (m/s) (Caldas et al., 2016; Martin et al., 2020). A perda de carga contínua pode ser determinada pela equação de Darcy-Weissbach ou pela equação de Hazen-Williams. A perda de carga localizada pode ser determinada pelo método do comprimento equivalente, método direto, estimada sobre a perda de carga contínua ou desprezada. A metodologia permite testar vários tubos de diâmetros e material distintos para a adutora do sistema. Para cada tubo testado na adutora, equipamentos como motobomba, inversor de frequência, posto de transformação de energia elétrica, banco de capacitores e sistema fotovoltaico são dimensionados e seus respectivos custos são levantados. É possível definir a taxa de juros anual e o tempo de vida útil do sistema para a determinação do fator de recuperação de capital e do payback com desconto. E também, o percentual sobre o custo de implantação para determinação do custo anual de manutenção. Na metodologia apresentada o custo da energia elétrica é determinado após análise tarifária para determinar qual tarifa é a mais econômica. Sendo possível também,

corrigir o fator de potência da motobomba através da instalação de banco de capacitores em paralelo com o motor, evitando multas na fatura de energia elétrica pelo excesso de consumo de energia reativa, diminuindo as perdas por efeito Joule nos condutores e a queda de tensão do circuito elétrico. Com a utilização do inversor de frequência é possível regular o ponto de funcionamento do sistema e o respectivo rendimento da bomba, colaborando para a economia de energia elétrica. Outro sistema previsto na metodologia é o fotovoltaico on-grid, é possível definir a quantidade da energia gerada em relação à energia consumida. O sistema fotovoltaico on-grid funciona em paralelo com a rede elétrica convencional, injetando potência ativa na rede elétrica da unidade consumidora, que se não for consumida de imediato, é direcionado para a rede da concessionária e gera créditos a ser debitado no horário de consumo da carga da unidade consumidora quando o sistema fotovoltaico não está funcionando por falta de irradiação solar.

A metodologia descrita anteriormente foi incorporada no desenvolvimento em Visual Basic de um aplicativo computacional específico para o dimensionamento econômico de projetos de sistemas de recalque de água denominado Supply. Construindo com a finalidade de servir de ferramenta de apoio para engenheiros, técnicos e acadêmicos na elaboração de novos projetos ou na reforma de sistemas existentes. O apoio computacional além de permitir enriquecer a modelagem do sistema, também agrega outros benefícios como, reduz o tempo de planejamento e a possibilidade de erros de quantificação e facilita a simulação de condições distintas de implantação e operação do sistema.

Após ser desenvolvido, Supply foi utilizado para comprovar algumas hipóteses levantadas sobre a otimização do regime de operação dos sistemas de recalque de água e para determinar a viabilidade econômica do emprego das técnicas alternativas

propostas para o dimensionamento econômico. As hipóteses levantadas analisaram a viabilidade do uso do inversor de frequência como dispositivo para selecionar o melhor ponto de operação do sistema, a utilização de banco de capacitores e sistema fotovoltaico on-grid para redução do custo de operação com energia elétrica, a conexão em média tensão de consumidores que podem ser conectados na rede de baixa tensão com a finalidade de reduzir custos, o aumento da vazão para reduzir o tempo de operação e aumentar a eficiência econômica de sistemas que estão operando de forma contínua. O aplicativo computacional Supply colaborou para a verificação e comprovação das hipóteses levantadas apresentando bom desempenho de funcionamento.

O uso racional da energia elétrica por meio da utilização de novas tecnologias como o inversor de frequência e banco de capacitores. E o emprego de uma fonte limpa e renovável para geração desse recurso, através de sistema fotovoltaico on-grid. Ambas as ações, colaboram para o incremento da eficiência econômica dos sistemas de recalque de água. Mas, acima de tudo, com a sustentabilidade e preservação do meio ambiente, com a redução do efeito estufa e das emissões de dióxido de carbono e do desmatamento e inundação de áreas naturais. Portanto, o aplicativo computacional Supply, contribui de forma significativa com a linha de pesquisa na área de recursos hídricos, mais especificamente com a subárea modelagem de sistemas do programa de pós-graduação em tecnologias ambientais.

Supply se mostrou ser uma ferramenta de auxílio robusta, moderna e inovadora destinada à elaboração de novos projetos ou reformas de sistemas existentes. Que contempla a utilização de novas tecnologias disponíveis no mercado como o inversor de frequência, o banco de capacitores e a geração fotovoltaica on-grid. Colaborando com a viabilidade econômica e com o incremento da eficiência energética

dos sistemas de bombeamento de água. E, conseqüentemente, com a sustentabilidade e preservação do meio ambiente. Podendo ser utilizado no planejamento e na simulação de condições distintas de implantação e operação do sistema, tanto para apoiar o ensino e a pesquisa, como no desempenho da função de profissionais da área.

2. OBJETIVO

Aprimorar a metodologia de dimensionamento econômico para criar um aplicativo computacional que auxilie na elaboração de projetos de sistemas de recalque de água, integrando tecnologias como inversor de frequência, banco de capacitores e sistema fotovoltaico on-grid. A intenção é otimizar a eficiência econômica e energética desses sistemas, incentivando o uso racional da energia elétrica e contribuindo para a sustentabilidade e preservação do meio ambiente.

3. REVISÃO DE LITERATURA

O aproveitamento de fontes superficiais e subterrâneas de água que se encontra em cota inferior a cota do local de consumo só é possível por meio de um sistema de recalque de água (Justino & Nogueira, 2012; Junior & Pedreiro, 2023).

A bomba é acionada por um motor elétrico e transfere energia para a água superar o desnível e as perdas de carga. A parte móvel da bomba é o rotor, responsável por transferir energia cinética para o líquido e gerar uma região de baixa pressão na entrada da bomba. A parte fixa é o difusor, responsável por transformar a energia cinética em pressão na saída da bomba. A pressão atmosférica local tem um papel importante no funcionamento da bomba, a mesma é responsável por empurrar a água pra dentro da bomba quando o rotor cria uma região de baixa pressão na entrada da bomba. A pressão atmosférica no nível do mar tem 10,33 m de coluna de água, observa-se que esse seria o maior valor de desnível entre a fonte e a entrada da bomba numa situação ideal para que ainda ocorra o recalque, na prática, essa altura é menor devido às perdas de carga e ao fenômeno da cavitação (Flores, 2014a; Flores, 2014b).

Para captação superficial, a bomba deve ser instalada o mais próximo possível da fonte a ser captada, esse tipo de instalação possui tanto tubulação de sucção, como de recalque. Para captação subterrânea, a bomba é instalada de forma submersa, ou seja, debaixo do nível dinâmico de água do poço, esse tipo de instalação possui apenas tubulação de recalque. A tubulação a montante da bomba, somente para os casos de captação superficial, é denominada tubulação de sucção e deve ter pequeno comprimento e um baixo desnível. A tubulação a jusante da bomba é denominada tubulação de recalque ou simplesmente adutora, normalmente, a adutora possui grande comprimento e um alto desnível (Flores, 2014a; Flores, 2014b).

Basicamente o dimensionamento de um sistema de recalque de água consiste em determinar os diâmetros das tubulações de recalque e sucção e a potência nominal da motobomba. Para isso é necessário determinar a vazão e a altura manométrica do sistema (Biscaro, 2009; Mantovani et al., 2009; Justino & Nogueira, 2012). A altura manométrica é o somatório das alturas equivalentes ao desnível existente entre a captação e o ponto de utilização, as perdas de carga do tipo contínua e do tipo localizada das tubulações e a pressão adicional na saída do sistema, quando necessário para acionar algum equipamento ou um conjunto de dispositivos para distribuição e/ou uso final da água (Andrade & Carvalho, 2000).

A perda de carga é a resistência que o líquido apresenta contra o escoamento, devido ao contato do fluido com ele próprio e com as paredes da tubulação e é representada por uma altura equivalente a perda de energia por calor (Andrade & Carvalho, 2001). As perdas de carga são de dois tipos, as contínuas, que ocorrem em trechos retilíneos de tubulação e as localizadas, que ocorrem nas peças especiais como curvas, válvulas, registros e outros acessórios de tubulação (Azevedo Netto & Fernández, 2018).

Para determinar a perda de carga contínua existem várias equações que podem ser utilizadas. Mas as mais utilizadas são a equação de Darcy-Weissbach e a equação de Hazen-Williams. Muitos autores utilizam a equação de Darcy-Weissbach, e explicam que a mesma é mais adequada para determinar a perda de carga contínua, por possuir um fator de atrito dinâmico as variações de temperatura e de velocidade de escoamento da água, porém de difícil determinação (Freire, 2000; Andrade & Carvalho, 2000; Gomes, 2001; Robaina et al., 2004; Zocoler et al., 2004; Justino & Nogueira, 2012; Flores, 2014a; Flores, 2014b; Geisenhoff et al., 2018; Martim et al., 2020; Flores et al., 2025). Outros autores recomendam a utilização da equação de Hazen-Williams

que é conhecida por ter um fator de atrito constante e, portanto, ser de uso mais simples (Bernardo et al., 2008; Biscaro, 2009; Mantovani et al., 2009; Perroni et al., 2011; Caldas et al., 2016; Pimenta et al., 2019; Kuritza et al., 2022).

Em tempos remotos o fator de atrito da equação de Darcy-Weissbach era determinado pelo uso de ábacos em função do número de Reynolds e da rugosidade absoluta. Atualmente existem equações para determinar o fator de atrito, algumas delas dependem do regime de escoamento da água para ser utilizada e algumas ainda podem demandar um processo iterativo para determinar a solução, como é o caso da equação de Colebrook-White, utilizada para o regime turbulento de transição. Entretanto, existe a equação de Swamee, conhecida por poder ser utilizada para qualquer regime de escoamento da água, tanto laminar, como turbulento. Quando comparada com as equações específicas para determinado regime de escoamento da água, a equação de Swamee sobredimensiona o fator de atrito, principalmente, quando o regime é turbulento liso ou de transição (Andrade & Carvalho, 2001b; Flores et al., 2021). No entanto, com o tempo de utilização o fator de atrito de uma tubulação aumenta devida incrustação de outros materiais em suas paredes.

Considerando a equação de Darcy-Weissbach para determinação de perda de carga contínua, a perda de carga é proporcional ao fator de atrito e ao comprimento e inversamente proporcional a quinta potência do diâmetro, sendo também, proporcional ao quadrado da vazão (Azevedo Netto & Fernández, 2018).

Quanto à perda de carga localizada, alguns autores recomendam a utilização do método do comprimento equivalente (Andrade & Carvalho, 2001a; Justino & Nogueira, 2012; Cunha & Oliveira, 2004; Flores et al., 2025). Outros recomendam a utilização do método direto (Freire, 2000; Gomes, 2001; Flores, 2014a; Flores, 2014b; Geisenhoff et al., 2018). Existem aqueles que estimam a perda de carga localizada em relação à perda

de carga contínua ou desprezam (Zocoler et al., 2004; Bernardo et al., 2008; Biscaro, 2009; Mantovani et al., 2009; Perroni et al., 2011; Junior & Pedreiro, 2012; Caldas et al., 2016; Pimenta et al., 2019; Martim et al., 2020; Kuritza et al., 2022). Estimar ou desprezar a perda de carga de tubulações de sucção, no caso de motobombas para captação superficial, pode distorcer o valor real do NPSH disponível e gerar problemas de cavitação. Devido ao problema da cavitação, se tem como praxe no desenvolvimento de projetos com motobomba para captação superficial instalada de forma não afogada, dimensionar o diâmetro de recalque e adotar um valor nominal acima para o diâmetro de sucção.

A cavitação é a passagem da água do estado líquido para o estado gasoso mantendo a temperatura constante e variando a pressão. Quanto se retira pressão da superfície livre do líquido, o mesmo evapora em temperaturas mais baixas. A cavitação ocorre quando a pressão na entrada da bomba é menor ou igual à pressão de vapor do líquido. Esse fenômeno provoca queda de rendimento na bomba e reduz consideravelmente sua vida útil, além de provocar vibração e ruído anormais durante seu funcionamento. Para que não ocorra cavitação, o NPSH disponível do sistema deve ser igual ou maior que o NPSH requerido pela bomba (Andrade & Carvalho, 2001a).

Para cada tubulação testada no sistema é possível obter uma equação quadrática em função da vazão que representa a altura manométrica do sistema, essa equação tem concavidade para baixo, pois a perda de carga aumenta com o quadrado da vazão e consequentemente a altura manométrica também (Flores, 2014a; Flores, 2014b). Com a determinação da vazão e altura manométrica de projeto do sistema, realiza-se a consulta pelo catálogo do fabricante da bomba a ser utilizada (Andrade & Carvalho, 2001a; Justino & Nogueira, 2012). Cada bomba possui um conjunto de curvas características que retratam o seu desempenho de funcionamento, como a curva da altura manométrica

da bomba em função da vazão, a curva do NPSH requerido pela bomba em função da vazão e a curva do rendimento da bomba em função da vazão. Todas as curvas da bomba podem ser representadas por equações quadráticas em função da vazão, a curva da altura manométrica da bomba em função da vazão tem concavidade para cima.

O ponto de intersecção da curva da altura manométrica do sistema com a curva da altura manométrica da bomba define o ponto de operação do sistema. Dessa forma, ficam definidos a vazão e altura manométrica de operação e outros parâmetros podem ser determinados como rendimento da bomba, NPSH requerido pela bomba e disponível pelo sistema e as potências de saída e entrada da bomba, todos em função da vazão de operação (Flores et al., 2025).

É possível regular a vazão de um sistema em funcionamento por um registro, porém este processo dissipa energia ao aumentar a perda de carga localizada. Alternativas para o controle da vazão sem dissipação de energia e usar ou trocar o rotor da bomba ou regular a velocidade de rotação da bomba, essas alternativas modificam a curva da altura manométrica da bomba em função da vazão. Segundo as equações de similaridade de Rautex para a bomba, a vazão da bomba é proporcional à velocidade de rotação. Assim como, a altura manométrica da bomba é proporcional ao quadrado da velocidade de rotação (Corgozinho et al., 2016). Variar o diâmetro do rotor tem o mesmo efeito que variar a velocidade de rotação.

A potência de entrada e saída da bomba e do motor é proporcional ao produto da vazão pela altura manométrica. A potência de entrada da bomba é igual à potência de saída do motor. A potência nominal do motor é igual à potência disponível em seu eixo para acionar cargas mecânicas, portanto, a mesma deve ser maior ou igual à potência de entrada da bomba (Flores, 2014a; Flores, 2014b).

Alguns autores recomendam adicionar folga na potência de saída de motores (Perroni et al., 2011; Justino & Nogueira, 2012). Esse procedimento provoca queda no rendimento da máquina e apesar de não influenciar tanto no consumo de energia elétrica, acaba gerando custos maiores com o motor e todos os itens da instalação, devido ao aumento da potência nominal necessária (Filho et al., 2010). Observa-se que o fator de potência é reduzido de forma significativa com o emprego desse procedimento, ocasionando multa ou banco de capacitores, de valor mais elevado.

Trocar um motor normal por um motor de alto rendimento na elaboração do projeto é cada vez mais viável economicamente, conforme se aumenta o tempo de operação diário do sistema. Considerando que o motor de alto rendimento custa 1,5 vezes o valor do motor normal e opera 24 horas por dia, para uma taxa de juros anual de 12% e a vida útil do motor igual há 20 anos, o payback com desconto é de 3 anos. O valor presente acumulado no final do período é mais que o dobro do investimento, sendo suficiente para pagar 70% do custo de um motor novo de alto rendimento.

A relação entre a potência de entrada da bomba e a potência nominal do motor retrata o seu carregamento percentual. Em função do carregamento percentual, conforme o número de polos do motor e por meio do catálogo de desempenho do fabricante obtém-se o rendimento e o fator de potência da máquina. Esses últimos parâmetros são fundamentais para determinar as potências do tipo ativa, reativa e aparente de entrada do motor. E também, para determinar o consumo de energia, a fatura de energia, o tipo de fornecimento, dimensionar o banco de capacitores para evitar multa na fatura de energia por excesso de consumo de energia reativa e para dimensionar o sistema fotovoltaico on-grid (Flores et al., 2025).

Quanto ao método para dimensionamento da tubulação da adutora, devido ao fato de que o método mais adequado demanda muitos cálculos, vários

métodos foram desenvolvidos para determinação do diâmetro da adutora. Alguns autores utilizam a equação da ABNT NBR 5626 (Justino & Nogueira, 2012; Cunha & Oliveira, 2021). Outros autores recomendam a utilização de uma velocidade recomendada para o escoamento da água, o que é equivalente ao uso da equação de Bresse (Bernardo et al., 2008; Biscaro, 2009; Mantovani et al., 2009; Junior & Pedreiro, 2023).

Entretanto, os sistemas de recalque de água devem ser dimensionados de forma econômica, para que os custos provenientes da sua implantação e operação não inviabilizem sua utilização. O diâmetro ótimo ou econômico é aquele que minimiza o custo total, composto pelos custos de implantação e operação (Freire, 2000; Gomes, 2001; Andrade & Carvalho, 2001a; Robaina et al., 2004; Zocoler et al., 2004; Perroni et al., 2011; Flores, 2014a; Flores, 2014b; Caldas et al., 2016; Geisenhoff et al., 2018; Pimenta et al., 2019; Martim et al., 2020; Kuritza et al., 2022; Flores et al., 2025). Muitos autores consideram os custos de forma simplificada, ou seja, o custo da tubulação da adutora igual ao custo de implantação e o custo da energia elétrica igual ao custo de operação e igualam à derivada do custo total em relação ao diâmetro a zero. Obtendo uma equação para determinar o diâmetro econômico de forma direta ou por um processo iterativo (Freire, 2000; Gomes, 2001; Martim et al., 2020).

Outros autores utilizam o método mais adequado, porém de quantificação mais trabalhosa, ou seja, o método da análise de custos através do método das tentativas (Andrade & Carvalho, 2001a; Perroni et al., 2011; Flores, 2014a; Flores, 2014b; Caldas et al., 2016; Geisenhoff et al., 2018; Kuritza et al., 2022; Flores et al., 2025). Nesse método vários diâmetros são testados na adutora do sistema. Para cada diâmetro testado os custos de implantação e operação são levantados. Ao final, o diâmetro ótimo ou econômico é aquele que minimiza o custo total. Comparando o método da derivada do

custo total em relação ao diâmetro, com a análise de custos através do método das tentativas, o último, além de apresentar o custo do sistema com a solução, também evita a utilização de aproximações e estimativas para os parâmetros como custo da tubulação, rendimento da bomba, rendimento do motor e do custo da energia elétrica.

De todos os custos envolvidos, a energia elétrica tem grande impacto no orçamento, cerca de 80% para sistemas que operam acima de 12 horas por dia. Dessa forma, compreender as normas e regras da ANEEL em conjunto com as concessionárias em relação ao fornecimento, tarifação e geração de energia elétrica é de suma importância para o dimensionamento econômico adequado do sistema (Flores et al., 2025).

De acordo com a RN 1000 da ANEEL, os consumidores de energia elétrica são divididos em dois grupos principais: o Grupo B, que compreende unidades consumidoras com potência instalada inferior a 75 kW conectadas à rede secundária de baixa tensão e faturadas sob uma tarifa monômnia baseada unicamente no consumo de energia, sendo que para esses consumidores a transformação de energia é realizada por equipamentos da rede pública; e o Grupo A, que inclui unidades consumidoras com potência instalada superior a 75 kW conectadas à rede primária de média ou alta tensão, para as quais se aplica uma tarifa binômnia que considera tanto o consumo quanto a demanda de energia elétrica, exigindo que os consumidores desse grupo invistam e adquiram um transformador particular para suas instalações.

As modalidades tarifárias variam conforme o grupo de consumidores, influenciando diretamente a estrutura de custos. Para consumidores do Grupo B, conforme a RN 1000 da ANEEL, existem duas modalidades: a Modalidade Tarifária Convencional, que se caracteriza por um preço único para o consumo de energia elétrica, independentemente do horário de utilização; e a Modalidade Tarifária Branca,

que apresenta preços diferentes para a energia elétrica consumida, dividindo o período em horário fora de ponta, horário intermediário e horário de ponta.

Para os consumidores do Grupo A, também segundo a RN 1000 da ANEEL, há a Modalidade Tarifária Verde, que define um único valor de demanda a ser contratada sem variação do horário de utilização, mas com valores para o consumo de energia elétrica que divergem entre o horário fora de ponta e o horário de ponta. A Modalidade Tarifária Azul, por sua vez, apresenta valores distintos tanto para a demanda a ser contratada quanto para o consumo de energia elétrica, nos horários fora de ponta e de ponta. É importante destacar que a demanda mínima a ser contratada para consumidores do Grupo A é de 30 kW, independentemente do horário. No entanto, consumidores do Grupo A com transformador de até 112,5 kVA têm a opção de serem tarifados na modalidade de baixa tensão, sendo enquadrados no Grupo B.

No estado de Mato Grosso do Sul, a distribuidora de energia elétrica estabelece o horário de ponta de segunda a sexta-feira entre 18:00 e 21:00 horas. O horário intermediário compreende o período de uma hora antes e uma hora depois do horário de ponta, enquanto o restante do período é classificado como horário fora de ponta. Aos sábados, domingos e feriados nacionais, tanto para consumidores do Grupo A quanto do Grupo B, todo o período é considerado horário fora de ponta. Não há horário intermediário para consumidores do Grupo A, apenas horário de ponta e o restante é classificado como horário fora de ponta.

Alguns tipos de cargas, como os motores de indução trifásicos empregados em bombas centrífugas, são consideradas especiais. Durante a partida, esses motores podem drenar até 10 vezes o valor de sua corrente nominal. Esse transitório de partida, dependendo da potência do motor, pode ser interpretado como um curto-circuito pelas demais cargas conectadas em paralelo, provocando quedas de

tensão acentuada que podem comprometer o funcionamento normal das instalações elétricas. Conforme as normas NDU 001 e NDU 002 da Energisa, motores de indução trifásicos com potência superior a 30 cv não podem ser conectados à rede secundária de baixa tensão. Além disso, motores com potência igual ou superior a 5 cv devem possuir partida compensada por um dispositivo que reduza e varie sua tensão inicial de alimentação.

Deve se dar preferência para motores de indução trifásicos ao invés de monofásicos. O motor trifásico é de construção mais simples, sendo, portanto, mais robusto. Além disso, distribuem a potência total de forma equilibrada entre as fases e para a mesma potência resulta em uma corrente elétrica de módulo menor. O limite de potência para ligação de motores monofásicos na rede de baixa tensão é bem menor do que o limite para motores trifásicos (Flores, 2014a; Flores, 2014b).

Os inversores de frequência representam uma solução ideal para o controle de motobombas, atuando como dispositivos de partida, operação e parada. Eles permitem a redução dos transitórios elétricos de partida (corrente de partida) e dos transitórios hidráulicos de parada (golpe de aríete) por meio da função rampa. Esta função possibilita a aceleração e desaceleração gradual do motor, com variação linear da frequência aplicada ao longo de um determinado período de tempo (Alves & Filho, 2020). Além disso, o inversor de frequência permite a variação da velocidade de rotação da bomba, alterando sua curva característica e proporcionando economia de energia elétrica ao reduzir a vazão, diferentemente do uso de registros de gaveta. A variação da velocidade de rotação deve ser mantida entre 70% e 120% da velocidade nominal (Kuritza et al., 2022).

No abastecimento público de água pode ser mais racional em termos de consumo de energia, utilizar o inversor de frequência para regular a vazão e a pressão da

rede do que utilizar reservatório de montante ou jusante, porém, quando falta energia elétrica se interrompe o fornecimento de água (Alexandre et al., 2021). O inversor de frequência é uma ótima opção para o controle da velocidade de motores trifásicos de indução, o consumo de energia elétrica do motor é proporcional à velocidade de rotação (Brito et al., 2007). A utilização do inversor de frequência proporciona economia no consumo de energia elétrica, tanto na partida com frequência reduzida, como em regime permanente, com velocidade de rotação menor que a nominal (Alves & Filho, 2020).

Consumidores dos Grupos A e B podem implementar sistemas fotovoltaicos para a produção de energia elétrica, conforme a RN 1059 da ANEEL. Para consumidores do Grupo A, o faturamento considera a demanda contratada e a diferença entre a energia consumida e a gerada. Já para consumidores do Grupo B, o cálculo se baseia na diferença entre a energia consumida e gerada; no entanto, se essa diferença for inferior ao custo de disponibilidade, o consumidor pagará no mínimo esse custo. O custo de disponibilidade é definido em 30 kWh para consumidores monofásicos, 50 kWh para bifásicos e 100 kWh para trifásicos, na modalidade convencional. A geração de energia não necessita ocorrer no mesmo local de consumo, mas deve estar dentro da área de atuação da distribuidora local.

Consumidores dos Grupos A e B podem instalar sistemas fotovoltaicos com capacidade de geração equivalente ao consumo da instalação, conforme as Normas de Distribuição Unificada NDU 013 e NDU 015 da Energisa. Para tanto, o consumidor deve instalar o sistema fotovoltaico, bem como seus dispositivos de manobra e proteção em conformidade com as normas técnicas da distribuidora. A distribuidora irá instalar o medidor bidirecional na entrada de serviço da unidade consumidora e fazer ajustes em sua rede elétrica se necessário.

Um sistema fotovoltaico é tipicamente composto por painéis fotovoltaicos, um inversor que converte corrente contínua em corrente alternada, e por dispositivos de manobra e proteção. Geralmente, esses sistemas produzem energia elétrica em baixa tensão, e a produção é diretamente proporcional ao número de painéis instalados. A eficiência máxima de um painel, que se aproxima de 16%, é otimizada quando os painéis são instalados com orientação para o norte geográfico e uma inclinação igual à latitude local. As vantagens da utilização de sistemas fotovoltaicos estão no fato de serem uma fonte de energia limpa, silenciosa, renovável e que não agride o meio ambiente. No entanto, as desvantagens incluem o elevado investimento inicial e a dependência da irradiação solar (Pereira, 2021; Santiago & Sowmy, 2022).

Os sistemas fotovoltaicos são modulares e permitem a inclusão de múltiplos inversores e painéis solares. Essa característica possibilita a expansão da instalação a qualquer momento sem a perda do investimento inicial. Tanto o inversor quanto os painéis devem possuir certificação pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) e estar em conformidade com normas internacionais. O inversor, em particular, deve ser projetado para operação em paralelo com a rede elétrica convencional, apresentar fator de potência unitário e apresentar, no mínimo, todas as funções de proteção contra geração fora dos níveis de tensão e frequência exigidos pelas normas, interrompendo a geração em caso de interrupção no fornecimento de energia da rede convencional. Fabricantes normalmente oferecem garantia contra defeitos de fabricação de 10 anos para o inversor e de 20 a 25 anos para os painéis fotovoltaicos. Vale ressaltar que os painéis fotovoltaicos perdem eficiência ao longo do tempo de utilização, alcançando, em média, 80% da eficiência inicial ao final de sua vida útil.

Um parâmetro importante é a irradiação solar diária, que representa o tempo de exposição ou HSP (hora sol pico). O produto do HSP por 1 kW/m^2 representa toda a energia por unidade de área irradiada pelo sol durante um dia. A média anual desse parâmetro é utilizado no dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos e pode ser obtida em função das coordenada de latitude e longitude de um determinado local pelo Global Solar Atlas ou mais especificamente para o Brasil, pelo site do Cresesb através do programa SunData (Santiago & Sowmy, 2022; Oliveira & Perciche, 2024).

A instalação de sistemas fotovoltaicos on-grid no Brasil teve crescimento exponencial nos últimos anos, o fator de incentivo é o custo alto das tarifas de energia elétrica (Rodrigues et al., 2022; Cordeiro & Couceiro, 2024). A utilização de sistemas fotovoltaicos contribui para redução do efeito estufa, pois diminui a emissão de dióxido de carbono, seja pela redução da queima de combustíveis fósseis para geração de energia, ou pela redução do desmatamento e inundação de áreas naturais pela necessidade de extração de recursos naturais ou a construção de hidroelétricas e termoeletricas. Colaborando de forma significativa com a sustentabilidade e preservação do meio ambiente (Oliveira & Perbiche, 2025).

Outro parâmetro de suma importância é o fator de potência, que deve ser mantido acima de 0,92, conforme estabelecido pela RN 1000 da ANEEL. Motores de indução operam com um fator de potência inferior a 0,92, e a instalação de sistemas fotovoltaicos tende a reduzir ainda mais esse valor na instalação. A correção do fator de potência para valores iguais ou superiores a 0,92 não apenas aprimora a eficiência energética da instalação, mas também previne a aplicação de multas na fatura de energia elétrica por excesso de energia reativa para consumidores conectados em média ou alta tensão do Grupo A, mesmo que optem pela tarifação do Grupo B.

As instalações elétricas frequentemente exibem um fator de potência indutivo, resultante da presença de máquinas que contêm bobinas, como transformadores e motores. Embora essa energia seja essencial para o funcionamento desses dispositivos, ela não realiza trabalho útil, apenas circula entre a fonte e a carga, ocupando capacidade que poderia ser utilizada para fornecer energia ativa. A energia reativa não precisa ser fornecida pela rede da distribuidora, podendo ser gerada internamente em uma instalação elétrica por meio de um banco de capacitores. O fator de potência pode ser corrigido com a instalação de um banco de capacitores em paralelo com o motor de indução trifásico (Santos & Tateoki, 2024). O fator de potência pode variar entre zero e um, classificando-se como indutivo ou capacitivo. A ANEEL fixa em 0,92 o valor mínimo do fator de potência que uma instalação alimentada em média ou alta tensão pode apresentar (RN 1000 ANEEL). No Estado do Mato Grosso do Sul, a distribuidora Energisa aplica cobrança de multa se o fator de potência for inferior a 0,92 capacitivo no período das 00:00 às 06:00, ou inferior a 0,92 indutivo no restante do dia.

Com a instalação de um banco de capacitores automático, pesquisadores conseguiram elevar o fator de potência de uma indústria de 0,78 para 0,96, reduzindo em 80% a energia reativa, 15% a demanda contratada e 10% a energia consumida (Lima Netto & Reis, 2025).

A instalação de sistema fotovoltaico provoca queda do fator de potência da instalação nos horários de irradiação solar quando ocorre a produção de energia elétrica ativa. O sistema fotovoltaico é instalado em paralelo com as cargas no quadro de distribuição da instalação, a potência ativa produzida pelo sistema fotovoltaico deixa de ser registrada pelo medidor na entrada de serviço da unidade consumidora. Porém, a energia reativa continua sendo registrada de forma integral, o que resulta em uma queda no fator de potência medido (Schmidt et al., 2020; Clemente et al., 2022). O fator de

potência baixo de uma instalação prejudica a rede da concessionária, reduz a eficiência energética da instalação e degrada a qualidade da energia elétrica com o aumento da queda de tensão. No entanto, somente consumidores do grupo A são multados na fatura de energia elétrica se for identificado um fator de potência horário menor que 0,92 (Santos et al., 2025). Na instalação de sistemas fotovoltaicos o fator de potência deve ser corrigido para a unidade, ou seja, por meio de banco de capacitores se deve produzir todo o reativo necessário para acionar as cargas da instalação (Flores et al., 2025).

O dimensionamento de sistemas de recalque de água envolve vários parâmetros e demanda muitos cálculos, dessa forma, o apoio computacional por meio de planilhas eletrônicas ou aplicativos computacionais de uso específico, otimiza a elaboração do projeto, colaborando para redução do tempo de planejamento e da possibilidade de erros de quantificação e para a facilidade de simulação de condições distintas de implantação e operação do sistema. Mas, acima de tudo, permite enriquecer a modelagem hidráulica, elétrica e econômica do sistema com a utilização dos métodos mais adequados independente da sua complexidade (Andrade & Carvalho, 2000; Andrade & Carvalho, 2001a; Zocoler et al., 2004; Flores, 2014a; Flores, 2014b; Geisenhoff et al., 2018; Cunha & Oliveira, 2021 Kuritza et al., 2022).

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A modelagem dos sistemas de recalque de água foi dividida em 3 (três) partes:

- a) Modelagem Hidráulica.
- b) Modelagem Elétrica.
- c) Modelagem Econômica.

4.1. Modelagem Hidráulica

4.1.1. Propriedades físicas da água

As propriedades físicas da água necessárias para a elaboração de um projeto de sistema de recalque de água são a densidade, a viscosidade cinemática e a pressão de vapor. As tabelas 1, 2 e 3 mostram a variação destas grandezas com a temperatura. Na elaboração do projeto se tem como praxe considerar a temperatura da água igual a 20°C.

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

Temperatura (°C)	Densidade (kg/m³)	Temperatura (°C)	Densidade (kg/m³)
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)

4.1.2. Consumo específico diário

A tabela 4 apresenta o consumo específico diário de algumas instalações prediais.

Tabela 4. Consumo específico de água para algumas instalações prediais

Edificação	Consumo Diário	Edificação	Consumo Diário
Apartamento	200 litros/pessoa	Lavanderia	30 litros/kg de roupa seca
Ambulatório	25 litros/pessoa	Mercado	5 litros/m ² de área
Cinema	2 litros/lugar	Matadouro (animal pequeno)	150 litros/cabeça
Creche	50 litros/pessoa	Matadouro (animal grande)	300 litros/cabeça
Cavalariças	100 litros/cavalo	Orfanato ou similares	150 litros/pessoa
Escolas	50 litros/pessoa	Quartel	150 litros/soldado
Edifícios Públicos ou Comerciais	50 a 80 litros/ocupante real	Restaurante ou similares	25 litros/refeição
Escritórios	50 a 80 litros/ocupante real	Residência popular ou rural	120 a 150 litros/pessoa
Garagem ou Posto de Serviço	100 litros/automóvel	Residência urbana	200 litros/pessoa
Ginásio Esportivo	4 litros/lugar	Templo ou teatro	2 litros/lugar
Hotel com Cozinha e Lavanderia	250 a 350 litros/hóspede	Jardim	1,5 litros/m ² de área

Fonte: Macintyre (1996).

4.1.3. Volume diário

O volume diário é calculado pela equação 1.

$$V = \frac{\sum(Ce Fm)}{10^3} \quad (1)$$

Onde: V = volume do diário (m³); Ce = consumo específico (L/unidade); Fm = fator de multiplicação (unidades).

4.1.4. Vazão de projeto

A vazão do sistema é calculada pela equação 2.

$$Q = \frac{V}{3600 Tfd} \quad (2)$$

Onde: Q = vazão do sistema (m³/s); V = volume do diário (m³); Tfd = tempo de funcionamento diário (horas).

4.1.5. Equação de Bresse

A equação 3 conhecida como equação de Bresse é utilizada para indicar os valores mínimo e máximo dos diâmetros que são recomendados para serem testados na adutora do sistema. Foi comprovado em diversas pesquisas a existência de uma faixa econômica de escoamento da água em condutos forçados entre 0,6 a 2,6 m/s (Caldas et al., 2016; Geisenhoff et al., 2018; Pimenta et al., 2019; Martim et al., 2020; Kuritza et al., 2022; Flores et al., 2025).

$$D = \frac{2}{\sqrt{\pi v}} \sqrt{Q} = Kb \sqrt{Q} \quad (3)$$

Onde: D = diâmetro da tubulação (m); Kb = constante de Bresse (s^{1/2}/m^{1/2}); Q = vazão (m³/s); v = velocidade de escoamento da água (m/s).

4.1.6. Perda de carga contínua por Darcy-Weissbach

A perda de carga contínua por Darcy-Weissbach é calculada pela equação 4.

$$h_{fc} = \frac{8 f L Q^2}{\pi^2 g D^5} \quad (4)$$

Onde: h_{fc} = perda de carga contínua (m); f = fator de atrito (adimensional); Q = vazão (m^3/s); L = comprimento (m); g = aceleração da gravidade ($9,81 m/s^2$); D = diâmetro (m).

4.1.7. Número de Reynolds

A equação 5 é utilizada para o cálculo do número de Reynolds.

$$Re = \frac{v D}{\nu} \quad (5)$$

Onde: Re = número de Reynolds (adimensional); v = velocidade do escoamento da água (m/s); D = diâmetro (m); ν = viscosidade cinemática da água (m^2/s).

4.1.8. 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 centrífugo 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 centrífugo	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 (2021)

4.1.9. Rugosidade relativa

A equação 6 é utilizada para o cálculo da rugosidade relativa da linha de recalque.

$$K_r = \frac{K}{10^3 D} \quad (6)$$

Onde: K_r = rugosidade relativa (adimensional); K = rugosidade absoluta (mm); D = diâmetro (m);

4.1.10. Fator de atrito de Swamee

O fator de atrito de Swamee é calculado pela equação 7.

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

Onde: f = fator de atrito (adimensional); Re = número de Reynolds (adimensional); K_r = rugosidade relativa (adimensional).

4.1.11. Perda de carga contínua por Hazen-Williams

A perda de carga contínua por Hazen-Williams é calculada pela equação 8.

$$h_{fc} = \frac{10,643 L}{D^{4,87}} \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852} \quad (8)$$

Onde: h_{fc} = perda de carga contínua (m); L = comprimento (m); Diâmetro (m); Q = vazão (m³/s); D = diâmetro (m); C = coeficiente de perda de carga (adimensional).

4.1.12. Coeficiente C

A tabela 6 apresenta o coeficiente C de alguns materiais.

Tabela 6. Coeficiente C de alguns materiais

Material	C
PVC	140
Aço comercial	130
Aço galvanizado	125
Ferro fundido	110

4.1.13. Perda de carga localizada pelo método do comprimento equivalente

O comprimento de um conjunto de peças especiais pelo método do comprimento equivalente é calculado pela equação 9.

$$L_e = \sum ND \quad (9)$$

Onde: L_e = comprimento equivalente (m); ND = número de diâmetros da peça (unidades); D = diâmetro (m).

4.1.14. Número de diâmetro das peças especiais

A tabela 7 fornece o comprimento equivalente de algumas peças especiais.

Tabela 7. Número de diâmetro das peças especiais

Descrição da peça	Comprimento em diâmetros
Ampliação gradual	12D
Cotovelo 90°	45D
Cotovelo 45°	20D
Curva 90°	30D
Curva 45°	15D
Entrada normal	17D
Entrada de borda	35D
Junção	30D
Redução gradual	6D
Registro de gaveta aberto	8D
Registro de globo aberto	350D
Registro de ângulo aberto	170D
Saída de canalização	35D
Te passagem direta	20D
Te saída de lado	50D
Te saída bilateral	65D
Válvula de pé com crivo	250D
Válvula de retenção	100D

Fonte: Azevedo Netto & Fernández (2018).

4.1.15. Perda de carga localizada pelo método direto

A perda de carga localizada de um conjunto de peças especiais pelo método direto é calculada pela equação 10.

$$h_{fl} = \sum K \frac{v^2}{2g} \quad (10)$$

Onde: h_{fl} = perda de carga localizada (m); K = coeficiente de perda de carga da peça (adimensional).

4.1.16. Coeficiente K das peças especiais

A tabela 8 fornece o coeficiente K de algumas peças especiais.

Tabela 8. 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)

4.1.17. Tipo de bomba e forma de instalação

Os tipos de bombas e as formas de instalação são:

- Bomba para captação superficial instalada de forma não afogada.
- Bomba para captação superficial instalada de forma afogada.
- Bomba para captação subterrânea instalada de forma submersa.

4.1.18. Altura manométrica do sistema

A altura manométrica do sistema para bomba de captação superficial instalada de forma não afogada é calculada pela equação 11.

$$H_{man} = h_{gls} + h_{glr} + h_{fls} + h_{flr} + Pass \quad (11)$$

A altura manométrica para bomba de captação superficial instalada de forma afogada é calculada pela equação 12.

$$H_{man} = - h_{gls} + h_{glr} + h_{fls} + h_{flr} + Pass \quad (12)$$

A altura manométrica para bomba de captação subterrânea instalada de forma submersa é calculada pela equação 13.

$$H_{man} = h_{glr} + h_{flr} + Pass \quad (13)$$

Onde: H_{man} = altura manométrica (m); h_{gls} = altura geométrica da linha de sucção (m); h_{glr} = altura geométrica da linha de recalque (m); h_{fls} = perda de carga na linha de sucção (m); h_{flr} = perda de carga na linha de recalque (m); $Pass$ = pressão adicional na saída do sistema (m).

4.1.19. Equação da altura manométrica do sistema

É necessário determinar a equação da altura manométrica do sistema, pois a mesma representa a curva da tubulação. Além disso, o ponto de funcionamento da bomba (vazão versus altura manométrica) é dado pela intersecção da curva da bomba com a curva do sistema.

Para o caso de bomba centrífuga para captação superficial instalada de forma não afogada, as equações 14, 15 e 16 são utilizadas para o cálculo da equação da altura manométrica ou dinâmica da tubulação.

$$K1 = h_{gls} + h_{glr} + Pass \quad (14)$$

$$K2 = \frac{h_{fls} + h_{flr}}{Q^2} \quad (15)$$

$$H_{man} = K1 + K2 Q^2 \quad (16)$$

Para o caso de bomba centrífuga para captação superficial instalada de forma afogada, as equações 17, 18 e 19 são utilizadas para o cálculo da equação da altura manométrica ou dinâmica da tubulação.

$$K1 = -h_{gls} + h_{glr} + Pass \quad (17)$$

$$K2 = \frac{h_{fls} + h_{flr}}{Q^2} \quad (18)$$

$$H_{man} = K1 + K2 Q^2 \quad (19)$$

Para o caso de bomba centrífuga para captação subterrânea instalada de forma submersa, as equações 20, 21 e 22 são utilizadas para o cálculo da equação da altura manométrica ou dinâmica da tubulação.

$$K1 = h_{glr} + Pass \quad (20)$$

$$K2 = \frac{h_{flr}}{Q^2} \quad (21)$$

$$H_{man} = K1 + K2 Q^2 \quad (22)$$

Onde: H_{man} = altura manométrica do sistema (m); h_{glr} = altura geométrica da linha de sucção (m); h_{flr} = altura geométrica da linha de recalque (m); h_{flr} = perda de carga na linha de recalque (m); h_{fls} = perda de carga na linha de sucção (m); $Pass$ = pressão adicional na saída do sistema (m); $K1$ = constante estática da equação da altura manométrica do sistema; $K2$ = constante dinâmica da equação da altura manométrica do sistema.

4.1.20. Pressão atmosférica local

A tabela 9 fornece o valor da pressão atmosférica em função da altitude.

Tabela 9. 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)

4.1.21. Net Positive Suction Head - NPSH

Bombas para captação superficial, independente da forma de instalação, demandam um NPSH requerido. Dessa forma, o NPSH disponível do sistema (tubulação) deve ser maior ou igual ao NPSH requerido da bomba. Essa condição

garante que a bomba não irá cavitatar quando estiver recalando (bombeando). Na prática, os fabricantes fornecem as curvas características das bombas, ou seja, as curvas: da altura manométrica versus vazão, do rendimento versus vazão e a curva do NPSH requerido versus vazão. Os fabricantes recomendam a adição de uma folga de 0,6 m no NPSH requerido para compensar eventuais variações na altura de sucção.

$$\text{NPSHd} \geq \text{NPSHr} + 0,6 \quad (23)$$

Onde: NPSHd = net positive suction head disponível pelo sistema (m); NPSHr = net positive suction head requerido pela bomba (m).

Para o caso de bomba centrífuga para captação superficial instalada de forma não afogada, a equação 24 é utilizada para o cálculo do NPSH disponível. As equações 25, 26 e 27 são utilizadas para o cálculo da equação do NPSH disponível do sistema.

$$\text{NPSHd} = \text{Pat} - \text{hgls} - \text{hfls} - \text{pv} - 0,6 \quad (24)$$

$$\text{K3} = \text{Pat} - \text{hgls} - \text{pv} - 0,6 \quad (25)$$

$$\text{K4} = \frac{\text{hfls}}{\text{Q}^2} \quad (26)$$

$$\text{NPSHd} = \text{K3} - \text{K4 Q}^2 \quad (27)$$

Para o caso de bomba centrífuga para captação superficial instalada de forma afogada, a equação 28 é utilizada para o cálculo do NPSH disponível. As equações 29, 30 e 31 são utilizadas para o cálculo da equação do NPSH disponível do sistema.

$$\text{NPSHd} = \text{Pat} + \text{hgls} - \text{hfls} - \text{pv} - 0,6 \quad (28)$$

$$\text{K3} = \text{Pat} + \text{hgls} - \text{pv} - 0,6 \quad (29)$$

$$\text{K4} = \frac{\text{hfls}}{\text{Q}^2} \quad (30)$$

$$\text{NPSHd} = \text{K3} - \text{K4 Q}^2 \quad (31)$$

Onde: NPSHd = net positive suction head disponível do sistema (m); Pat = pressão atmosférica no local de instalação da motobomba (m); hgls = altura geométrica da linha de sucção (m); hfls = perda de carga da linha de sucção (m); pv = pressão de vapor da água (m). K3 = constante estática do NPSHd (m); K4 = constante dinâmica do NPSHd; Q = vazão da motobomba (m³/s).

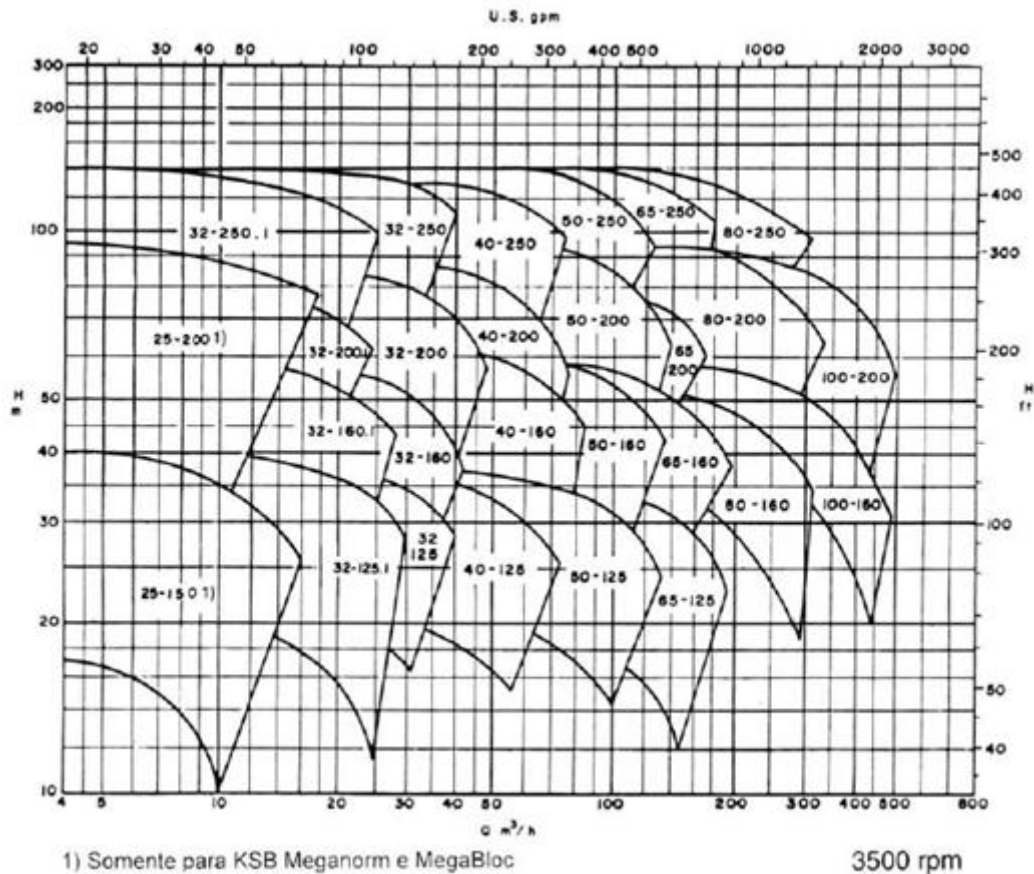
4.1.22. Dimensionamento da motobomba

O dimensionamento da uma motobomba centrífuga para um sistema de recalque de água 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 entrada da bomba que foi calculada em projeto. A potência de entrada da bomba é igual à potência de saída do motor.

4.1.23. Gráfico de pré-seleção de bomba

De acordo com a vazão e a altura manométrica da tubulação obtidos no projeto do sistema, pode-se determinar o modelo de bomba mais adequado a se utilizar pelo gráfico de pré-seleção de bomba.

Figura 2. Gráfico de pré-seleção de bomba

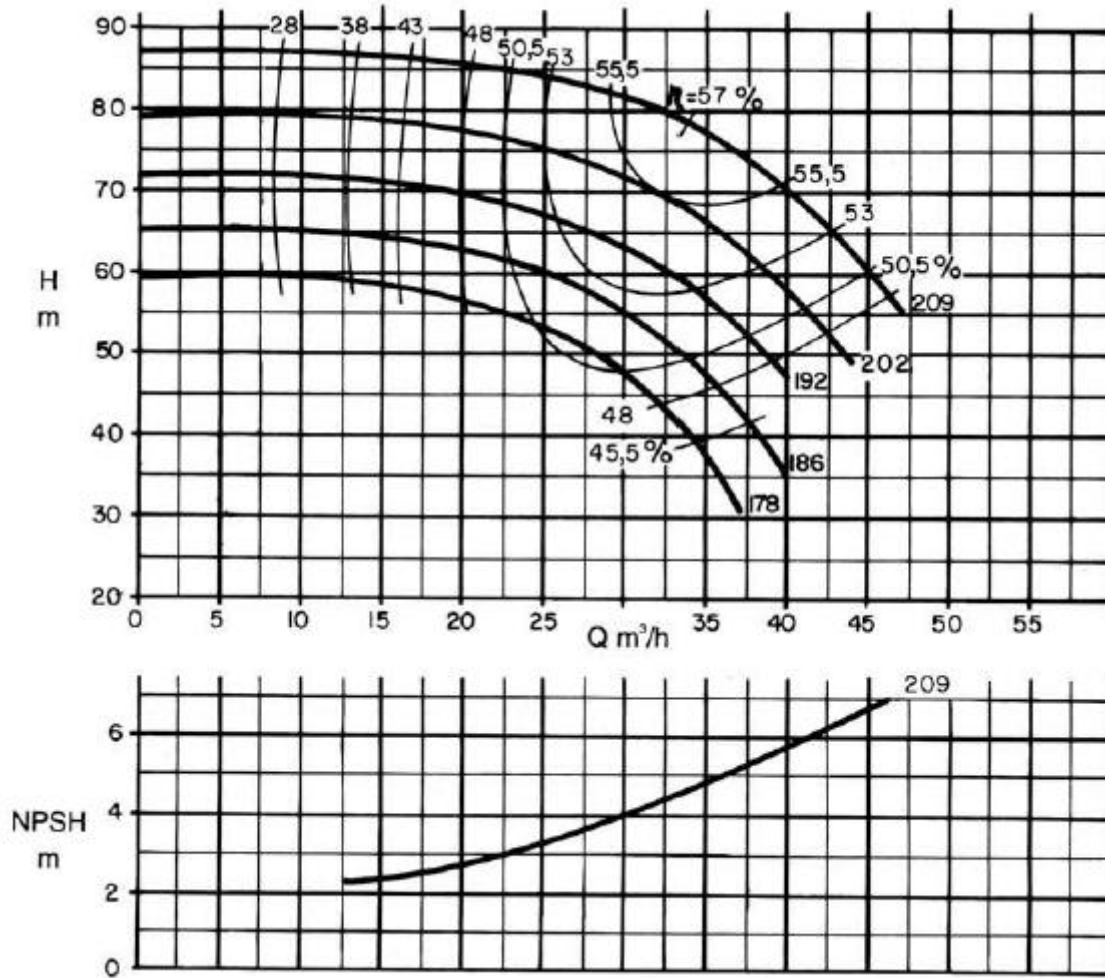


Fonte: Catálogo KSB

4.1.24. Curvas características da bomba

O fabricante fornece as curvas de altura manométrica da bomba versus a vazão, rendimento da bomba versus a vazão e NPSH requerido da bomba versus a vazão conforme o modelo obtido no gráfico de pré-seleção de bomba.

Figura 3. Curvas características da bomba



Fonte: KSB

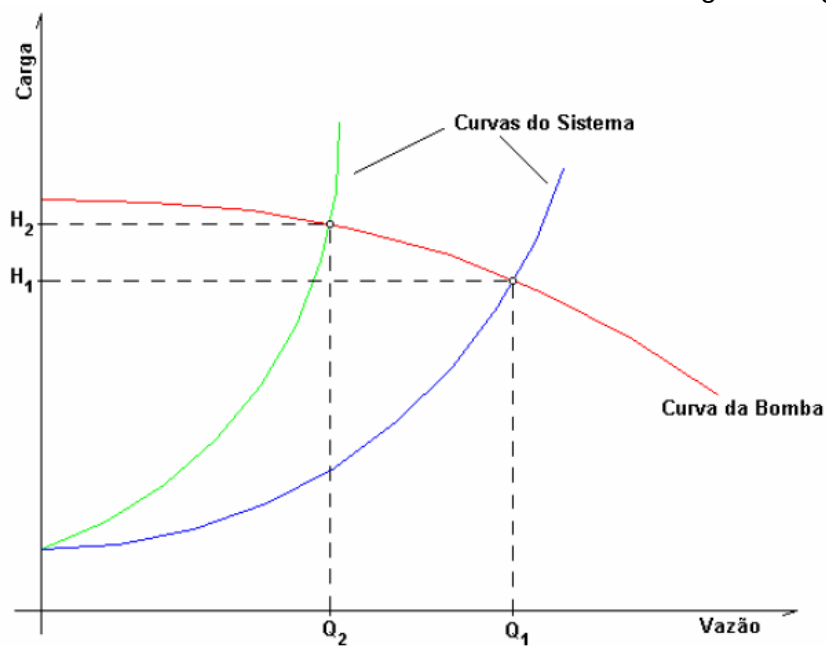
4.1.25. Ponto de operação do sistema

O ponto de operação do sistema é igual ao ponto de intercessão entre a curva da altura manométrica do sistema com a curva da altura manométrica da bomba.

Na figura 4, o ajuste da vazão está sendo realizado por registro de gaveta, o que adiciona maior perda de carga localizada na curva da altura manométrica do sistema e consequentemente, maior gasto com energia elétrica.

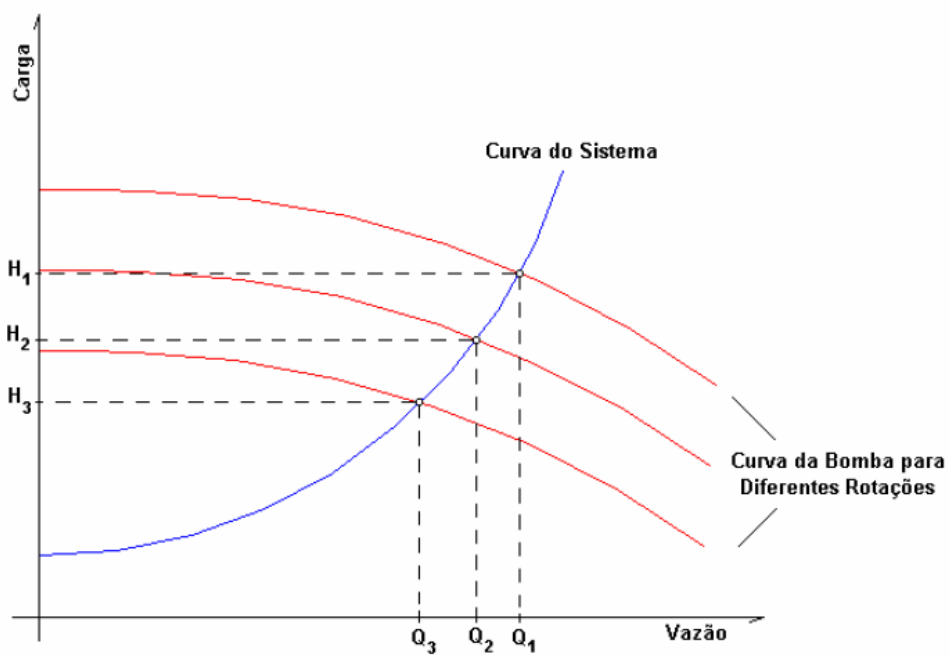
Na figura 5, o ajuste da vazão está sendo realizado por inversor de frequência, o que diminui a rotação do motor e desloca a curva de altura manométrica da bomba para baixo, diminuindo os gastos com energia elétrica. Observa-se que variar o diâmetro do rotor tem o mesmo efeito que variar a velocidade de rotação do motor.

Figura 4. Curva da bomba versus curva do sistema com registro de gaveta



Fonte: Rodrigues (2007)

Figura 5. Curva da bomba com inversor de frequência versus curva do sistema



Fonte: Rodrigues (2007)

4.1.26. Potência de saída da bomba

A potência de saída da bomba é calculada pela equação 32.

$$P_{sb} = \frac{\rho g Q H_{man}}{736} \quad (32)$$

Onde: P_{sb} = potência de saída da bomba (cv); ρ = densidade da água (kg/m^3); g = gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$); Q = vazão (m^3/s); H_{man} = altura manométrica (m).

4.1.27. Potência de entrada da bomba

A potência de entrada da bomba é igual à potência de saída do motor e é calculada pela equação 33.

$$P_{eb} = P_{sm} = \frac{\rho g Q H_{man}}{736 \eta_b} \quad (33)$$

Onde: P_{eb} = potência de entrada da bomba (cv); P_{sm} = potência de saída do motor (cv); ρ = densidade da água (kg/m^3); g = gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$); Q = vazão (m^3/s); H_{man} = altura manométrica (m); η_b = rendimento da bomba (decimal).

4.2. Modelagem Elétrica

4.2.1. Potência nominal do motor

A potência nominal do motor deve ser maior ou igual à potência de saída do motor conforme a equação 34.

$$P_{nm} \geq P_{sm} \quad (34)$$

Onde: P_{nm} = potência nominal do motor (cv); P_{sm} = potência de saída do motor.

A tabela 10 fornece o fator de serviço em função do número de polos do motor. O fator de serviço é um percentual que indica o quanto um motor pode fornecer no eixo de saída além da sua capacidade nominal. Se o fator de serviço for utilizado de forma permanente reduz a vida útil do motor.

Tabela 10. Potência nominal e fator de serviço em função do número de polos 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).

A potência nominal do motor é igual à potência nominal da motobomba e do inversor de frequência.

4.2.2. Carregamento do motor

O carregamento do motor é calculado pela equação 35.

$$C = \frac{P_{sm}}{P_{nm}} \cdot 100 \quad (35)$$

Onde: Carregamento do motor (percentual); P_{nm} = potência nominal do motor (cv);

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

A tabela 11 fornece o rendimento e o fator de potência para um motor de 2 polos em função do carregamento da máquina.

Tabela 11. Rendimento e fator de potência

Potência	Rendimento			Fator de Potência		
	η %			cos φ		
(cv)	% da potência nominal					
	50	75	100	50	75	100
1,0	70,0	74,0	77,0	0,68	0,78	0,85
1,5	76,5	78,0	78,5	0,70	0,80	0,88
2,0	77,0	79,0	81,0	0,73	0,82	0,89
3,0	78,5	80,0	81,5	0,66	0,77	0,84
4,0	81,5	82,5	83,0	0,70	0,80	0,88
5,0	81,0	84,8	85,8	0,75	0,83	0,88
6,0	83,0	84,4	85,1	0,77	0,85	0,88
7,5	84,0	86,2	86,7	0,72	0,80	0,87
10	84,0	86,5	87,6	0,77	0,85	0,88
12,5	85,8	87,5	88,0	0,77	0,84	0,88
15	85,0	87,5	87,8	0,77	0,84	0,88
20	86,4	88,6	89,0	0,75	0,84	0,88
25	88,0	89,5	89,5	0,78	0,85	0,88
30	90,2	91,0	91,0	0,78	0,85	0,88
40	88,5	90,0	90,4	0,80	0,86	0,88
50	90,0	91,5	92,2	0,81	0,86	0,88
60	88,6	91,0	92,5	0,82	0,87	0,90

Fonte: Weg.

Observa-se, que tanto o rendimento, como o fator de potência é proporcional ao carregamento do motor. Motores sobredimensionados possuem rendimento e fator de potência de valores baixos.

4.2.3. Potência de entrada do motor

A potência de entrada do motor é calculada pela equação 36.

$$P_{em} = \frac{\rho g Q H_{man}}{10^3 \eta_b \eta_m} \quad (36)$$

Onde: P_{em} = potência de entrada do motor (kW); ρ = densidade da água (kg/m³); g = gravidade (9,81 m/s²); Q = vazão (m³/s); H_{man} = altura manométrica (m); η_b = rendimento da bomba (decimal); η_m = rendimento do motor em (decimal).

4.2.4. Rendimento da motobomba

A equação 37 é utilizada para o cálculo do rendimento da motobomba.

$$\eta_{mb} = \eta_b \eta_m \quad (37)$$

Onde: η_{mb} = rendimento da motobomba (decimal); η_b = rendimento da bomba (decimal); η_m = rendimento do motor (decimal).

4.2.5. Demanda de potência ativa do motor

A demanda de potência ativa do motor é calculada pela equação 38.

$$D = P_m \quad (38)$$

Onde: D = demanda de potência ativa (kW); P_m = potência nominal do motor (kW).

4.2.6. Potência aparente do motor

A potência aparente do motor é calculada pela equação 39.

$$S = \frac{D}{\cos \phi_m} \quad (39)$$

Onde: S = potência aparente do motor (kVA); D = demanda de potência ativa (kW); $\cos \phi_m$ = fator de potência do motor.

4.2.7. Potência aparente do transformador em função do motor

A potência nominal do posto de transformação em função do motor é calculada pela equação 40.

$$S_n \geq S \quad (40)$$

Onde: S_n = potência nominal do posto de transformação (kVA); S = potência aparente do motor (kVA).

4.2.8. Potência aparente de uma instalação

A potência aparente de uma instalação elétrica é calculada pela equação

41.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (41)$$

Onde: S = potência aparente (kVA); P = potência ativa (kW); Q = potência reativa (kVAr).

4.2.9. Fator de potência de uma instalação

O fator de potência de uma instalação elétrica é calculado pela equação

42.

$$\cos \phi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (42)$$

Onde: P = potência ativa (kW); Q = potência reativa (kVAr); $\cos \phi$ = fator de potência (adimensional).

4.2.10. Multa por demanda e consumo de reativo

De acordo com a RN 1000 da ANEEL o fator de potência de uma instalação alimentada em média ou alta tensão deve ser maior ou igual ao fator de potência de referência de 0,92. Esta resolução normativa estabelece ainda que o fator de potência de uma instalação deve ser maior ou igual a 0,92 (capacitivo) em seis horas consecutivas estabelecidas pela concessionária local no período das 00:00 as 6:00 horas. E também, que o fator de potência deve ser maior ou igual a 0,92 (indutivo) das 06:00 as 00:00 horas. Caso o fator de potência seja menor que a referência irá gerar multa no faturamento da energia elétrica por excesso de energia reativa.

A multa por energia e demanda reativa excedentes é calculada pelas equações 43 e 44.

$$E_{RE} = \sum_{T=1}^N \left[EEAM_T \left(\frac{fr}{ft} - 1 \right) \right] VR_{ERE} \quad (43)$$

$$D_{RE}(p) = \left[\max_{T=1}^N \left(DAM_T \frac{fr}{ft} \right) - DAF(p) \right] VR_{DRE} \quad (44)$$

Onde: E_{RE} = valor da energia elétrica reativa excedente (R\$); $EEAM_T$ = energia ativa medida em cada intervalo T de uma hora (kWh); fr = fator de potência de referência igual a 0,92; ft = fator de potência da instalação para cada intervalo T de uma hora; VR_{ERE} = valor de referência (R\$/kWh); $D_{RE}(p)$ = valor, por posto tarifário (p) da demanda de potência reativa excedente (R\$); DAM_T = demanda de potência ativa no intervalo T de uma hora (kW); $DAF(p)$ = demanda ativa faturável em cada posto tarifário p; VR_{DRE} = valor de referência (R\$/kW).

4.2.11. Correção do fator de potência

As equações 45, 46, 47, 48 e 49 são utilizadas para corrigir o fator de potência. A potência do banco de capacitor é calculada pela equação 50.

$$Pf = Pi \quad (45)$$

$$Si = \frac{Pi}{\cos \phi_i} \quad (46)$$

$$Qi = \sqrt{Si^2 - Pi^2} \quad (47)$$

$$Sf = \frac{Pf}{\cos \phi_f} \quad (48)$$

$$Qf = \sqrt{Sf^2 - Pf^2} \quad (49)$$

$$Q_{cap} = Qi - Qf \quad (50)$$

Onde: Pf = potência ativa final (kW); Pi = potência ativa inicial (kW); Si = potência aparente inicial (kVA); $\cos \phi_i$ = fator de potência inicial (adimensional); Sf = potência aparente final (kVA); $\cos \phi_f$ = fator de potência final (adimensional); Qi = potência

reativa inicial (kVAr); Q_f = potência reativa final (kVAr); Q_{cap} = potência reativa do banco de capacitores (kVAr).

4.2.12. Fatura mensal de energia elétrica

A fatura mensal de energia elétrica para consumidores do grupo B na modalidade convencional é calculada pela equação 51.

$$F_{me} = P_{em} T_f T_c \quad (51)$$

Onde: F_{me} = fatura mensal de energia (R\$); P_{em} = potência de entrada do motor (kW);

T_f = tempo de funcionamento (h/mês); T_c = tarifa de consumo (R\$/kWh).

A fatura mensal de energia elétrica para consumidores do grupo B na modalidade horária branca é calculada pela equação 52.

$$F_{me} = P_{em} (T_{ffp} T_{cfp} + T_{fi} T_{ci} + T_{fp} T_{cp}) \quad (52)$$

Onde: F_{me} = fatura mensal de energia (R\$); P_{em} = potência de entrada do motor (kW);

T_{ffp} = tempo de funcionamento no horário fora de ponta (h/mês); T_{cfp} = tarifa de consumo no horário fora de ponta (R\$/kWh); T_{fi} = tempo de funcionamento no horário intermediário (h/mês); T_{ci} = tarifa de consumo no horário intermediário (R\$/kWh); T_{fp}

= tempo de funcionamento no horário de ponta (h/mês); T_{cp} = tarifa de consumo no horário de ponta (R\$/kWh).

A fatura mensal de energia elétrica para consumidores do grupo A na modalidade horária verde é calculada pela equação 53.

$$F_{me} = P_{em} (T_d + T_{ffp} T_{cfp} + T_{fp} T_{cp}) \quad (53)$$

Onde: F_{me} = fatura mensal de energia (R\$); P_{em} = potência de entrada do motor (kW);

T_d = tarifa de demanda (R\$/kW); T_{ffp} = tempo de funcionamento mensal no horário fora de ponta (h/mês); T_{cfp} = tarifa de consumo no horário fora de ponta (R\$/kWh); T_{fp}

= tempo de funcionamento mensal no horário de ponta (h/mês); T_{cp} = tarifa de consumo no horário de ponta (R\$/kWh).

A fatura mensal de energia elétrica para consumidores do grupo A na modalidade horária azul é calculada pela equação 54.

$$Fme = Pem (Tdfp + Tdp + Tffp Tcfp + Tfp Tcp) \quad (54)$$

Onde: Fme = fatura mensal de energia (R\$); Pem = potência de entrada do motor (kW); Tdfp = tarifa de demanda no horário fora de ponta (R\$/kW); Tdp = tarifa de demanda no horário de ponta (R\$/kW); Tffp = tempo de funcionamento mensal no horário fora de ponta (h/mês); Tcfp = tarifa de consumo no horário fora de ponta (R\$/kWh); Tfp = tempo de funcionamento mensal no horário de ponta (h/mês); Tcp = tarifa de consumo no horário de ponta (R\$/kWh).

4.2.13. Consumo diário de energia elétrica

O consumo diário de energia elétrica é calculado pela equação 55.

$$Cde = Pem Tfd \quad (55)$$

Onde: Cde = consumo diário de energia elétrica (kWh/dia); Pem = potência de entrada do motor (kW); Tfd = tempo de funcionamento diário (h/dia).

4.2.14. Energia diária gerada

A energia diária gerada pelo sistema fotovoltaico é calculada pela equação 56.

$$Eg = Fg Cde \quad (56)$$

Onde: Eg = energia diária gerada (kWh); Fg = fator de geração (decimal); Cde = consumo diário de energia elétrica (kWh/dia).

4.2.15. Potência total dos painéis

A potência total dos painéis solares é calculada pela equação 57.

$$P_{tp} = \frac{E_g}{\eta_{sf} T_e} \quad (57)$$

Onde: P_{tp} = potência total dos painéis (kW); η_{sf} = rendimento do sistema fotovoltaico (adimensional); T_e = tempo de exposição diário (h/dia).

Normalmente se considera o rendimento do sistema fotovoltaico igual a 80%.

4.2.16. Tempo de exposição

O tempo de exposição diário (T_e) representa o tempo de horas sol pico (1000 W/m^2) por dia e é igual à irradiação solar diária. A média anual para o plano horizontal da irradiação solar diária do Brasil pode ser obtida no site cresesb através do programa SunData fornecendo as coordenadas geográficas de latitude e longitude do local.

4.2.17. Quantidade de painéis

A quantidade de painéis solares é calculada pela equação 58. A tabela 12 fornece a potência, as dimensões e o rendimento dos painéis solares.

$$Q_p = \frac{1000 P_{tp}}{P_p} \quad (58)$$

Onde: Q_p = quantidade de painéis (unidades); P_{tp} = potência total dos painéis (kW); P_p = potência do painel (W).

Tabela 12. Dados dos painéis solares

Potência (W)	Dimensões (m ²)	Rendimento (decimal)
260	1,00 x 1,60	0,1625
265	1,00 x 1,60	0,1656
275	1,00 x 1,60	0,1719
310	1,00 x 1,95	0,1590
315	1,00 x 1,95	0,1615
320	1,00 x 1,95	0,1641

4.2.18. Potência do inversor

A potência do inversor CC/CA é calculada pela equação 59.

$$P_i = F_d P_{tp} \quad (59)$$

Onde: P_i = potência do inversor (kW); F_d = fator de dimensionamento (adimensional);

P_{tp} = potência total dos painéis (kW).

O fator de dimensionamento pode variar entre 0,8 a 1,2.

4.2.19. Capacidade mensal do sistema fotovoltaico

A capacidade mensal de geração de energia elétrica do sistema fotovoltaico é calculada pela equação 60.

$$C_{sf} = 30 E_g \quad (60)$$

Onde: C_{sf} = capacidade mensal do sistema fotovoltaico (kWh/mês); E_g = energia diária gerada (kWh).

4.2.20. Economia mensal

A economia de energia elétrica mensal proporcionada pelo sistema fotovoltaico para consumidores do grupo B em baixa tensão na modalidade tarifária convencional ou horária branca é calculada pela equação 61.

$$E = 30 E_g T_{cfp} \quad (61)$$

Onde: E = economia de energia (R\$); E_g = Energia diária gerada (kWh); T_{cfp} = tarifa de consumo fora de ponta (R\$/kWh).

A economia de energia elétrica mensal proporcionada pelo sistema fotovoltaico para consumidores dos grupos A nas modalidades tarifárias horárias: verde e azul é calculada pela equação 62.

$$E = 30 E_g T_{cfp} \quad (62)$$

Onde: E = economia de energia (R\$); Eg = Energia diária gerada (kWh); Tcfp = tarifa de consumo fora de ponta (R\$/kWh).

4.2.21. Potência aparente do sistema fotovoltaico

A potência aparente do sistema fotovoltaico é calculada pela equação 63.

$$S_{\text{fot}} = \frac{E_g}{T_e} \quad (63)$$

Onde: S_{fot} = potência aparente do sistema fotovoltaico (kVA); E_g = energia gerada diariamente (kWh); T_e = tempo de exposição (h).

4.2.22. Potência aparente do transformador em função do sistema fotovoltaico

A potência aparente do posto de transformação em função do sistema fotovoltaico é calculada pela equação 64.

$$S_n \geq S_{\text{fot}} \quad (64)$$

4.3. Modelagem Econômica

4.3.1. Custo da tubulação da adutora

O custo com a tubulação da adutora é calculado pela equação 65. As tabelas 13 e 14 fornecem o custo unitário do tubo em função do diâmetro nominal e da pressão nominal do tubo de PVC.

$$C_t = C_{ut} L \quad (65)$$

Onde: C_t = custo da adutora (R\$); C_{ut} = custo unitário da adutora (R\$/m); L = comprimento da adutora (m).

Tabela 13. Custo unitário dos tubos de PVC linha fixa

PN 60			PN 80			PN 125		
Diâmetro Nominal	Diâmetro Interno (mm)	Custo Unitário (R\$/m)	Diâmetro Nominal	Diâmetro Interno (mm)	Custo Unitário (R\$/m)	Diâmetro Nominal	Diâmetro Interno (mm)	Custo Unitário (R\$/m)
50	47,7	9,84	50	46,7	11,48	50	46,3	12,50
75	71,5	16,40	75	70,5	18,12	75	69,3	19,74
100	96,0	32,40	100	94,4	34,63	100	93,4	45,11
125	118,2	48,14	150	140,0	77,83	125	115,0	69,88
150	142,0	54,95	-	-	-	150	138,0	102,52
-	-	-	-	-	-	200	182,0	112,61

Tabela 14. Custo unitário dos tubos de PVC linha DEFOFO

PN 60			PN 80			PN 125		
Diâmetro Nominal	Diâmetro Interno (mm)	Custo Unitário (R\$/m)	Diâmetro Nominal	Diâmetro Interno (mm)	Custo Unitário (R\$/m)	Diâmetro Nominal	Diâmetro Interno (mm)	Custo Unitário (R\$/m)
100	112,6	36,26	100	111,8	41,49	100	108,4	63,29
150	162,2	75,44	150	161,2	84,85	150	156,4	129,22
200	212,0	126,34	200	210,4	146,03	200	204,2	220,88
250	261,6	193,35	250	259,8	220,67	250	252,0	336,92
300	311,2	274,58	300	309,0	314,29	300	299,8	477,37
350	360,8	369,97	350	358,2	424,38	350	347,6	642,20
400	409,4	478,44	400	406,6	544,94	400	394,6	824,86
500	507,8	732,61	500	504,2	838,67	500	489,4	1266,79

4.3.2. Custo da Motobomba

A tabela 15 fornece o custo da motobomba em função da potência.

Tabela 15. Custo da motobomba em função da potência

Potência (cv)	Custo (R\$)	Potência (cv)	Custo (R\$)
1	1.184,90	25	16.880,31
1,5	1.299,00	30	29.221,25
2	1.382,90	40	32.200,90
3	1.999,90	50	41.107,00
4	3.637,90	60	44.506,36
5	5.199,90	75	58.523,19
6	6.121,80	100	77.975,94
7,5	6.452,04	125	97.428,70
10	8.145,14	150	116.881,00
12,5	9.599,90	175	136.334,00
15	10.462,81	200	155.787,00
20	10.999,90	-	-

A equação 66 permite estimar o valor da motobomba para potências superiores a 200 cv.

$$Cmb = 778,11 Pnm + 164,94 \quad (66)$$

Onde: Cmb = custo da motobomba (R\$); Pnm = potência nominal do motor (cv).

4.3.3. Custo do inversor de frequência

A tabela 16 fornece o custo do inversor de frequência em função da potência.

Tabela 16. Custo do inversor de frequência em função da potência

Potência (cv)	Custo (R\$)	Potência (cv)	Custo (R\$)
1	1.300,55	25	9.745,58
1,5	2.290,88	30	11.590,00
2	2.621,05	40	13.081,50
3	2.644,06	50	15.675,00
4	2.783,98	60	21.683,59
5	2.925,05	75	25.091,40
6	3.504,55	100	32.836,90
7,5	4.393,57	125	40.582,40
10	5.037,72	150	48.327,90
12,5	6.022,05	175	56.073,40
15	7.956,59	200	63.318,90
20	8.900,55	-	-

A equação 67 permite estimar o valor do inversor de frequência para potências superiores a 200 cv.

$$C_{inv} = 309,82 P_{nm} + 1854,9 \quad (78)$$

Onde: C_{inv} = custo do inversor de frequência (R\$); P_{nm} = potência nominal do motor (cv).

4.3.4. Custo do banco de capacitores

A tabela 17 fornece o custo do banco de capacitores em função da potência reativa do mesmo.

Tabela 17. Custo do banco de capacitores em função da potência reativa

Potência Reativa (kVar)	Custo (R\$)
5	304,26
7,5	518,39
10	1100,99
15	1590,00
20	1918,00
30	2211,00
40	3209,00
50	5664,00

A equação 68 permite estimar o valor do banco de capacitores para potências reativas maiores que 50 kVar.

$$C_{bc} = 101,76 Q_{cap} - 193,27 \quad (68)$$

Onde: C_{bc} = custo do banco de capacitores (R\$); Q_{cap} = potência reativa do banco de capacitores (kVAr).

4.3.5. Custo do posto de transformação de energia elétrica

A tabela 18 fornece o custo do posto de transformação de energia elétrica em função da potência aparente do mesmo.

Tabela 18. Custo do posto de transformação em função da potência aparente

Potência Aparente do Transformador de Energia Elétrica (kVA)	Custo (R\$)
30	23560,00
45	29360,00
75	39760,00
112,5	60560,00
150	72560,00
225	105231,00
300	136847,00

A equação 69 permite estimar o custo do posto de transformação de energia elétrica para potências aparentes maiores que 300 kVA.

$$C_{pt} = 421,55 S_n + 10382 \quad (69)$$

Onde: C_{pt} = custo do posto de transformação (R\$); S_n = potência aparente do transformador (kVA).

4.3.6. Custo do sistema fotovoltaico

A tabela 19 fornece o custo do sistema fotovoltaico em função da capacidade mensal de geração de energia elétrica.

Tabela 19. Custo do sistema fotovoltaico em função da capacidade mensal

Capacidade Mensal (KWh/mês)	Custo (R\$)
500	10899,00
700	13229,00
1000	18899,00
1200	20599,00
1500	25699,00
2000	33093,60
2500	40543,60
3000	47993,60

A equação 70 permite estimar o custo do sistema fotovoltaico para capacidades mensais maiores que 3000 kWh/mês.

$$C_{sf} = 14,869 C_m + 3293,6 \quad (70)$$

Onde: C_{sf} = custo do sistema fotovoltaico (R\$); C_m = capacidade mensal de geração (kWh/mês).

4.3.7. Custo da energia elétrica

A tabela 20 fornece o custo da energia elétrica com tributos por modalidade tarifária. Os tributos considerados foram: ICMS de 17%, PIS de 1% e COFINS de 5%.

Tabela 20. Custo da energia elétrica

Grupo Tarifário	Consumo no horário fora de ponta (R\$/kWh)	Consumo no horário intermediário (R\$/kWh)	Consumo no horário de ponta (R\$/kWh)	Demanda no horário fora de ponta (R\$/kW)	Demanda no horário de ponta (R\$/kW)	Consumo de energia reativa nos horários fora de ponta e ponta (R\$/kWh)
B (Convencional - baixa tensão)	1,1301	1,1301	1,1301	-	-	-
B (Horária branca - baixa tensão)	0,9215	1,5406	2,3860	-	-	-
A (Horária verde - alta tensão)	0,5482	0,5482	2,8773	44,5195	44,5195	0,4292
A (Horária azul - alta tensão)	0,5482	0,5482	0,7746	44,5195	86,6234	0,4292

4.3.8. Custo de implantação

O custo de implantação do sistema de recalque de água é calculado pela equação 71.

$$CI = C_t + C_{mb} + C_{inv} + C_{bcap} + C_{fot} + C_{pt} \quad (71)$$

Onde: CI = custo de implantação (R\$); C_t = custo dos tubos da adutora (R\$); C_{mb} = custo da motobomba (R\$); C_{inv} = custo do inversor de frequência (R\$); C_{bcap} = custo do banco de capacitores (R\$); C_{fot} = custo do sistema fotovoltaico (R\$); C_{pt} = custo do posto de transformação de energia elétrica (R\$).

4.3.9. Fator de recuperação de capital

O fator de recuperação de capital é calculado pela equação 72.

$$FRC = \frac{(1+i)^n i}{(1+i)^n - 1} \quad (72)$$

Onde: FRC = fator de recuperação de capital (decimal); i = taxa de juros anual (decimal); n = vida útil do sistema (anos).

4.3.10. Custo de implantação anual

O custo de implantação anual é calculado pela equação 73.

$$CIA = CI \cdot FRC \quad (73)$$

Onde: CIA = custo de implantação anual (R\$); CI = Custo de implantação (R\$); FRC = fator de recuperação de capital (adimensional).

4.3.11. Custo anual de manutenção

O custo anual de manutenção é calculado pela equação 74.

$$Cam = \frac{PSCI}{100} \cdot CI \quad (74)$$

Onde: Cam = custo anual de manutenção (R\$); PSCI = percentual sobre o custo de implantação; CI = custo de implantação anual (R\$).

4.3.12. Custo de operação anual

O custo de operação anual é calculado pela equação 75.

$$COA = Cae + Cam \quad (75)$$

Onde: COA = custo de operação anual (R\$); Cae = custo anual da energia elétrica (R\$);

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

4.3.13. Custo total anual

O custo total anual é calculado pela equação 76.

$$CTA = CIA + COA \quad (76)$$

Onde: CTA = Custo total anual (R\$); CIA = custo de implantação anual (R\$); COA = custo de operação anual (R\$).

4.3.14. Valor presente

O payback com desconto é um parâmetro econômico que indica o tempo de retorno de um investimento. O payback com desconto pode ser obtido realizando se o fluxo de caixa. O valor presente é calculado pela equação 77.

$$V_p = \frac{F_{cn}}{(1 + i)^n} \quad (77)$$

Onde: V_p = valor presente (R\$); F_{cn} = fluxo de caixa no período n (R\$); i = taxa de juros anual (decimal); n = período (anos).

5. METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em 2 (duas) partes.

- a) Implementação da metodologia aprimorada para o dimensionamento econômico de sistemas de recalque de água no desenvolvimento do aplicativo computacional Supply de uso específico para a elaboração de projetos.
- b) Verificação das hipóteses levantadas a respeito da otimização do regime de operação dos sistemas de recalque de água e para determinar a viabilidade econômica do emprego das técnicas alternativas propostas para o dimensionamento econômico. As hipóteses são afirmações a serem testadas com o aplicativo computacional Supply.

Hipótese 1: É viável economicamente utilizar o inversor de frequência como dispositivo para selecionar o melhor ponto de operação do sistema.

Hipótese 2: É viável economicamente investir em banco de capacitores e sistema fotovoltaico on-grid.

Hipótese 3: É viável economicamente realizar a conexão em média tensão de consumidores que podem ser conectados na rede de baixa tensão.

Hipótese 4: É viável economicamente aumentar a vazão para reduzir o tempo de operação de sistemas que estão operando de forma contínua, ou seja, 24 horas por dia.

5.1. Implementação da metodologia aprimorada no desenvolvimento do aplicativo computacional Supply

A metodologia para o dimensionamento econômico de sistemas de recalque de água foi obtida através da revisão de literatura sobre o tema e posteriormente aprimorada. As maiores modificações foram nas modelagens elétrica e econômica do sistema, às mesmas foram adaptadas para dimensionar e prever os custos do inversor de frequência, do posto de transformação de energia elétrica, do banco de capacitores e do sistemas fotovoltaico on-grid.

O dimensionamento econômico é realizado pela análise de custos através do método das tentativas com o apoio da equação de Bresse, utilizada para selecionar os diâmetros que devem ser testados na adutora do sistema, segundo a faixa econômica de escoamento da água em condutos forçados de 0,6 a 2,6 (m/s). A perda de carga contínua pode ser determinada pela equação de Darcy-Weissbach ou pela equação de Hazen-Williams. A perda de carga localizada pode ser determinada pelo método do comprimento equivalente, método direto, estimada sobre a perda de carga contínua ou desprezada. A metodologia permite testar vários tubos de diâmetros e material distintos para a adutora do sistema. Para cada tubo testado na adutora, equipamentos como motobomba, inversor de frequência, posto de transformação de energia elétrica, banco de capacitores e sistema fotovoltaico são dimensionados e seus respectivos custos são levantados. É possível definir a taxa de juros anual e o tempo de vida útil do sistema para a determinação do fator de recuperação de capital e do payback com desconto. E também, o percentual sobre o custo de implantação para determinação do custo anual de manutenção. São considerados custo de operação os custos anuais referentes às manutenções e energia elétrica. Na metodologia apresentada o custo da energia elétrica é determinado após análise tarifária para determinar qual tarifa é mais viável economicamente. O banco de capacitores permite corrigir o fator de potência da motobomba, evitando multas na fatura de energia elétrica pelo excesso de consumo de

energia reativa, diminuindo as perdas por efeito Joule nos condutores e a queda de tensão do circuito elétrico de alimentação. O inversor de frequência possibilita regular o ponto de funcionamento do sistema e o respectivo rendimento da bomba, colaborando para a economia de energia elétrica. Para o sistema fotovoltaico on-grid, é possível definir a quantidade da energia a ser gerada em relação à energia consumida.

O equacionamento para as modelagens hidráulica, elétrica e econômica foram às apresentadas nos fundamentos teóricos desta tese. Para o desenvolvimento do aplicativo computacional essas equações foram utilizadas na construção do algoritmo.

5.2. Metodologia para verificação das hipóteses

Para verificação das hipóteses foi considerado a necessidade de desenvolvimento de 3 (três) projetos através do aplicativo computacional Supply para atender um sistema de recalque hipotético com uma bomba para captação superficial instalada de forma não afogada situado em Campo Grande – MS. Com altura geométrica de recalque de 75 metros e comprimento da linha de recalque de 500 metros. Na linha de recalque, estão instaladas as seguintes peças especiais: uma ampliação gradual, duas curvas de 90°, quatro curvas de 45°, um registro de gaveta, uma válvula de retenção e uma saída de canalização. A linha de sucção apresenta altura geométrica de 3 metros e comprimento total de 5 metros, sendo composta pelas seguintes peças especiais: uma redução gradual, uma curva de 90° e uma válvula de pé com crivo. A temperatura da água foi considerada igual a 20°C. A altitude do local de instalação da bomba é de 592 metros.

Para o cálculo do fator de recuperação de capital e do payback com desconto, considerou-se uma taxa de juros anual de 12% e uma vida útil do sistema de

20 anos. O custo anual de manutenção foi estimado como 5% do custo total de implantação.

Para verificação das hipóteses 1, 2 e 3 foi desenvolvido o primeiro projeto, considerado que o sistema deve recalcar o volume de 455,76 m³ de água por dia com o tempo de funcionamento diário de 12 horas por dia e com a vazão de projeto de 10,55 litros por segundo. Posteriormente, foi desenvolvido o segundo projeto, onde se aumentou o volume de 911,52 m³ de água por dia com o tempo de funcionamento diário de 24 horas por dia e com a vazão de projeto de 10,55 litros por segundo.

Para verificação da hipótese 4 foi desenvolvido o terceiro projeto considerado que o sistema deve recalcar o volume de 911,52 m³ de água por dia com o tempo de funcionamento diário de 12 horas e com a vazão de 21,1 litros por segundo. Posteriormente, se comparou o custo total anual, do segundo projeto com o terceiro projeto.

Todas as hipóteses foram verificadas observando os parâmetros econômicos como custo total anual, valor do investimento, payback com desconto e valor presente acumulado.

No desenvolvimento dos projetos, os sistemas fotovoltaicos on-grid foram projetados para gerar 40% da energia consumida e os bancos de capacitores, para corrigir os fatores de potência pra unidade.

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise e discussão dos resultados foi dividida em 2 (duas) partes.

- a) Apresentação do aplicativo computacional Supply.
- b) Verificação das hipóteses.

6.1. Apresentação do aplicativo computacional Supply

O aplicativo computacional Supply possui 13 janelas que foram desenvolvidas para realizar o dimensionamento econômico de sistemas de recalque de água. A figura 6 mostra a janela principal do aplicativo Supply com o menu principal no canto superior esquerdo, formado pelas guias: a) projeto, b) configurações e c) ajuda.

Figura 6. Janela principal do Supply



A guia projeto abre as opções: a) modelagem e composição do sistema, b) estimativa de consumo e c) dimensionamento econômico. A guia configurações abre as opções: a) propriedades físicas da água, b) pressão atmosférica local, c) faixa econômica de velocidades, d) parâmetros econômicos, e) parâmetros elétricos, f) custos

de implantação, g) custos de operação, h) parâmetros do sistema fotovoltaico e i) tempos de operação. Cada opção das guias projeto e configurações abre uma janela do aplicativo Supply. A guia ajuda abre as opções: a) ficha técnica, b) guia de utilização, c) artigo, d) tese, e) formulário, f) tabela de tubos, g) catálogo de bombas e h) catálogo de motores. Cada opção da guia ajuda abre um arquivo de texto na extensão pdf sobre o assunto, menos a opção guia de utilização, que abre um vídeo sobre a utilização do aplicativo.

As janelas abertas pelas opções da guia configurações possuem valor padrão para as grandezas.

A figura 7 mostra a janela propriedades físicas da água aberta pela opção da guia configurações.

Figura 7. Janela propriedades físicas da água

SUPPLY - PROPRIEDADES FÍSICAS DA ÁGUA	
Temperatura da água (°C):	20
Editar Carregar	
Densidade (kg/m³):	998,23
Viscosidade cinemática (m²/s):	1,01E-06
Pressão de vapor (m):	0,238

Essa janela permite variar a temperatura da água entre 0 e 100 (°C) e com isso, as propriedades físicas da água, utilizadas no desenvolvimento do projeto.

A figura 8 mostra a janela pressão atmosférica local aberta pela opção da guia configurações.

Figura 8. Janela pressão atmosférica local



SUPPLY - PRESSÃO ATMOSFÉRICA LOCAL

Altitude local (m): 592

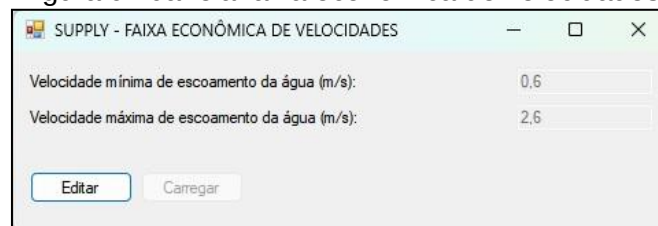
Editar Carregar

Pressão atmosférica local (m): 9,6012

Essa janela permite variar a altitude do local de instalação da bomba entre 0 e 3000 (m), e com isso, a pressão atmosférica local, utilizada no desenvolvimento do projeto.

A figura 9 mostra a janela faixa econômica de velocidade aberta pela opção da guia configurações.

Figura 9. Janela faixa econômica de velocidades



SUPPLY - FAIXA ECONÔMICA DE VELOCIDADES

Velocidade mínima de escoamento da água (m/s): 0,6

Velocidade máxima de escoamento da água (m/s): 2,6

Editar Carregar

Essa janela permite variar a faixa econômica de velocidades de escoamento da água em condutos forçados, e com isso, a recomendação dos valores de diâmetro a serem testados na adutora do sistema.

A figura 10 mostra a janela parâmetros econômicos aberta pela opção da guia configurações.

Figura 10. Janela parâmetros econômicos

SUPPLY - PARÂMETROS ECONÔMICOS

Taxa de juros (anual): 0,12

Vida útil do sistema (anos): 20

Editar Carregar

Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,134

Essa janela permite definir a taxa de juros anual e a vida útil do sistema, e com isso, o fator de recuperação de capital.

A figura 11 mostra a janela parâmetros elétricos aberta pela opção da guia configurações.

Figura 11. Janela parâmetros elétricos

SUPPLY - PARÂMETROS ELÉTRICOS

1) Limites para consumidores em baixa tensão:

☒ Motor menor ou igual a 30 cv

☐ Motor menor ou igual a 75 kW

2) Fator de potência:

Fator de potência de referência: 0,92

Fator de potência corrigido: 1

3) Controles:

Editar Resetar Carregar

Essa janela permite definir o limite para ligação de consumidores de energia elétrica na baixa tensão, o fator de potência de referência estabelecido pela ANEEL e o fator de potência corrigido da instalação após a utilização de banco de capacitores.

A figura 12 mostra a janela custos de implantação aberta pela opção da guia configurações.

Figura 12. Janela custos de implantação

SUPPLY - CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO

1) Custos considerados no dimensionamento:

- ☒ Tubulação da adutora
- ☒ Motobomba
- ☒ Inversor de frequência
- ☒ Posto de transformação
- ☒ Sistema fotovoltaico
- ☒ Banco de capacitores

2) Custo do posto de transformação de energia:

Potência aparente nominal	Custo (R\$)
30 kVA	23.560,00
45 kVA	29.360,00
75 kVA	39.760,00
112,5 kVA	60.560,00
150 kVA	72.560,00
225 kVA	105.231,00
300 kVA	136.847,00

3) Custo do banco de capacitores:

Potência reativa nominal	Custo (R\$)
5 kVAr	0.304,25
7,5 kVAr	0.518,39
10 kVAr	1.100,99
15 kVAr	1.590,00
20 kVA	1.918,00
30 kVAr	2.211,00
40 kVAr	3.209,00
50 kVAr	5.664,00

4) Custo da motobomba:

Potência nominal	Custo (R\$)
1 cv	1.184,90
1,5 cv	1.299,00
2 cv	1.382,90
3 cv	1.999,90
4 cv	3.637,90
5 cv	5.199,90
6 cv	6.121,80
7,5 cv	6.452,04
10 cv	8.145,14
12,5 cv	9.999,90
15 cv	10.462,81
20 cv	10.999,90
25 cv	16.880,31
30 cv	29.221,25
40 cv	32.200,90
50 cv	41.107,00
60 cv	44.506,36
75 cv	58.523,19
100 cv	77.957,94
125 cv	97.428,70
150 cv	116.881,00
175 cv	136.334,00
200 cv	155.787,00

5) Custo do inversor de frequência:

Potência nominal	Custo (R\$)
1 cv	1.300,55
1,5 cv	2.290,88
2 cv	2.621,05
3 cv	2.644,06
4 cv	2.783,98
5 cv	2.925,05
6 cv	3.504,55
7,5 cv	4.393,57
10 cv	5.037,72
12,5 cv	6.022,05
15 cv	7.956,59
20 cv	8.900,55
25 cv	9.745,58
30 cv	11.590,00
40 cv	13.081,50
50 cv	15.675,00
60 cv	21.683,59
75 cv	25.091,40
100 cv	32.836,60
125 cv	40.582,40
150 cv	48.327,90
175 cv	56.073,40
200 cv	63.318,90

6) Custo do sistema fotovoltaico:

Capacidade mensal	Custo (R\$)
500 kWh	10.899,00
700 kWh	13.229,00
1000 kWh	18.899,00
1200 kWh	20.599,00
1500 kWh	25.599,00
2000 kWh	33.093,60
2500 kWh	40.543,60
3000 kWh	47.993,60

7) Controles:

Editar Apagar Tudo Resetar Carregar

Essa janela permite definir os custos de implantação que serão considerados no dimensionamento econômico, assim como editar os valores dos equipamentos e sistemas.

A figura 13 mostra a janela custos de operação aberta pela opção da guia configurações.

Figura 13. Janela custos de operação

1) Custos considerados no dimensionamento:

- ☒ Energia elétrica
- ☒ Manutenções

2) Custo da energia elétrica:

Tarifa convencional em baixa tensão:

Consumo (R\$/kWh): 1,13

Tarifa horária branca em baixa tensão

Consumo no horário fora de ponta (R\$/kWh): 0,92

Consumo no horário intermediário (R\$/kWh): 1,54

Consumo no horário de ponta (R\$/kWh): 2,39

Tarifa horária verde em alta tensão

Consumo no horário fora de ponta (R\$/kWh): 0,55

Consumo no horário de ponta (R\$/kWh): 2,88

Demanda (R\$/kW): 44,52

Tarifa horária azul em alta tensão

Consumo no horário fora de ponta (R\$/kWh): 0,55

Consumo no horário de ponta (R\$/kWh): 0,77

Demanda no horário fora de ponta (R\$/kW): 44,52

Demanda no horário de ponta (R\$/kW):

Energia reativa excedente em alta tensão:

Consumo no horário fora de ponta (R\$/kWh): 0,43

Consumo no horário de ponta (R\$/kWh): 0,43

Demanda no horário fora de ponta (R\$/kW): 44,52

Demanda no horário de ponta (R\$/kW): 86,62

3) Custo de manutenção:

Percentual sobre o custo de implantação: 5,00

4) Controles:

Editar Apagar Tudo Resetar Carregar

Essa janela permite definir os custos de operação que serão considerados no dimensionamento econômico, assim como editar os valores das tarifas de energia e do percentual sobre o custo de implantação para determinação do custo anual de manutenção.

A figura 14 mostra a janela parâmetros do sistema fotovoltaico aberta pela opção da guia configurações.

Figura 14. Janela parâmetros do sistema fotovoltaico

Parâmetro	Valor
Tempo de exposição (h):	5.03
Rendimento do sistema fotovoltaico (decimal):	0.80
Fator de geração (decimal):	0.40
Potência do painel solar (W):	320
Fator de dimensionamento (adimensional):	1.00

Botões: Editar, Resetar, Carregar

Essa janela permite definir os parâmetros utilizados no dimensionamento do sistema fotovoltaico.

A figura 15 mostra a janela tempos de operação aberta pela opção da guia configurações.

Figura 15. Janela tempos de operação

Parâmetro	Valor
Número do sistema testado:	0
Tempo de funcionamento diário (h):	24
Tempo de funcionamento diário no horário fora de ponta (h):	19
Tempo de funcionamento diário no horário intermediário (h):	2
Tempo de funcionamento diário no horário de ponta (h):	3

Botões: Próximo Sistema, Editar, Carregar, Resetar Tudo, Finalizar

Parâmetro	Valor
Tempo de funcionamento anual no horário fora de ponta(h):	7485
Tempo de funcionamento anual no horário intermediário (h):	510
Tempo de funcionamento anual no horário de ponta (h):	765

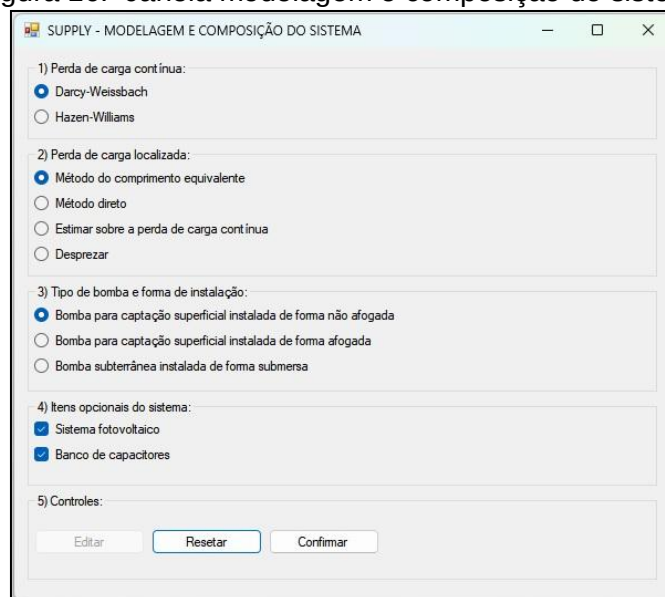
Essa janela permite definir os tempos de operação de cada sistema testado. Supply foi desenvolvido para maximizar a eficiência econômica dos sistemas de recalque de água, dessa forma, o horário mais econômico de funcionamento de uma motobomba e das 00:00 as 06:00, e depois, no tempo restante do horário fora de ponta e intermediário respectivamente e por último no horário de ponta. Supply distribui o

tempo dessa forma, mas devido a questões de análise e simulação de condições distintas de implantação e operação, a janela tempos de operação, permite distribuir o tempo da forma desejada pelo projetista.

Todas as opções da guia configurações abre uma janela, essas janelas devem ser editadas se necessário, antes de iniciar o dimensionamento econômico, com exceção da janela tempos de operação, que é utilizada durante o dimensionamento econômico para ajustar o tempo de operação para determinado período se necessário.

A figura 16 mostra a janela modelagem e composição do sistema aberta pela opção da guia projeto.

Figura 16. Janela modelagem e composição do sistema



SUPPLY - MODELAGEM E COMPOSIÇÃO DO SISTEMA

1) Perda de carga contínua:

- ☒ Darcy-Weissbach
- ☐ Hazen-Williams

2) Perda de carga localizada:

- ☒ Método do comprimento equivalente
- ☐ Método direto
- ☐ Estimar sobre a perda de carga contínua
- ☐ Desprezar

3) Tipo de bomba e forma de instalação:

- ☒ Bomba para captação superficial instalada de forma não afogada
- ☐ Bomba para captação superficial instalada de forma afogada
- ☐ Bomba subterrânea instalada de forma submersa

4) Itens opcionais do sistema:

- ☒ Sistema fotovoltaico
- ☒ Banco de capacitores

5) Controles:

Editar Resetar Confirmar

Essa janela permite definir a modelagem e a composição do sistema. Com a mesma é possível definir os métodos que serão utilizados para determinar as perdas de carga dos tipos contínua e localizada, o tipo de bomba e a forma de instalação. E, ainda, se o sistema irá possuir banco de capacitores e sistema fotovoltaico on-grid.

A figura 17 mostra a janela estimativa de consumo aberta pela opção da guia projeto.

Figura 17. Janela estimativa de consumo

SUPPLY - ESTIMATIVA DE CONSUMO

1) Volume diário de água:

Consumo específico de água por utilização:

Consumo específico adotado:

Fator de multiplicação:

Incluir Adicionar Apagar Dados Apagar Tudo Finalizar

2) Vazão de projeto:

Tempo de funcionamento diário (h): 20

Calcular Apagar Tudo

3) Resultados:

ESTIMATIVA DE CONSUMO

1) Volume de água diário:

1.1) Consumidor 1:

1.1.1) Tipo de consumidor: Apartamento 200 litros/pessoa

1.1.2) Consumo específico adotado (l/unidade): 200

1.1.3) Fator de multiplicação (unidades): 600

1.1.4) Volume de água (m³): 120

1.2) Consumidor 2:

1.2.1) Tipo de consumidor: Residência popular ou rural 120 a 150 litros/pessoa

1.2.2) Consumo específico adotado (l/unidade): 100

1.2.3) Fator de multiplicação (unidades): 1800

1.2.4) Volume de água (m³): 180

2) Volume total diário de água (m³): 300,00

3) Tempo diário de funcionamento (h): 20,00

4) Vazão (m³/s): 0,00417

Essa janela permite definir conforme a utilização e o tempo de funcionamento, o volume diário necessário de água e a vazão de projeto.

A figura 18 mostra a janela dimensionamento econômico aberta pela opção da guia projeto.

Figura 18. Janela dimensionamento econômico

Essa janela permite testar vários tubos distintos (diâmetro e material) na adutora do sistema e quantificar os custos. No final é apresentado o sistema com a maior eficiência econômica, ou seja, o de menor custo.

Observa-se que todos os parâmetros definidos nas outras janelas do aplicativo Supply são utilizados nesta, durante o dimensionamento econômico.

Supply não possui banco de dados, quando os parâmetros que compõem as diversas janelas são editados, permanecem dessa forma durante a execução do programa. Mas se o aplicativo é encerrado, quando for aberto novamente, os valores padrões serão reestabelecidos no sistema.

O memorial de cálculo do projeto pode ser copiado para um editor de texto onde é possível salvar, editar e armazenar o arquivo.

Anexo a esta tese, encontra-se um memorial de cálculo do desenvolvimento do primeiro projeto, obtido com o aplicativo computacional Supply.

6.2. Verificação das hipóteses

6.2.1. Primeiro projeto

No primeiro projeto o sistema deve recalcar o volume diário 455,76 m³ com tempo de funcionamento diário de 12 horas e com vazão de projeto de 10,55 L/s. Se considerou os pontos de operação de cada sistema testado, pela intersecção da curva do sistema com a curva da bomba na velocidade de rotação nominal. E, utilizando o inversor de frequência, foram selecionados também, os pontos de projeto e de máximo rendimento, para cada sistema testado.

A tabela 21 apresenta os tubos empregados nas tubulações de recalque e sucção, a descrição da bomba (marca, modelo, diâmetro do rotor e velocidade de rotação) para cada sistema testado e conforme o ponto de operação selecionado.

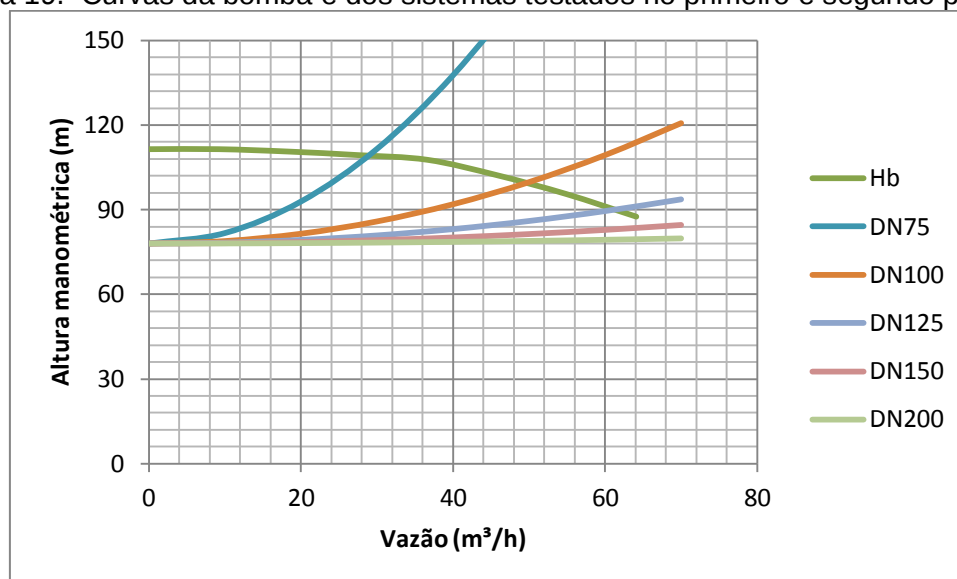
Tabela 21. Descrição dos sistemas testados do primeiro e segundo projetos

Sistema	Tubo da Adutora	Tubo de Sucção	Descrição da Bomba	Qp (m³/s)	hg (m)	hf (m)	Hp (m)
1	DN75 - PN125 - 69,3 mm	DN100 - PN60 - 96 mm	KSB 40-250 - 238 mm - 3500 rpm	0,01055	78,00	53,81	131,81
2	DN75 - PN125 - 69,3 mm	DN100 - PN60 - 96 mm	KSB 40-250 - 238 mm - 3877 rpm	0,01055	78,00	53,81	131,81
3	DN100 - PN125 - 93,4 mm	DN125 - PN60 - 118,2 mm	KSB 40-250 - 238 mm - 3500 rpm	0,01055	78,00	12,56	90,56
4	DN100 - PN125 - 93,4 mm	DN125 - PN60 - 118,2 mm	KSB 40-250 - 238 mm - 3258 rpm	0,01055	78,00	12,56	90,56
5	DN125 - PN125 - 115 mm	DN150 - PN60 - 142 mm	KSB 40-250 - 238 mm - 3500 rpm	0,01055	78,00	4,62	82,62
6	DN125 - PN125 - 115 mm	DN150 - PN60 - 142 mm	KSB 40-250 - 238 mm - 3126 rpm	0,01055	78,00	4,62	82,62
7	DN125 - PN125 - 115 mm	DN150 - PN60 - 142 mm	KSB 40-250 - 238 mm - 3335 rpm	0,01055	78,00	4,62	82,62
8	DN150 - PN125 - 138 mm	DN200 - PN125 - 182 mm	KSB 40-250 - 238 mm - 3500 rpm	0,01055	78,00	1,91	79,91
9	DN150 - PN125 - 138 mm	DN200 - PN125 - 182 mm	KSB 40-250 - 238 mm - 3079 rpm	0,01055	78,00	1,91	79,91
10	DN150 - PN125 - 138 mm	DN200 - PN125 - 182 mm	KSB 40-250 - 238 mm - 3260 rpm	0,01055	78,00	1,91	79,91
11	DN200 - PN125 - 182 mm	DN200 - PN125 - 182 mm	KSB 40-250 - 238 mm - 3500 rpm	0,01055	78,00	0,55	78,55
12	DN200 - PN125 - 182 mm	DN200 - PN125 - 182 mm	KSB 40-250 - 238 mm - 3057 rpm	0,01055	78,00	0,55	78,55
13	DN200 - PN125 - 182 mm	DN200 - PN125 - 182 mm	KSB 40-250 - 238 mm - 3206 rpm	0,01055	78,00	0,55	78,55

Onde: DN = diâmetro nominal; PN = pressão nominal; Tubo: diâmetro nominal - pressão nominal - diâmetro interno; Bomba: marca e modelo - diâmetro do rotor - velocidade de rotação; Qp = vazão de projeto; hg = altura geométrica; hf = perda de carga; Hp = altura manométrica de projeto. Legenda do ponto de operação: Intersecção (Preto); Projeto (Vermelho); Máximo Rendimento (Verde).

A figura 19 mostra as curvas da bomba e dos sistemas testados no primeiro e segundo projetos.

Figura 19. Curvas da bomba e dos sistemas testados no primeiro e segundo projetos



A tabela 22 apresenta os resultados de vazão e altura manométrica de operação, o tempo de funcionamento diário, as potências de saída e entrada e o rendimento da bomba e do motor, assim como o consumo diário de energia elétrica, por sistema testado e conforme o ponto de operação selecionado.

Tabela 22. Dados de operação dos sistemas testados do primeiro projeto

Sistema	Qo (m³/s)	Ho (m)	Tfd (h)	Psb (cv)	η_b	Psm (cv)	Pnm (cv)	η_m	$\cos \phi_m$	η_{mb}	Pem (kW)	Cde (kWh)	Classificação
1	0,00805	109,33	15,73	11,71	0,457	25,62	30	0,910	0,862	0,416	20,72	325,92	12
2	0,01055	79,03	12,00	18,50	0,504	36,71	40	0,903	0,873	0,455	29,92	359,08	13
3	0,01376	99,37	9,20	18,19	0,579	31,42	40	0,901	0,863	0,522	25,67	236,15	11
4	0,01055	90,56	12,00	12,71	0,547	23,24	25	0,895	0,872	0,490	19,11	229,33	10
5	0,01710	90,11	7,40	20,50	0,576	35,59	40	0,902	0,871	0,520	29,06	215,02	9
6	0,01055	82,61	12,00	11,60	0,555	20,90	25	0,895	0,860	0,497	17,18	206,18	7
7	0,01453	86,74	8,71	16,77	0,580	28,91	30	0,910	0,876	0,528	23,39	203,74	5
8	0,01888	84,12	6,71	21,13	0,552	38,28	40	0,903	0,877	0,498	31,18	209,22	8
9	0,01055	79,91	12,00	11,22	0,558	20,11	25	0,895	0,856	0,499	16,53	198,37	4
10	0,01467	81,70	8,63	15,95	0,580	27,50	30	0,910	0,870	0,528	22,24	191,90	2
11	0,02001	79,97	6,33	21,29	0,529	40,25	50	0,917	0,864	0,485	32,29	204,38	6
12	0,01055	78,55	12,00	11,03	0,560	19,70	20	0,890	0,878	0,498	16,28	195,39	3
13	0,01443	79,03	8,77	15,17	0,580	26,16	30	0,910	0,865	0,528	21,17	185,63	1

Onde: Qo = vazão de operação; Ho = altura manométrica de operação; Tfd = tempo de funcionamento diário; Psb = potência de saída da bomba; η_b = rendimento da bomba; Psm = potência de saída do motor; Pnm = potência nominal do motor; η_m = rendimento do motor; $\cos \phi_m$ = fator de potência do motor; η_{mb} = rendimento da motobomba; Pem = potência de entrada do motor; Cde = consumo diário de energia. Legenda do ponto de operação: Intersecção (Preto); Projeto (Vermelho); Máximo Rendimento (Verde).

O sistema 13 foi o de maior eficiência energética. Observa-se que a influência do diâmetro foi grande para determinação da eficiência energética. Os pontos de operação de máximo rendimento e de projeto obtidos com o auxílio do inversor de

frequência, também foram melhores em termos de eficiência energética, do que os pontos obtidos pela intersecção da curva do sistema com a curva da bomba na velocidade de rotação nominal.

O inversor de frequência não é somente utilizado para regular a velocidade de rotação da bomba, mas serve também, como dispositivo de partida e parada do sistema, evitando sobrecorrentes e golpe de aríete. No entanto, para o sistema operar no ponto de intersecção da curva do sistema com a curva da bomba na velocidade nominal de rotação, não é necessário o inversor de frequência para regular a velocidade de rotação. Por outro lado, a partida do motor terá que ser realizada por outro dispositivo como uma chave estrela-triângulo ou compensadora de partida e a parada irá demandar a instalação de uma ou mais válvulas. Fato que demanda um custo, mesmo que o inversor de frequência não seja utilizado. Com base no mencionado anteriormente, simulou-se o custo total anual dos sistemas testados, retirando o custo do inversor para os sistemas que operam no ponto de intersecção entre a curva do sistema e da bomba na velocidade nominal de rotação. A tabela 23 mostra o resultado do dimensionamento econômico por sistema testado e conforme o ponto de operação selecionado.

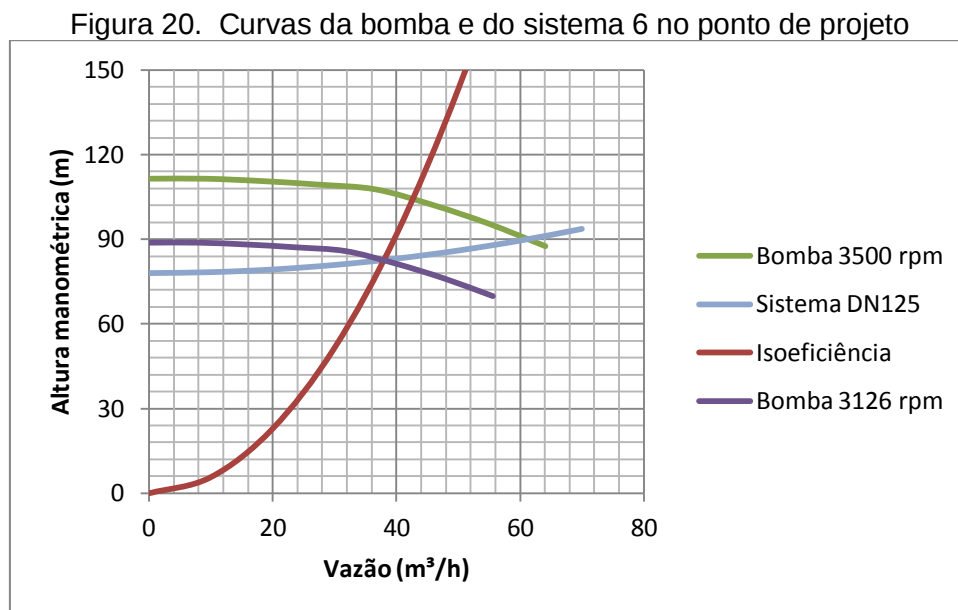
Tabela 23. Dimensionamento econômico do primeiro projeto

Sistema	Cta (R\$)	Cmb (R\$)	Cif (R\$)	Cpt (R\$)	Csf (R\$)	Cbc (R\$)	CI (R\$)	FRC	CIA (R\$)	Cae (R\$)	Cam (R\$)	COA (R\$)	CTA (R\$)	Classificação
1	9870,00	29221,25	0,00	23560,00	61447,40	1590,00	125688,65	0,13	16827,04	55155,97	6284,43	61440,40	78267,45	12
2	9870,00	32200,90	13081,50	23560,00	67364,28	1918,00	147994,68	0,13	19813,35	59137,17	7399,73	66536,90	86350,25	13
3	22555,00	32200,90	0,00	23560,00	47993,60	1918,00	128227,50	0,13	17166,94	44378,02	6411,38	50789,40	67956,34	7
4	22555,00	16880,31	9745,58	23560,00	47993,60	1590,00	122324,49	0,13	16376,65	43559,32	6116,22	49675,54	66052,20	3
5	34940,00	32200,90	0,00	23560,00	47993,60	1918,00	140612,50	0,13	18825,03	41841,33	7030,63	48871,96	67696,98	6
6	34940,00	16880,31	9745,58	23560,00	40543,60	1590,00	127259,49	0,13	17037,35	40780,32	6362,97	47143,29	64180,64	1
7	34940,00	29221,25	11590,00	23560,00	40543,60	1590,00	141444,85	0,13	18936,46	40487,59	7072,24	47559,83	66496,30	5
8	51260,00	32200,90	0,00	29360,00	47993,60	1918,00	162732,50	0,13	21786,43	41787,07	8136,63	49923,70	71710,12	10
9	51260,00	16880,31	9745,58	23560,00	40543,60	1100,99	143090,48	0,13	19156,78	39842,56	7154,52	46997,08	66153,86	4
10	51260,00	29221,25	11590,00	23560,00	40543,60	1590,00	157764,85	0,13	21121,37	39066,31	7888,24	46954,55	68075,92	8
11	56305,00	41107,00	0,00	29360,00	40543,60	1918,00	169233,60	0,13	22656,79	41794,43	8461,68	50256,11	72912,90	11
12	56305,00	10999,90	8900,55	23560,00	40543,60	1100,99	141410,04	0,13	18931,80	39484,68	7070,50	46555,18	65486,99	2
13	56305,00	29221,25	11590,00	23560,00	40543,60	1590,00	162809,85	0,13	21796,78	38313,38	8140,49	46453,87	68250,66	9

Onde: Cta = custo dos tubos da adutora; Cmb = Custo da motobomba; Cif = custo do inversor de frequência; Cpt = custo do posto de transformação; Csf = custo do sistema fotovoltaico; Cbc = custo do banco de capacitores; CI = custo de implantação; FRC = fator de recuperação de capital; CIA = custo de implantação anual; Cae = custo anual da energia elétrica; Cam = custo anual de manutenção; COA = custo de operação anual; CTA = custo total anual. Legenda do ponto de operação: Intersecção (Preto); Projeto (Vermelho); Máximo Rendimento (Verde).

O sistema 6 foi o de maior eficiência econômica, observa-se que a eficiência econômica prevaleceu sobre a eficiência energética, o sistema 6 é o sétimo em eficiência energética. Para a classificação do dimensionamento econômico, regular a velocidade de rotação da motobomba através do inversor de frequência, para o sistema operar no ponto de projeto é a melhor opção. Seguido pelo ponto de máximo rendimento e posteriormente pelo ponto de intersecção da curva do sistema com a curva da bomba na velocidade de rotação nominal.

A figura 20 mostra a alteração na curva da bomba para selecionar o ponto de projeto para o sistema 6. O ponto de projeto é obtido pela intersecção da parábola de isoefficiência com a curva do sistema. A curva da bomba foi alterada pela diminuição da velocidade de rotação da bomba de 3500 rpm para 3126 rpm.



O custo total anual do sistema 6 é de R\$ 64.180,64. Sem o inversor de frequência, o sistema com a maior eficiência econômica é o 5, com um custo total anual de R\$ 67.696,98. A utilização do inversor de frequência proporcionou uma redução de 5,2% no custo total anual, com uma economia anual de R\$ 3.516,35. Considerando o

investimento igual ao custo do inversor de frequência de R\$ 9.745,58. O payback com desconto foi de 3,6 anos e o valor presente acumulado de R\$ 16.519,60, ou seja, 1,7 vezes maior que o investimento.

Quanto à correção do fator de potência, o custo total anual sem banco de capacitores seria de R\$ 65.083,87. Portanto, a correção do fator de potência proporcionou uma redução de 1,4% no custo total anual, com uma economia anual de R\$ 1.126,74. Considerando o investimento igual ao custo do banco de capacitores de R\$ 1.590,00. O payback com desconto foi de 1,7 anos e o valor presente acumulado de R\$ 6.826,12, ou seja, 4,3 vezes maior que o investimento.

Quanto ao sistema fotovoltaico on-grid, o custo total anual sem o sistema fotovoltaico on-grid seria de R\$ 74.983,52. Portanto, o sistema fotovoltaico on-grid proporcionou uma redução de 14,4% no custo total anual, com uma economia anual de R\$ 16.502,20. Considerando o investimento igual ao custo do sistema fotovoltaico on-grid de R\$ 40.543,60. O payback com desconto foi de 3,1 anos e o valor presente acumulado de R\$ 82.719,05, ou seja, 2 vezes maior que o investimento.

Quanto ao posto de transformação, observa-se que o sistema 6 possui um motor com potência nominal de 25 cv e poderia ser ligado na baixa tensão. Não considerando a presença do sistema fotovoltaico on-grid, o custo anual da energia na baixa tensão é de R\$ 69.348,13. O custo anual da energia em alta tensão, incluindo os custos anuais equivalentes ao posto de transformação e sua respectiva manutenção, é de R\$ 60.594,09. A economia anual é de R\$ 8.754,04 e o investimento igual ao custo do posto de transformação de energia elétrica de R\$ 23.560,00. O payback com desconto foi de 3,5 anos e o valor presente acumulado foi de R\$ 41.827,81, ou seja, 1,8 vezes o valor do investimento.

Portanto, as hipóteses 1, 2 e 3 foram verificadas e comprovadas com o desenvolvimento do primeiro projeto através do aplicativo computacional Supply. As hipóteses 1, 2 e 3, também serão verificadas para o segundo projeto.

6.2.2. Segundo projeto

No segundo projeto o sistema deve recalcar o volume diário $911,52 \text{ m}^3$ com tempo de funcionamento diário de 24 horas e com vazão de projeto de $10,55 \text{ L/s}$. Se considerou os pontos de operação de cada sistema testado, pela intersecção da curva do sistema com a curva da bomba na velocidade de rotação nominal. E, utilizando o inversor de frequência, foram selecionados também, os pontos de projeto e de máximo rendimento, para cada sistema testado.

O sistema 1 foi descartado, pois sua vazão de operação é insuficiente para recalcar em um dia o volume de $911,52 \text{ m}^3$ de água. Os números dos sistemas testados no primeiro projeto e no segundo projeto são os mesmos, pois os mesmos são iguais, a única alteração é no volume de água e no tempo de funcionamento que foram dobrados.

A tabela 24 apresenta os resultados de vazão e altura manométrica de operação, o tempo de funcionamento diário, as potências de saída e entrada e o rendimento da bomba e do motor, assim como o consumo diário de energia elétrica, por sistema testado e conforme o ponto de operação selecionado.

Tabela 24. Dados de operação dos sistemas testados do segundo projeto

Sistema	Qo (m³/s)	Ho (m)	Tfd (h)	Psb (cv)	η_b	Psm (cv)	Pnm (cv)	η_m	cos ϕ_m	η_{mb}	Pem (kW)	Cde (kWh)	Classificação
2	0,01055	79,03	24,00	18,50	0,504	36,71	40	0,903	0,873	0,455	29,92	718,17	12
3	0,01376	99,37	18,40	18,19	0,579	31,42	40	0,901	0,863	0,522	25,67	472,30	11
4	0,01055	90,56	24,00	12,71	0,547	23,24	25	0,895	0,872	0,490	19,11	458,66	10
5	0,01710	90,11	14,81	20,50	0,576	35,59	40	0,902	0,871	0,520	29,04	430,04	9
6	0,01055	82,61	24,00	11,60	0,555	20,89	25	0,895	0,860	0,497	17,18	412,36	7
7	0,01453	86,74	17,43	16,77	0,580	28,91	30	0,910	0,876	0,528	23,38	407,49	5
8	0,01888	84,12	13,41	21,13	0,552	38,28	40	0,903	0,877	0,498	31,20	418,44	8
9	0,01055	79,91	24,00	11,22	0,558	20,10	25	0,895	0,856	0,499	16,53	396,74	4
10	0,01467	81,70	17,26	15,95	0,580	27,49	30	0,910	0,870	0,528	22,24	383,81	2
11	0,02001	79,97	12,65	21,29	0,529	40,25	50	0,917	0,864	0,485	32,31	408,76	6
12	0,01055	78,55	24,00	11,03	0,560	19,69	20	0,890	0,878	0,498	16,28	390,78	3
13	0,01443	79,03	17,55	15,17	0,580	26,16	30	0,910	0,865	0,528	21,15	371,27	1

Onde: Qo = vazão de operação; Ho = altura manométrica de operação; Tfd = tempo de funcionamento diário; Psb = potência de saída da bomba; η_b = rendimento da bomba; Psm = potência de saída do motor; Pnm = potência nominal do motor; η_m = rendimento do motor; cos ϕ_m = fator de potência do motor; η_{mb} = rendimento da motobomba; Pem = potência de entrada do motor; Cde = consumo diário de energia. Legenda do ponto de operação: Intersecção (Preto); Projeto (Vermelho); Máximo Rendimento (Verde).

Os dados de operação obtidos nas tabelas 22 e 24 são os mesmos, a única diferença está no consumo diário de energia, que dobrou. Pois, o tempo de funcionamento diário, também dobrou.

A tabela 25 mostra o resultado do dimensionamento econômico por sistema testado e conforme o ponto de operação selecionado.

Tabela 25. Dimensionamento econômico do segundo projeto

Sistema	Cta (R\$)	Cmb (R\$)	Cif (R\$)	Cpt (R\$)	Csf (R\$)	Cbc (R\$)	CI (R\$)	FRC	CIA (R\$)	Cae (R\$)	Cam (R\$)	COA (R\$)	CTA (R\$)	Classificação
2	9870,00	32200,90	13081,50	39760,00	131434,97	1918,00	228265,37	0,13	30559,89	138614,40	11413,27	150027,67	180587,56	12
3	22555,00	32200,90	0,00	29360,00	87564,62	1918,00	173598,52	0,13	23241,16	72729,02	8679,93	81408,95	104650,10	7
4	22555,00	16880,31	9745,58	29360,00	85131,11	1590,00	165262,00	0,13	22125,07	105142,45	8263,10	113405,55	135530,62	11
5	34940,00	32200,90	0,00	29360,00	80024,50	1918,00	178443,40	0,13	23889,78	67655,63	8922,17	76577,80	100467,58	4
6	34940,00	16880,31	9745,58	29360,00	76870,75	1590,00	169386,64	0,13	22677,28	96147,49	8469,33	104616,82	127294,10	10
7	34940,00	29221,25	11590,00	29360,00	76000,62	1590,00	182701,87	0,13	24459,90	64948,15	9135,09	74083,24	98543,15	3
8	51260,00	32200,90	0,00	29360,00	77955,45	1918,00	192694,35	0,13	25797,68	66905,29	9634,72	76540,01	102337,69	5
9	51260,00	16880,31	9745,58	29360,00	74083,33	1100,99	182430,21	0,13	24423,53	93112,18	9121,51	102233,69	126657,22	9
10	51260,00	29221,25	11590,00	29360,00	71776,01	1590,00	194797,26	0,13	26079,22	62105,61	9739,86	71845,47	97924,69	2
11	56305,00	41107,00	0,00	29360,00	76227,33	1918,00	204917,33	0,13	27434,08	66331,27	10245,87	76577,14	104011,22	6
12	56305,00	10999,90	8900,55	29360,00	73019,56	1100,99	179686,00	0,13	24056,14	91953,81	8984,30	100938,11	124994,25	8
13	56305,00	29221,25	11590,00	23560,00	69537,96	1590,00	191804,21	0,13	25678,51	60599,73	9590,21	70189,94	95868,45	1

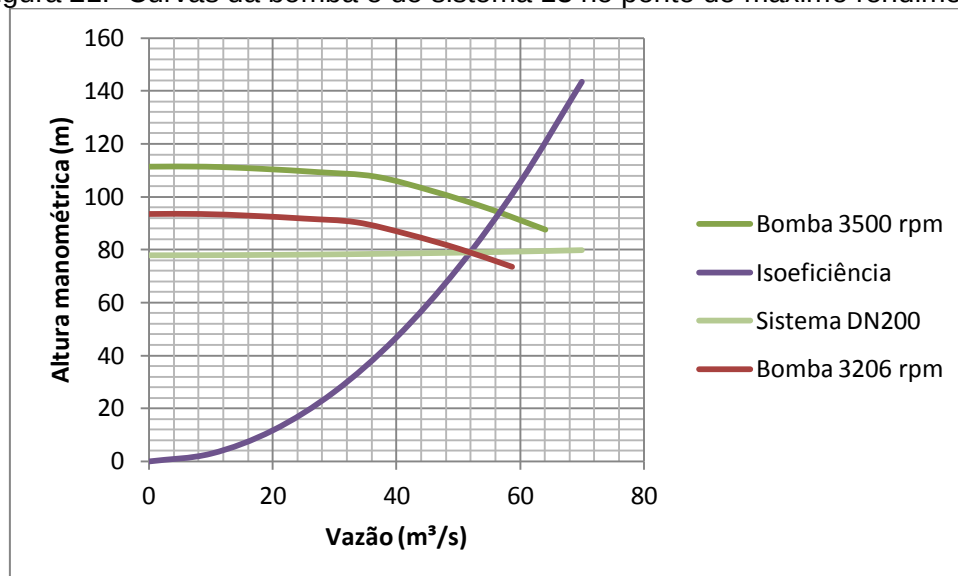
Onde: Cta = custo dos tubos da adutora; Cmb = Custo da motobomba; Cif = custo do inversor de frequência; Cpt = custo do posto de transformação; Csf = custo do sistema fotovoltaico; Cbc = custo do banco de capacitores; CI = custo de implantação; FRC = fator de recuperação de capital; CIA = custo de implantação anual; Cae = custo anual da energia elétrica; Cam = custo anual de manutenção; COA = custo de operação anual; CTA = custo total anual. Legenda do ponto de operação: Intersecção (Preto); Projeto (Vermelho); Máximo Rendimento (Verde).

O sistema 13 foi o de maior eficiência econômica, observa-se que a eficiência econômica acompanhou a eficiência energética, o sistema 13 é o primeiro em eficiência energética. Isso se deve ao aumento de consumo de energia elétrica e ao custo elevado desse recurso no horário de ponta. Para a classificação do dimensionamento econômico, regular a velocidade de rotação da motobomba através do inversor de

frequência, para o sistema operar no ponto de máximo rendimento é a melhor opção. Seguido pelo ponto de intersecção da curva do sistema com a curva da bomba na velocidade de rotação nominal e posteriormente pelo ponto de projeto.

A figura 21 mostra a alteração na curva da bomba para selecionar o ponto de máximo rendimento para o sistema 13. O ponto de máximo rendimento é obtido pela intersecção da parábola de isoefficiência com a curva do sistema. A curva da bomba foi alterada pela diminuição da velocidade de rotação da bomba de 3500 rpm para 3026 rpm.

Figura 21. Curvas da bomba e do sistema 13 no ponto de máximo rendimento



O custo total anual do sistema 13 é de R\$ 95.868,45. Sem o inversor de frequência, o sistema com a maior eficiência econômica é o 5, com um custo total anual de R\$ 100.467,58. A utilização do inversor de frequência proporcionou uma redução de 4,6% no custo total anual, com uma economia anual de R\$ 4.599,13. Considerando o investimento igual ao custo do inversor de frequência de R\$ 11.590,00. O payback com desconto foi de 3,3 anos e o valor presente acumulado de R\$ 22.762,94, ou seja, 2 vezes maior que o investimento.

Quanto à correção do fator de potência, o custo total anual sem banco de capacitores seria de R\$ 98.078,54. Portanto, a correção do fator de potência proporcionou uma redução de 2,3% no custo total anual, com uma economia anual de R\$ 1.126,74. Considerando o investimento igual ao custo do banco de capacitores de R\$ 2.210,09. O payback com desconto foi de 0,8 anos e o valor presente acumulado de R\$ 14.918,14, ou seja, 9,4 vezes maior que o investimento.

Quanto ao sistema fotovoltaico on-grid, o custo total anual sem o sistema fotovoltaico on-grid seria de R\$ 115.808,45. Portanto, o sistema fotovoltaico on-grid proporcionou uma redução de 17,2% no custo total anual, com uma economia anual de R\$ 29.715,14. Considerando o investimento igual ao custo do sistema fotovoltaico on-grid de R\$ 69.537,96. O payback com desconto foi de 2,9 anos e o valor presente acumulado de R\$ 152.417,60, ou seja, 2,2 vezes maior que o investimento.

Quanto ao posto de transformação, observa-se que o sistema 13 possui um motor com potência nominal de 30 cv e poderia ser ligado na baixa tensão. Não considerando a presença do sistema fotovoltaico on-grid, o custo anual da energia na baixa tensão é de R\$ 124.875,74. O custo anual da energia em alta tensão, incluindo os custos anuais equivalentes ao posto de transformação e sua respectiva manutenção, é de R\$ 93.627,44. A economia anual é de R\$ 31.248,29 e o investimento igual ao custo do posto de transformação de energia elétrica de R\$ 23.560,00. O payback com desconto foi de 0,8 anos e o valor presente acumulado foi de R\$ 209.847,34, ou seja, 8,9 vezes o valor do investimento.

Portanto, as hipóteses 1, 2 e 3 foram verificadas e comprovadas com o desenvolvimento do primeiro e segundo projetos através do aplicativo computacional Supply.

6.2.3. Terceiro projeto

No terceiro projeto o sistema deve recalcar o volume diário 911,52 m³ com tempo de funcionamento diário de 12 horas e com vazão de projeto de 21,1 L/s. Se considerou os pontos de operação de cada sistema testado, pelo ponto de projeto. Obtidos utilizando o inversor de frequência, para cada sistema testado. Para realizar esse projeto se trocou a bomba e as tubulações testadas no sistema. A ideia e projetar um sistema de maior capacidade para substituir um sistema que esta no limite máximo de operação, e com isso, verificar a hipótese 4.

A tabela 26 apresenta os tubos empregados nas tubulações de recalque e sucção, a descrição da bomba (marca, modelo, diâmetro do rotor e velocidade de rotação) para cada sistema testado e para o ponto de operação de projeto.

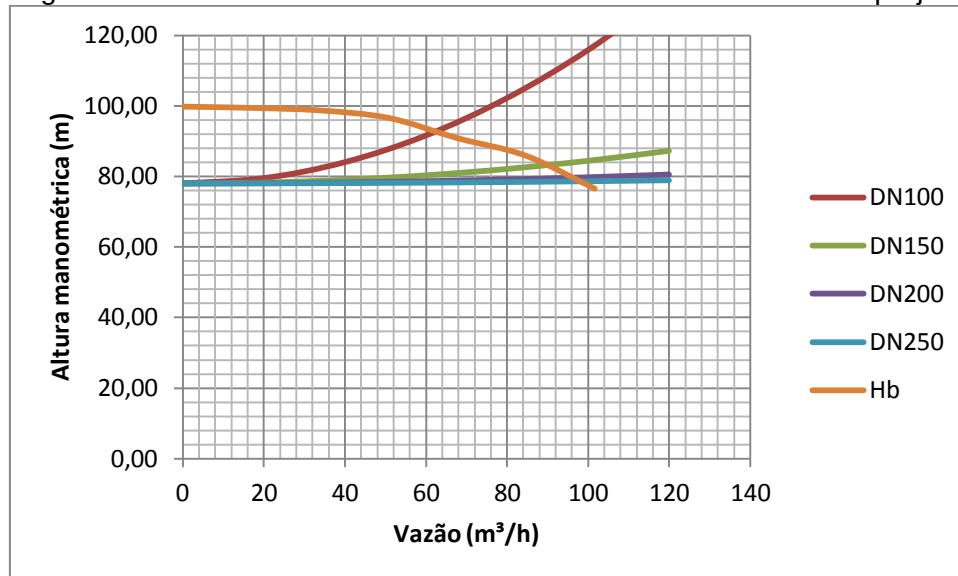
Tabela 26. Descrição dos sistemas testados do terceiro projeto

Sistema	Tubo da Adutora	Tubo de Sucção	Descrição da Bomba	Qp (m³/s)	hg (m)	hf (m)	Hp (m)
1	DN100 - PN125 - 108,4 mm	DN150 - PN60 - 162,2 mm	KSB 50-250 - 220 mm - 3691 rpm	0,02110	78,00	21,87	99,87
2	DN150 - PN125 - 156,4 mm	DN200 - PN60 - 212 mm	KSB 50-250 - 220 mm - 3390 rpm	0,02110	78,00	3,73	81,73
3	DN200 - PN125 - 204,2 mm	DN250 - PN60 - 261,6 mm	KSB 50-250 - 220 mm - 3339 rpm	0,02110	78,00	1,06	79,06
4	DN250 - PN125 - 252 mm	DN300 - PN60 - 311,2 mm	KSB 50-250 - 220 mm - 3328 rpm	0,02110	78,00	0,39	78,39

Onde: DN = diâmetro nominal; PN = pressão nominal; Tubo: diâmetro nominal - pressão nominal - diâmetro interno; Bomba: marca e modelo - diâmetro do rotor - velocidade de rotação; Qp = vazão de projeto; hg = altura geométrica; hf = perda de carga; Hp = altura manométrica de projeto.

A figura 22 mostra as curvas da bomba e dos sistemas testados no terceiro projeto.

Figura 22. Curvas da bomba e dos sistemas testados no terceiro projeto



A tabela 27 apresenta os resultados de vazão e altura manométrica de operação, o tempo de funcionamento diário, as potências de saída e entrada e o rendimento da bomba e do motor, assim como o consumo diário de energia elétrica, por sistema testado para o ponto de operação de projeto.

Tabela 27. Dados de operação dos sistemas testados do terceiro projeto

Sistema	Qo (m³/s)	Ho (m)	Tfd (h)	Psb (cv)	η_b	Psm (cv)	Pnm (cv)	η_m	cos ϕ_m	η_{mb}	Pem (kW)	Cde (kWh)	Classificação
1	0,02110	99,87	12,00	28,04	0,656	42,74	50	0,918	0,868	0,602	34,27	411,20	4
2	0,02110	81,73	12,00	24,03	0,661	36,35	40	0,903	0,873	0,597	28,29	339,51	3
3	0,02110	79,06	12,00	22,20	0,661	33,59	40	0,901	0,867	0,596	27,43	329,15	2
4	0,02110	78,39	12,00	22,01	0,661	33,30	40	0,901	0,867	0,596	27,20	326,36	1

Onde: Qo = vazão de operação; Ho = altura manométrica de operação; Tfd = tempo de funcionamento diário; Psb = potência de saída da bomba; η_b = rendimento da bomba; Psm = potência de saída do motor; Pnm = potência nominal do motor; η_m = rendimento do motor; cos ϕ_m = fator de potência do motor; η_{mb} = rendimento da motobomba; Pem = potência de entrada do motor; Cde = consumo diário de energia.

O sistema 4 foi o de maior eficiência energética. Observa-se que a influência do diâmetro foi grande para determinação da eficiência energética.

A tabela 28 mostra o resultado do dimensionamento econômico por sistema testado e conforme o ponto de operação de projeto.

Tabela 28. Dimensionamento econômico do terceiro projeto

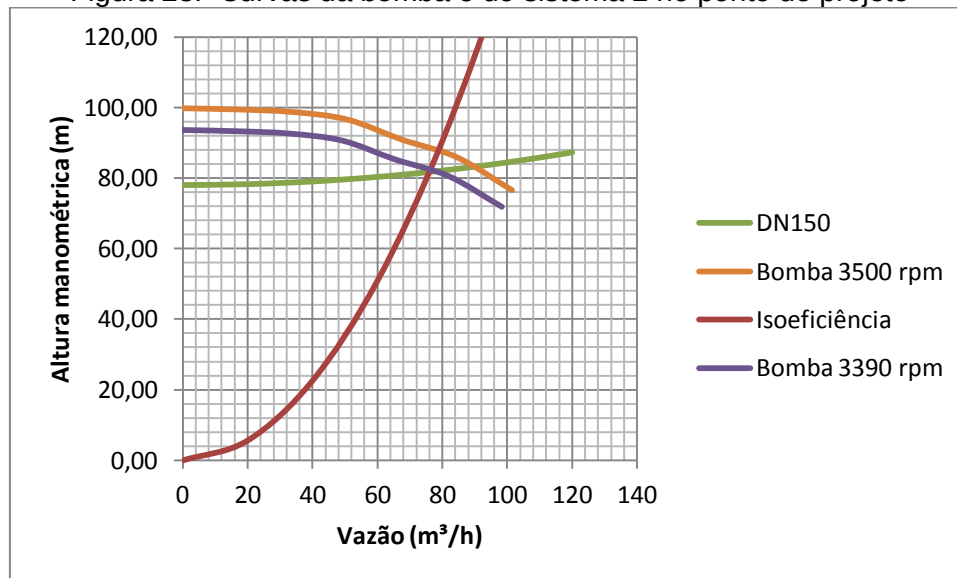
Sistema	Cta (R\$)	Cmb (R\$)	Cif (R\$)	Cpt (R\$)	Csf (R\$)	Cbc (R\$)	CI (R\$)	FRC	CIA (R\$)	Cae (R\$)	Cam (R\$)	COA (R\$)	CTA (R\$)	Classificação
1	31645,00	41107,00	15675,00	29360,00	76662,98	1918,00	196367,98	0,13	26289,51	67673,17	9818,40	77491,57	103781,07	3
2	64610,00	32200,90	13081,50	23560,00	63872,12	1918,00	199242,52	0,13	26674,35	56787,45	9962,13	66749,58	93423,92	1
3	110440,00	32200,90	13081,50	23560,00	62023,18	1918,00	243223,58	0,13	32562,48	55543,39	12161,18	67704,57	100267,05	2
4	168460,00	32200,90	13081,50	23560,00	61525,47	1918,00	300745,87	0,13	40263,49	55208,50	15037,29	70245,79	110509,28	4

Onde: Cta = custo dos tubos da adutora; Cmb = Custo da motobomba; Cif = custo do inversor de frequência; Cpt = custo do posto de transformação; Csf = custo do sistema fotovoltaico; Cbc = custo do banco de capacitores; CI = custo de implantação; FRC = fator de recuperação de capital; CIA = custo de implantação anual; Cae = custo anual da energia elétrica; Cam = custo anual de manutenção; COA = custo de operação anual; CTA = custo total anual.

O sistema 2 foi o de maior eficiência econômica, observa-se que a eficiência econômica prevaleceu sobre a eficiência energética, o sistema 2 é o terceiro em eficiência energética.

A figura 23 mostra a alteração na curva da bomba para selecionar o ponto de projeto para o sistema 2. O ponto de projeto é obtido pela intersecção da parábola de isoefficiência com a curva do sistema. A curva da bomba foi alterada pela diminuição da velocidade de rotação da bomba de 3500 rpm para 3390 rpm.

Figura 23. Curvas da bomba e do sistema 2 no ponto de projeto



O custo total anual do sistema 2 é de R\$ 93.423,92. O custo total anual obtido é menor do que qualquer custo total anual apresentado na tabela 25. Portanto, dobrar a vazão para reduzir o tempo de operação de sistemas que estão trabalhando no

limite, é viável economicamente. Esse fato, se deve, ao custo mais elevado da energia no horário de ponta e principalmente, ao maior rendimento da bomba para maior vazão ou potência nominal.

6.2.4. Resumo dos resultados

O aplicativo computacional Supply colaborou com a verificação e comprovação de todas as hipóteses levantadas nesta pesquisa. Dessa forma, foi comprovado que aprimorar a metodologia para considerar técnicas alternativas de dimensionamento de equipamentos e sistema, como: o inversor de frequência, o posto de transformação de energia elétrica, o banco de capacitores e o sistema fotovoltaico on-grid. Colabora com o incremento da eficiência econômica dos sistemas de recalque de água e com utilização racional da energia elétrica. A utilização do aplicativo computacional Supply colabora com viabilidade de implantação e operação dos sistemas de bombeamento de água e com a sustentabilidade e preservação do meio ambiente.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aplicativo computacional Supply é uma ferramenta robusta e inovadora para elaboração de projetos e simulação de condições distintas de implantação e operação do sistema, que permite a otimização e modernização dos sistemas de recalque de água com a finalidade de promover o incremento da eficiência econômica, o uso racional da energia elétrica, a sustentabilidade e a preservação do meio ambiente. A ferramenta pode ser utilizada tanto no ensino e na pesquisa, como no desempenho da função de profissionais da área.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. 2021. Resolução Normativa nº 1.000 de 7 de dezembro de 2021. 309 páginas.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. 2023. Resolução Normativa nº 1.059 de 7 de fevereiro de 2023. 45 páginas.
- ALEXANDRE, L. H. C; SILVA, S. M. C. P; FERNANDES, F. 2021. Avaliação do consumo de energia elétrica em estações elevatórias para abastecimento de água com diferentes configurações de sistemas. Revista DAE. São Paulo, v. 9, n. 32, p. 174-188, out./dez.
- ALVES, M. C. S; FILHO, J. I. S. 2020. Uso de inversores de frequência em aplicações de bombeamento de água para instalações prediais. Brazilian Applied Science Review. Curitiba, v. 4, n. 1, p. 13-23.
- ANDRADE, L.; CARVALHO, J. A. 2000. Software para suporte hidráulico. In:INFOAGRO2000 / CONGRESSO E MOSTRA DE INFORMÁTICA, Ponta Grossa, 2000. Anais... Ponta Grossa, Departamento de Informática da UEPG. 6 páginas.
- ANDRADE, L.; CARVALHO, J. A. 2001a. Desenvolvimento de software para dimensionamento de sistemas de recalque. Revista de Brasileira de Agrocomputação, v. 1, n. 1, p. 22 – 29.
- ANDRADE, L.; CARVALHO, J. A. 2001b. Análise da equação de Swamee-Jain para o cálculo do fator de atrito. Revista de Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 5, n. 3, p. 554 – 557.
- AZEVEDO NETTO, J. M; FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ, M. 2018. Manual de hidráulica. 9ª edição. São Paulo. Edgar Blucher. 632 páginas.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. 2006. Manual de irrigação. Viçosa: Ed. UFV, 625 páginas.
- BISCARO, G. A. 2009. Sistema de irrigação por aspersão. Dourados: Ed. UFGD. 134 páginas.
- BRITO, A. U; FEDRIZZI, M. C; ZILLES, R. 2007. Uso do conversor de frequência como dispositivo de condicionamento de potência em sistema fotovoltaico de bombeamento de água. I CBENS – I Congresso Brasileiro de Energia Solar. Fortaleza. 7 páginas.
- CALDAS, A. L. D; CARVALHO, J. A; REZENDE, F. C. 2016. Determinação da velocidade econômica em adutoras sob diferentes condições de custo e funcionamento. REVENG. Viçosa, v. 25, n. 6, p. 503-516.
- CARVALHO, J. A.; OLIVEIRA, L. F. C. 2008. Instalações de bombeamento para irrigação hidráulica e consumo de energia. Lavras: Ed. UFLA. 354 páginas.

- CLEMENTE, T. L. F; ROCHA, E. P; MOURA, A. A. F; AGUIAR, V. P. B. 2022. Influência da geração solar fotovoltaica no fator de potência de unidades consumidoras do grupo A: Um estudo de caso UFERSA – Campus Mossoró. Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica – R4EM. v. 4, n. 2, p. 07-18.
- CORDEIRO, N. D; COUCEIRO, M. A. 2024. Sistema fotovoltaico no Brasil e em Roraima e as diferenças entre os sistemas on-grid e off-grid. Revista de Administração de Roraima – RARR. v. 15, 19 páginas.
- CORGOZINHO, I. M; PROCÓPIO, O. L; XAVIER, M. V. E; OLIVEIRA, L. G. M; MACÊDO, W. N. 2016. Simulação computacional e análise de um sistema fotovoltaico para bombeamento de água para irrigação com uso de software Trnsys. VI Congresso Brasileiro de Energia Solar. Belo Horizonte, 8 páginas.
- CUNHA, Y. S; OLIVEIRA, M. S. 2021. Estudo do dimensionamento de instalações elevadas de reservatórios e sistemas de recalque de água fria em prédios residenciais, utilizando tabelas dinâmicas. Educação, Sociedade e Meio Ambiente: Práticas, Políticas e Inovação. Rio de Janeiro, 32 páginas.
- ENERGISA. 2024. Norma de Distribuição Unificada – NDU 001. Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária a Edificações Individuais. 162 páginas.
- ENERGISA. 2024. Norma de Distribuição Unificada – NDU 002. Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária. 234 páginas.
- ENERGISA. 2024. Norma de Distribuição Unificada – NDU 013. Critérios para a Conexão em Baixa Tensão de ACESSANTES de Geração Distribuída ao Sistema de Distribuição. 72 páginas.
- ENERGISA. 2024. Norma de Distribuição Unificada – NDU 015. Critérios para a Conexão em Média Tensão de ACESSANTES de Geração Distribuída ao Sistema de Distribuição. 110 páginas
- FILHO, D. O; RIBEIRO, M. C; MANTOVANI, E. C; SOARES, A. A; FERNANDES, H. C. 2010. Dimensionamento de motores para o bombeamento de água. Engenharia Agrícola., v. 30, n. 6, p. 1012 – 1022.
- FLORES, D. M. 2014a. Supply – Aplicativo computacional para o dimensionamento econômico de sistemas prediais de recalque de água. Campo Grande, MS: UFMS. 84 páginas.
- FLORES, D. M. 2014b. Irrigar – Aplicativo computacional para o dimensionamento econômico de sistemas de irrigação por aspersão convencional. Dourados, MS: UFGD. 147 páginas.
- FLORES, D. M; GONÇALVES; F. V; GEISENHOF, L. O. 2021. Metodologia para determinação do fator de atrito da equação universal para condutos forçados utilizados no recalque de água. IV Seminário sobre Pesquisa, Gestão e Conservação dos Recursos Hídricos & IV Semana Acadêmica de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMT. 9 páginas.

- FLORES, D. M; GONÇALVES; F. V; POMPEU, R. M; IDE, C. N; SHINMA, E. A. 2025. Dimensionamento econômico de sistemas de recalque de água alimentado por sistema fotovoltaico on-grid. RGSA – Revista de Gestão Social e Ambiental. Miami, v. 19, n. 7, p. 1-19.
- FREIRE, P. K. C. 2000. Estudo comparativo entre metodologias para o dimensionamento de adutoras. Campina Grande, PB: UFPB. 140 páginas.
- GOMES, H. P. 2001. Dimensionamento econômico de sistemas de recalque. Engenharia sanitária e ambiental. v. 6, n. 3, p. 108 – 114.
- GEISENHOF, L. O; FLORES, D. M; GOMES FILHO, R. R; SANTOS, R. C; JORDAN, R. A; OLIVEIRA, L. C. 2018. Irrigar – Aplicativo computacional para o dimensionamento econômico de sistemas de irrigação por aspersão convencional. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada. v. 12, n. 4, p. 2761 – 2775.
- JUNIOR, F. G. S; PEDREIRO, M. R. M. 2023. Avaliação e dimensionamento hidráulico de um sistema de abastecimento de água em zona rural. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação. São Paulo, v. 9, n. 10.
- JUSTINO, D.; NOGUEIRA, É. 2012. Dimensionamento do sistema de recalque para abastecimento de água da comunidade de Macandú, distrito de São João Marcos, município de Rio Claro, Rio de Janeiro. Cadernos Unifoa. Edição n. 18. 15 páginas.
- KSB. Manual de curvas características: meganorm, megabloc e megachem. 75 páginas.
- KURITZA, J. C; KEMPKA, M; PRA, M. D; BRAVO, J. M; MARQUES, M. G. 2022. Dimensionamento de adutora e reservatório em sistemas de bombeamento de água a partir da otimização de regras de operação. Revista DAE. São Paulo, v. 70, n. 236, p. 167-181.
- LIMA NETO, J. F; REIS, I. D. 2025. Correção do fator de potência com bancos de capacitores automáticos: Um estudo de caso em ambiente industrial. Revista Contemporânea. v. 5, n. 6, 17 páginas.
- MACINTYRE, A. J. 1996. Instalações hidráulicas: prediais e industriais. 3º Edição. LTC. 632 páginas.
- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. Irrigação: princípios e métodos. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 355 páginas.
- MARTIM, A. L. S. S; PERINI, L. B; SODEK, D. B; TASCA, E. A; FILHO, J. G. D. 2020. Renovação de adutoras: uma abordagem do ponto de vista da eficiência energética. Revista DAE. São Paulo, v. 68, n. 226, p. 213-225.
- OLIVEIRA, E. M; PERBICHE, J. P. 2024. Desenvolvimento de um projeto residencial de energia fotovoltaica on-grid: atendendo as regulamentações específicas. Revista Tecnológica - uniFATEC. Curitiba, v. 15, n. 1, p. 01-16.

- PEREIRA, R. F. A. 2021. Bombeamento de água utilizando sistemas fotovoltaicos. *Engineering Sciences*. v. 9, n. 1, p. 85-91.
- PERRONI, B. L. T.; CARVALHO, J. A.; FARIA L. C. 2011. Velocidade econômica de escoamento e custos de energia de bombeamento. *Engenharia Agrícola*. v. 31, n. 3, p. 487 – 496.
- PIMENTA, B. D; ROBAINA, A. D; PEITER, M. X; BRUNING, J; NETO, M. C; FLORES, Y. R. 2019. Modelo matemático para determinação do diâmetro econômico de tubulações de recalque. *Irriga. Botucatu*, v. 24, n. 1, p. 208-219.
- ROBAINA, A. D.; CALGARO, M.; PEITER, M. X. 2004. Tubulações em sistemas de recalque. *Ciência Rural*, v. 34, n. 4, p. 1065 – 1068.
- RODRIGUES, W. 2007. Critérios para o uso eficiente de inversores de frequência em sistemas de bombeamento de água. Campinas, SP: Unicamp. 234 páginas.
- Rodrigues, G. F; Minotti, C; Florian, F. 2022. Energia fotovoltaica – Aplicação sistema on-grid em residência. *Revista Científica Recima21*. v. 3, n. 1, 12 páginas.
- SANTIAGO, A. L. S; SOWMY, D. 2022. Sistema fotovoltaico de bombeamento de água: Aplicação piloto em poço tubular profundo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Canela. Anais... Porto Alegre: ANTAC, p. 1-13.
- SANTOS, V. S; TATEOKI, G. T. 2024. Estudo e projeto de um sistema de análise de correção de fator de potência otimizada para fins didáticos utilizando um banco de capacitores e o dispositivo DL69-2048 e/ou D52-2048. *Brazilian Journal of Development*. Curitiba, v. 10, n. 2, p. 01-15.
- SANTOS, E. V; FAIA, C. B. M; ANDRADE, C. M. G. 2025. Influência de um sistema fotovoltaico no fator de potência de uma indústria de confecção infantil em Terra Roxa/PR. *Revista Contribuciones a Las Ciencias Sociales*. São José dos Pinhais, v. 18, n. 3, p. 01-10.
- SCHMIDT, F. H. G; SOUZA, C. A; SPERANDIO, M. 2020. Análise do impacto da inserção de geração distribuída de fonte fotovoltaica no fator de potência da rede elétrica. *Revista Brasileira Automática*. Congresso Brasileiro de Automática – CBA. 6 páginas.
- WEG. Motores elétricos: linha de produtos, características, especificações, instalações e manutenções. 157 páginas.
- ZOCOLER, J. L; OLIVEIRA, L. A. F; BAGIO FILHO, F. C; HERNANDEZ, F. B. T. 2004. Modelo para determinação do diâmetro e velocidade de escoamento econômica em sistemas elevatórios de água. *Anais do 3º Congresso Temático*

9. ANEXO

9.1. Memorial de cálculo do primeiro projeto obtido com o aplicativo computacional

Supply

DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO

1) Modelagem e composição do sistema:

1.1) Método para a determinação da perda de carga contínua: Darcy-Weissbach

1.2) Método para a determinação da perda de carga localizada: Método do comprimento equivalente

1.3) Tipo de bomba e forma de instalação: Bomba para captação superficial instalada de forma não afogada

1.4) Item opcional: Sistema com geração fotovoltaica

1.5) Item opcional: Sistema com correção do fator de potência por banco de capacitores

2) Propriedades físicas da água em função da temperatura:

2.1) Temperatura da água (°C): 20,00

2.2) Densidade da água (kg/m³): 998,23

2.3) Viscosidade cinemática da água (m²/s): 1,01E-06

2.4) Pressão de vapor da água (m): 0,238

3) Pressão atmosférica local em função da altitude:

3.1) Altitude local (m): 592,00

3.2) Pressão atmosférica local (m): 9,60

4) Dados iniciais do sistema:

4.1) Tempo de funcionamento diário (h/dia): 12,00

4.2) Vazão de projeto (m^3/s): 0,01055

4.3) Volume diário de água (m^3/dia): 455,76

4.4) Altura geométrica de recalque (m): 75,00

4.5) Altura geométrica de sucção (m): 3,00

4.6) Pressão adicional na saída do sistema (m): 0,00

4.7) Comprimento da linha de recalque (m): 500,00

4.8) Comprimento da linha de sucção (m): 5,00

4.9) Velocidade mínima de escoamento da água na adutora (m/s): 0,60

4.10) Velocidade máxima de escoamento da água na adutora (m/s): 2,60

4.11) Diâmetro mínimo a ser testado na adutora (mm): 71,88

4.12) Diâmetro máximo a ser testado na adutora (mm): 149,63

5) Relação de peças especiais da linha de recalque:

5.1) Item 1: Ampliação gradual

5.1.1) Quantidade (unidades): 1

5.1.2) Número de diâmetros (unidades): 12

5.2) Item 2: Válvula de retenção

5.2.1) Quantidade (unidades): 1

5.2.2) Número de diâmetros (unidades): 100

5.3) Item 3: Registro de gaveta aberto

5.3.1) Quantidade (unidades): 1

5.3.2) Número de diâmetros (unidades): 8

5.4) Item 4: Curva de 90°

5.4.1) Quantidade (unidades): 2

5.4.2) Número de diâmetros (unidades): 30

5.5) Item 5: Curva de 45°

5.5.1) Quantidade (unidades): 4

5.5.2) Número de diâmetros (unidades): 15

5.6) Item 6: Saída de canalização

5.6.1) Quantidade (unidades): 1

5.6.2) Número de diâmetros (unidades): 35

6) Relação de peças especiais da linha de sucção:

6.1) Item 1: Válvula de pé com crivo

6.1.1) Quantidade (unidades): 1

6.1.2) Número de diâmetros (unidades): 250

6.2) Item 2: Curva de 90°

6.2.1) Quantidade (unidades): 1

6.2.2) Número de diâmetros (unidades): 30

6.3) Item 3: Redução gradual

6.3.1) Quantidade (unidades): 1

6.3.2) Número de diâmetros (unidades): 6

7) Tubulações testadas no sistema:

7.1) Sistema testado número: 1

7.1.1) Pressão nominal do tubo da adutora: 125

7.1.2) Diâmetro nominal do tubo da adutora: 75

7.1.3) Diâmetro interno da adutora (mm): 69,3

7.1.4) Material do tubo da adutora: PVC

7.1.5) Rugosidade absoluta do tubo da adutora (mm): 0,02000

7.1.6) Custo unitário da adutora (R\$/m): 19,74

7.1.7) Pressão nominal do tubo de sucção: 60

7.1.8) Diâmetro nominal do tubo de sucção: 100

7.1.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 96

7.1.10) Material do tubo de sucção: PVC

7.1.11) Rugosidade absoluta do tubo de sucção (mm): 0,02000

7.2) Sistema testado número: 2

7.2.1) Pressão nominal do tubo da adutora: 125

7.2.2) Diâmetro nominal do tubo da adutora: 75

7.2.3) Diâmetro interno da adutora (mm): 69,3

7.2.4) Material do tubo da adutora: PVC

7.2.5) Rugosidade absoluta do tubo da adutora (mm): 0,02000

7.2.6) Custo unitário da adutora (R\$/m): 19,74

7.2.7) Pressão nominal do tubo de sucção: 60

- 7.2.8) Diâmetro nominal do tubo de sucção: 100
- 7.2.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 96
- 7.2.10) Material do tubo de sucção: PVC
- 7.2.11) Rugosidade absoluta do tubo de sucção (mm): 0,02000

7.3) Sistema testado número: 3

- 7.3.1) Pressão nominal do tubo da adutora: 125
- 7.3.2) Diâmetro nominal do tubo da adutora: 100
- 7.3.3) Diâmetro interno da adutora (mm): 93,4
- 7.3.4) Material do tubo da adutora: PVC
- 7.3.5) Rugosidade absoluta do tubo da adutora (mm): 0,02000
- 7.3.6) Custo unitário da adutora (R\$/m): 45,11
- 7.3.7) Pressão nominal do tubo de sucção: 60
- 7.3.8) Diâmetro nominal do tubo de sucção: 125
- 7.3.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 118,2
- 7.3.10) Material do tubo de sucção: PVC
- 7.3.11) Rugosidade absoluta do tubo de sucção (mm): 0,02000

7.4) Sistema testado número: 4

- 7.4.1) Pressão nominal do tubo da adutora: 125
- 7.4.2) Diâmetro nominal do tubo da adutora: 100
- 7.4.3) Diâmetro interno da adutora (mm): 93,4
- 7.4.4) Material do tubo da adutora: PVC
- 7.4.5) Rugosidade absoluta do tubo da adutora (mm): 0,02000
- 7.4.6) Custo unitário da adutora (R\$/m): 45,11

- 7.4.7) Pressão nominal do tubo de sucção: 60
- 7.4.8) Diâmetro nominal do tubo de sucção: 125
- 7.4.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 118,2
- 7.4.10) Material do tubo de sucção: PVC
- 7.4.11) Rugosidade absoluta do tubo de sucção (mm): 0,02000

7.5) Sistema testado número: 5

- 7.5.1) Pressão nominal do tubo da adutora: 125
- 7.5.2) Diâmetro nominal do tubo da adutora: 125
- 7.5.3) Diâmetro interno da adutora (mm): 115
- 7.5.4) Material do tubo da adutora: PVC
- 7.5.5) Rugosidade absoluta do tubo da adutora (mm): 0,02000
- 7.5.6) Custo unitário da adutora (R\$/m): 69,88
- 7.5.7) Pressão nominal do tubo de sucção: 60
- 7.5.8) Diâmetro nominal do tubo de sucção: 150
- 7.5.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 142
- 7.5.10) Material do tubo de sucção: PVC
- 7.5.11) Rugosidade absoluta do tubo de sucção (mm): 0,02000

7.6) Sistema testado número: 6

- 7.6.1) Pressão nominal do tubo da adutora: 125
- 7.6.2) Diâmetro nominal do tubo da adutora: 125
- 7.6.3) Diâmetro interno da adutora (mm): 115
- 7.6.4) Material do tubo da adutora: PVC
- 7.6.5) Rugosidade absoluta do tubo da adutora (mm): 0,02000

- 7.6.6) Custo unitário da adutora (R\$/m): 69,88
- 7.6.7) Pressão nominal do tubo de sucção: 60
- 7.6.8) Diâmetro nominal do tubo de sucção: 150
- 7.6.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 142
- 7.6.10) Material do tubo de sucção: PVC
- 7.6.11) Rugosidade absoluta do tubo de sucção (mm): 0,02000

7.7) Sistema testado número: 7

- 7.7.1) Pressão nominal do tubo da adutora: 125
- 7.7.2) Diâmetro nominal do tubo da adutora: 125
- 7.7.3) Diâmetro interno da adutora (mm): 115
- 7.7.4) Material do tubo da adutora: PVC
- 7.7.5) Rugosidade absoluta do tubo da adutora (mm): 0,02000
- 7.7.6) Custo unitário da adutora (R\$/m): 69,88
- 7.7.7) Pressão nominal do tubo de sucção: 60
- 7.7.8) Diâmetro nominal do tubo de sucção: 150
- 7.7.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 142
- 7.7.10) Material do tubo de sucção: PVC
- 7.7.11) Rugosidade absoluta do tubo de sucção (mm): 0,02000

7.8) Sistema testado número: 8

- 7.8.1) Pressão nominal do tubo da adutora: 125
- 7.8.2) Diâmetro nominal do tubo da adutora: 150
- 7.8.3) Diâmetro interno da adutora (mm): 138
- 7.8.4) Material do tubo da adutora: PVC

7.8.5) Rugosidade absoluta do tubo da adutora (mm): 0,02000

7.8.6) Custo unitário da adutora (R\$/m): 102,52

7.8.7) Pressão nominal do tubo de sucção: 125

7.8.8) Diâmetro nominal do tubo de sucção: 200

7.8.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 182

7.8.10) Material do tubo de sucção: PVC

7.8.11) Rugosidade absoluta do tubo de sucção (mm): 0,02000

7.9) Sistema testado número: 9

7.9.1) Pressão nominal do tubo da adutora: 125

7.9.2) Diâmetro nominal do tubo da adutora: 150

7.9.3) Diâmetro interno da adutora (mm): 138

7.9.4) Material do tubo da adutora: PVC

7.9.5) Rugosidade absoluta do tubo da adutora (mm): 0,02000

7.9.6) Custo unitário da adutora (R\$/m): 102,52

7.9.7) Pressão nominal do tubo de sucção: 125

7.9.8) Diâmetro nominal do tubo de sucção: 200

7.9.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 182

7.9.10) Material do tubo de sucção: PVC

7.9.11) Rugosidade absoluta do tubo de sucção (mm): 0,02000

7.10) Sistema testado número: 10

7.10.1) Pressão nominal do tubo da adutora: 125

7.10.2) Diâmetro nominal do tubo da adutora: 150

7.10.3) Diâmetro interno da adutora (mm): 138

- 7.10.4) Material do tubo da adutora: PVC
- 7.10.5) Rugosidade absoluta do tubo da adutora (mm): 0,02000
- 7.10.6) Custo unitário da adutora (R\$/m): 102,52
- 7.10.7) Pressão nominal do tubo de sucção: 125
- 7.10.8) Diâmetro nominal do tubo de sucção: 200
- 7.10.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 182
- 7.10.10) Material do tubo de sucção: PVC
- 7.10.11) Rugosidade absoluta do tubo de sucção (mm): 0,02000

- 7.11) Sistema testado número: 11
 - 7.11.1) Pressão nominal do tubo da adutora: 125
 - 7.11.2) Diâmetro nominal do tubo da adutora: 200
 - 7.11.3) Diâmetro interno da adutora (mm): 182
 - 7.11.4) Material do tubo da adutora: PVC
 - 7.11.5) Rugosidade absoluta do tubo da adutora (mm): 0,02000
 - 7.11.6) Custo unitário da adutora (R\$/m): 112,61
 - 7.11.7) Pressão nominal do tubo de sucção: 125
 - 7.11.8) Diâmetro nominal do tubo de sucção: 200
 - 7.11.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 182
 - 7.11.10) Material do tubo de sucção: PVC
 - 7.11.11) Rugosidade absoluta do tubo de sucção (mm): 0,02000

- 7.12) Sistema testado número: 12
 - 7.12.1) Pressão nominal do tubo da adutora: 125
 - 7.12.2) Diâmetro nominal do tubo da adutora: 200

- 7.12.3) Diâmetro interno da adutora (mm): 182
- 7.12.4) Material do tubo da adutora: PVC
- 7.12.5) Rugosidade absoluta do tubo da adutora (mm): 0,02000
- 7.12.6) Custo unitário da adutora (R\$/m): 112,61
- 7.12.7) Pressão nominal do tubo de sucção: 125
- 7.12.8) Diâmetro nominal do tubo de sucção: 200
- 7.12.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 182
- 7.12.10) Material do tubo de sucção: PVC
- 7.12.11) Rugosidade absoluta do tubo de sucção (mm): 0,02000

7.13) Sistema testado número: 13

- 7.13.1) Pressão nominal do tubo da adutora: 125
- 7.13.2) Diâmetro nominal do tubo da adutora: 200
- 7.13.3) Diâmetro interno da adutora (mm): 182
- 7.13.4) Material do tubo da adutora: PVC
- 7.13.5) Rugosidade absoluta do tubo da adutora (mm): 0,02000
- 7.13.6) Custo unitário da adutora (R\$/m): 112,61
- 7.13.7) Pressão nominal do tubo de sucção: 125
- 7.13.8) Diâmetro nominal do tubo de sucção: 200
- 7.13.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 182
- 7.13.10) Material do tubo de sucção: PVC
- 7.13.11) Rugosidade absoluta do tubo de sucção (mm): 0,02000

8) Perdas de carga, altura manométrica e NPSH disponível por sistema testado:

- 8.1) Sistema: 1

- 8.1.1) Diâmetro interno de recalque (mm): 69,3
- 8.1.2) Velocidade de escoamento da água na adutora (m/s): 2,80
- 8.1.3) Número de Reynolds da adutora: 1,92E+05
- 8.1.4) Rugosidade relativa da adutora: 2,89E-04
- 8.1.5) Fator de atrito da adutora: 0,01780
- 8.1.6) Comprimento equivalente das peças especiais da adutora: 19,06
- 8.1.7) Perda de carga contínua na adutora (m): 51,20
- 8.1.8) Perda de carga localizada na adutora (m): 1,95
- 8.1.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 96
- 8.1.10) Velocidade de escoamento da água na tubulação de sucção (m/s): 1,46
- 8.1.11) Número de Reynolds da tubulação de sucção: 1,39E+05
- 8.1.12) Rugosidade relativa da tubulação de sucção: 2,08E-04
- 8.1.13) Fator de atrito da tubulação de sucção: 0,01808
- 8.1.14) Comprimento equivalente das peças especiais da tubulação de sucção: 27,46
- 8.1.15) Perda de carga contínua na tubulação de sucção (m): 0,10
- 8.1.16) Perda de carga localizada na tubulação de sucção (m): 0,56
- 8.1.17) Vazão de projeto (m³/s): 0,01055
- 8.1.18) Altura manométrica (m): 131,82
- 8.1.19) Equação da altura manométrica: $H_{man} = 78,00 + 483505,82 Q^2$
- 8.1.20) NPSH disponível (m): 5,10
- 8.1.21) Equação do NPSH disponível: $NPSH_d = 5,76 - 5947,77 Q^2$
- 8.2) Sistema: 2
- 8.2.1) Diâmetro interno de recalque (mm): 69,3
- 8.2.2) Velocidade de escoamento da água na adutora (m/s): 2,80

- 8.2.3) Número de Reynolds da adutora: $1,92E+05$
- 8.2.4) Rugosidade relativa da adutora: $2,89E-04$
- 8.2.5) Fator de atrito da adutora: 0,01780
- 8.2.6) Comprimento equivalente das peças especiais da adutora: 19,06
- 8.2.7) Perda de carga contínua na adutora (m): 51,20
- 8.2.8) Perda de carga localizada na adutora (m): 1,95
- 8.2.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 96
- 8.2.10) Velocidade de escoamento da água na tubulação de sucção (m/s): 1,46
- 8.2.11) Número de Reynolds da tubulação de sucção: $1,39E+05$
- 8.2.12) Rugosidade relativa da tubulação de sucção: $2,08E-04$
- 8.2.13) Fator de atrito da tubulação de sucção: 0,01808
- 8.2.14) Comprimento equivalente das peças especiais da tubulação de sucção: 27,46
- 8.2.15) Perda de carga contínua na tubulação de sucção (m): 0,10
- 8.2.16) Perda de carga localizada na tubulação de sucção (m): 0,56
- 8.2.17) Vazão de projeto (m^3/s): 0,01055
- 8.2.18) Altura manométrica (m): 131,82
- 8.2.19) Equação da altura manométrica: $H_{man} = 78,00 + 483505,82 Q^2$
- 8.2.20) NPSH disponível (m): 5,10
- 8.2.21) Equação do NPSH disponível: $NPSH_d = 5,76 - 5947,77 Q^2$

8.3) Sistema: 3

- 8.3.1) Diâmetro interno de recalque (mm): 93,4
- 8.3.2) Velocidade de escoamento da água na adutora (m/s): 1,54
- 8.3.3) Número de Reynolds da adutora: $1,42E+05$
- 8.3.4) Rugosidade relativa da adutora: $2,14E-04$

- 8.3.5) Fator de atrito da adutora: 0,01805
- 8.3.6) Comprimento equivalente das peças especiais da adutora: 25,69
- 8.3.7) Perda de carga contínua na adutora (m): 11,67
- 8.3.8) Perda de carga localizada na adutora (m): 0,60
- 8.3.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 118,2
- 8.3.10) Velocidade de escoamento da água na tubulação de sucção (m/s): 0,96
- 8.3.11) Número de Reynolds da tubulação de sucção: 1,13E+05
- 8.3.12) Rugosidade relativa da tubulação de sucção: 1,69E-04
- 8.3.13) Fator de atrito da tubulação de sucção: 0,01845
- 8.3.14) Comprimento equivalente das peças especiais da tubulação de sucção: 33,81
- 8.3.15) Perda de carga contínua na tubulação de sucção (m): 0,04
- 8.3.16) Perda de carga localizada na tubulação de sucção (m): 0,25
- 8.3.17) Vazão de projeto (m³/s): 0,01055
- 8.3.18) Altura manométrica (m): 90,56
- 8.3.19) Equação da altura manométrica: $H_{man} = 78,00 + 112841,32 Q^2$
- 8.3.20) NPSH disponível (m): 5,48
- 8.3.21) Equação do NPSH disponível: $NPSH_d = 5,76 - 2564,66 Q^2$
- 8.4) Sistema: 4
- 8.4.1) Diâmetro interno de recalque (mm): 93,4
- 8.4.2) Velocidade de escoamento da água na adutora (m/s): 1,54
- 8.4.3) Número de Reynolds da adutora: 1,42E+05
- 8.4.4) Rugosidade relativa da adutora: 2,14E-04
- 8.4.5) Fator de atrito da adutora: 0,01805
- 8.4.6) Comprimento equivalente das peças especiais da adutora: 25,69

- 8.4.7) Perda de carga contínua na adutora (m): 11,67
- 8.4.8) Perda de carga localizada na adutora (m): 0,60
- 8.4.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 118,2
- 8.4.10) Velocidade de escoamento da água na tubulação de sucção (m/s): 0,96
- 8.4.11) Número de Reynolds da tubulação de sucção: $1,13E+05$
- 8.4.12) Rugosidade relativa da tubulação de sucção: $1,69E-04$
- 8.4.13) Fator de atrito da tubulação de sucção: 0,01845
- 8.4.14) Comprimento equivalente das peças especiais da tubulação de sucção: 33,81
- 8.4.15) Perda de carga contínua na tubulação de sucção (m): 0,04
- 8.4.16) Perda de carga localizada na tubulação de sucção (m): 0,25
- 8.4.17) Vazão de projeto (m^3/s): 0,01055
- 8.4.18) Altura manométrica (m): 90,56
- 8.4.19) Equação da altura manométrica: $H_{man} = 78,00 + 112841,32 Q^2$
- 8.4.20) NPSH disponível (m): 5,48
- 8.4.21) Equação do NPSH disponível: $NPSH_d = 5,76 - 2564,66 Q^2$

8.5) Sistema: 5

- 8.5.1) Diâmetro interno de recalque (mm): 115
- 8.5.2) Velocidade de escoamento da água na adutora (m/s): 1,02
- 8.5.3) Número de Reynolds da adutora: $1,16E+05$
- 8.5.4) Rugosidade relativa da adutora: $1,74E-04$
- 8.5.5) Fator de atrito da adutora: 0,01840
- 8.5.6) Comprimento equivalente das peças especiais da adutora: 31,63
- 8.5.7) Perda de carga contínua na adutora (m): 4,21
- 8.5.8) Perda de carga localizada na adutora (m): 0,27

- 8.5.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 142
- 8.5.10) Velocidade de escoamento da água na tubulação de sucção (m/s): 0,67
- 8.5.11) Número de Reynolds da tubulação de sucção: $9,37E+04$
- 8.5.12) Rugosidade relativa da tubulação de sucção: $1,41E-04$
- 8.5.13) Fator de atrito da tubulação de sucção: 0,01889
- 8.5.14) Comprimento equivalente das peças especiais da tubulação de sucção: 40,61
- 8.5.15) Perda de carga contínua na tubulação de sucção (m): 0,02
- 8.5.16) Perda de carga localizada na tubulação de sucção (m): 0,12
- 8.5.17) Vazão de projeto (m^3/s): 0,01055
- 8.5.18) Altura manométrica (m): 82,61
- 8.5.19) Equação da altura manométrica: $H_{man} = 78,00 + 41412,81 Q^2$
- 8.5.20) NPSH disponível (m): 5,63
- 8.5.21) Equação do NPSH disponível: $NPSH_d = 5,76 - 1233,17 Q^2$
- 8.6) Sistema: 6
- 8.6.1) Diâmetro interno de recalque (mm): 115
- 8.6.2) Velocidade de escoamento da água na adutora (m/s): 1,02
- 8.6.3) Número de Reynolds da adutora: $1,16E+05$
- 8.6.4) Rugosidade relativa da adutora: $1,74E-04$
- 8.6.5) Fator de atrito da adutora: 0,01840
- 8.6.6) Comprimento equivalente das peças especiais da adutora: 31,63
- 8.6.7) Perda de carga contínua na adutora (m): 4,21
- 8.6.8) Perda de carga localizada na adutora (m): 0,27
- 8.6.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 142
- 8.6.10) Velocidade de escoamento da água na tubulação de sucção (m/s): 0,67

- 8.6.11) Número de Reynolds da tubulação de sucção: $9,37E+04$
- 8.6.12) Rugosidade relativa da tubulação de sucção: $1,41E-04$
- 8.6.13) Fator de atrito da tubulação de sucção: 0,01889
- 8.6.14) Comprimento equivalente das peças especiais da tubulação de sucção: 40,61
- 8.6.15) Perda de carga contínua na tubulação de sucção (m): 0,02
- 8.6.16) Perda de carga localizada na tubulação de sucção (m): 0,12
- 8.6.17) Vazão de projeto (m^3/s): 0,01055
- 8.6.18) Altura manométrica (m): 82,61
- 8.6.19) Equação da altura manométrica: $H_{man} = 78,00 + 41412,81 Q^2$
- 8.6.20) NPSH disponível (m): 5,63
- 8.6.21) Equação do NPSH disponível: $NPSH_d = 5,76 - 1233,17 Q^2$
- 8.7) Sistema: 7
- 8.7.1) Diâmetro interno de recalque (mm): 115
- 8.7.2) Velocidade de escoamento da água na adutora (m/s): 1,02
- 8.7.3) Número de Reynolds da adutora: $1,16E+05$
- 8.7.4) Rugosidade relativa da adutora: $1,74E-04$
- 8.7.5) Fator de atrito da adutora: 0,01840
- 8.7.6) Comprimento equivalente das peças especiais da adutora: 31,63
- 8.7.7) Perda de carga contínua na adutora (m): 4,21
- 8.7.8) Perda de carga localizada na adutora (m): 0,27
- 8.7.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 142
- 8.7.10) Velocidade de escoamento da água na tubulação de sucção (m/s): 0,67
- 8.7.11) Número de Reynolds da tubulação de sucção: $9,37E+04$
- 8.7.12) Rugosidade relativa da tubulação de sucção: $1,41E-04$

- 8.7.13) Fator de atrito da tubulação de sucção: 0,01889
- 8.7.14) Comprimento equivalente das peças especiais da tubulação de sucção: 40,61
- 8.7.15) Perda de carga contínua na tubulação de sucção (m): 0,02
- 8.7.16) Perda de carga localizada na tubulação de sucção (m): 0,12
- 8.7.17) Vazão de projeto (m³/s): 0,01055
- 8.7.18) Altura manométrica (m): 82,61
- 8.7.19) Equação da altura manométrica: $H_{man} = 78,00 + 41412,81 Q^2$
- 8.7.20) NPSH disponível (m): 5,63
- 8.7.21) Equação do NPSH disponível: $NPSH_d = 5,76 - 1233,17 Q^2$
- 8.8) Sistema: 8
- 8.8.1) Diâmetro interno de recalque (mm): 138
- 8.8.2) Velocidade de escoamento da água na adutora (m/s): 0,71
- 8.8.3) Número de Reynolds da adutora: 9,64E+04
- 8.8.4) Rugosidade relativa da adutora: 1,45E-04
- 8.8.5) Fator de atrito da adutora: 0,01882
- 8.8.6) Comprimento equivalente das peças especiais da adutora: 37,95
- 8.8.7) Perda de carga contínua na adutora (m): 1,73
- 8.8.8) Perda de carga localizada na adutora (m): 0,13
- 8.8.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 182
- 8.8.10) Velocidade de escoamento da água na tubulação de sucção (m/s): 0,41
- 8.8.11) Número de Reynolds da tubulação de sucção: 7,31E+04
- 8.8.12) Rugosidade relativa da tubulação de sucção: 1,10E-04
- 8.8.13) Fator de atrito da tubulação de sucção: 0,01963
- 8.8.14) Comprimento equivalente das peças especiais da tubulação de sucção: 52,05

- 8.8.15) Perda de carga contínua na tubulação de sucção (m): 0,00
- 8.8.16) Perda de carga localizada na tubulação de sucção (m): 0,05
- 8.8.17) Vazão de projeto (m^3/s): 0,01055
- 8.8.18) Altura manométrica (m): 79,91
- 8.8.19) Equação da altura manométrica: $H_{\text{man}} = 78,00 + 17175,04 Q^2$
- 8.8.20) NPSH disponível (m): 5,71
- 8.8.21) Equação do NPSH disponível: $\text{NPSHd} = 5,76 - 463,43 Q^2$

8.9) Sistema: 9

- 8.9.1) Diâmetro interno de recalque (mm): 138
- 8.9.2) Velocidade de escoamento da água na adutora (m/s): 0,71
- 8.9.3) Número de Reynolds da adutora: $9,64\text{E}+04$
- 8.9.4) Rugosidade relativa da adutora: $1,45\text{E}-04$
- 8.9.5) Fator de atrito da adutora: 0,01882
- 8.9.6) Comprimento equivalente das peças especiais da adutora: 37,95
- 8.9.7) Perda de carga contínua na adutora (m): 1,73
- 8.9.8) Perda de carga localizada na adutora (m): 0,13
- 8.9.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 182
- 8.9.10) Velocidade de escoamento da água na tubulação de sucção (m/s): 0,41
- 8.9.11) Número de Reynolds da tubulação de sucção: $7,31\text{E}+04$
- 8.9.12) Rugosidade relativa da tubulação de sucção: $1,10\text{E}-04$
- 8.9.13) Fator de atrito da tubulação de sucção: 0,01963
- 8.9.14) Comprimento equivalente das peças especiais da tubulação de sucção: 52,05
- 8.9.15) Perda de carga contínua na tubulação de sucção (m): 0,00
- 8.9.16) Perda de carga localizada na tubulação de sucção (m): 0,05

8.9.17) Vazão de projeto (m^3/s): 0,01055

8.9.18) Altura manométrica (m): 79,91

8.9.19) Equação da altura manométrica: $H_{\text{man}} = 78,00 + 17175,04 Q^2$

8.9.20) NPSH disponível (m): 5,71

8.9.21) Equação do NPSH disponível: $\text{NPSHd} = 5,76 - 463,43 Q^2$

8.10) Sistema: 10

8.10.1) Diâmetro interno de recalque (mm): 138

8.10.2) Velocidade de escoamento da água na adutora (m/s): 0,71

8.10.3) Número de Reynolds da adutora: $9,64\text{E}+04$

8.10.4) Rugosidade relativa da adutora: $1,45\text{E}-04$

8.10.5) Fator de atrito da adutora: 0,01882

8.10.6) Comprimento equivalente das peças especiais da adutora: 37,95

8.10.7) Perda de carga contínua na adutora (m): 1,73

8.10.8) Perda de carga localizada na adutora (m): 0,13

8.10.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 182

8.10.10) Velocidade de escoamento da água na tubulação de sucção (m/s): 0,41

8.10.11) Número de Reynolds da tubulação de sucção: $7,31\text{E}+04$

8.10.12) Rugosidade relativa da tubulação de sucção: $1,10\text{E}-04$

8.10.13) Fator de atrito da tubulação de sucção: 0,01963

8.10.14) Comprimento equivalente das peças especiais da tubulação de sucção: 52,05

8.10.15) Perda de carga contínua na tubulação de sucção (m): 0,00

8.10.16) Perda de carga localizada na tubulação de sucção (m): 0,05

8.10.17) Vazão de projeto (m^3/s): 0,01055

8.10.18) Altura manométrica (m): 79,91

8.10.19) Equação da altura manométrica: $H_{man} = 78,00 + 17175,04 Q^2$

8.10.20) NPSH disponível (m): 5,71

8.10.21) Equação do NPSH disponível: $NPSH_d = 5,76 - 463,43 Q^2$

8.11) Sistema: 11

8.11.1) Diâmetro interno de recalque (mm): 182

8.11.2) Velocidade de escoamento da água na adutora (m/s): 0,41

8.11.3) Número de Reynolds da adutora: $7,31E+04$

8.11.4) Rugosidade relativa da adutora: $1,10E-04$

8.11.5) Fator de atrito da adutora: 0,01963

8.11.6) Comprimento equivalente das peças especiais da adutora: 50,05

8.11.7) Perda de carga contínua na adutora (m): 0,45

8.11.8) Perda de carga localizada na adutora (m): 0,05

8.11.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 182

8.11.10) Velocidade de escoamento da água na tubulação de sucção (m/s): 0,41

8.11.11) Número de Reynolds da tubulação de sucção: $7,31E+04$

8.11.12) Rugosidade relativa da tubulação de sucção: $1,10E-04$

8.11.13) Fator de atrito da tubulação de sucção: 0,01963

8.11.14) Comprimento equivalente das peças especiais da tubulação de sucção: 52,05

8.11.15) Perda de carga contínua na tubulação de sucção (m): 0,00

8.11.16) Perda de carga localizada na tubulação de sucção (m): 0,05

8.11.17) Vazão de projeto (m^3/s): 0,01055

8.11.18) Altura manométrica (m): 78,55

8.11.19) Equação da altura manométrica: $H_{man} = 78,00 + 4931,41 Q^2$

8.11.20) NPSH disponível (m): 5,71

8.11.21) Equação do NPSH disponível: $NPSH_d = 5,76 - 463,43 Q^2$

8.12) Sistema: 12

8.12.1) Diâmetro interno de recalque (mm): 182

8.12.2) Velocidade de escoamento da água na adutora (m/s): 0,41

8.12.3) Número de Reynolds da adutora: $7,31E+04$

8.12.4) Rugosidade relativa da adutora: $1,10E-04$

8.12.5) Fator de atrito da adutora: 0,01963

8.12.6) Comprimento equivalente das peças especiais da adutora: 50,05

8.12.7) Perda de carga contínua na adutora (m): 0,45

8.12.8) Perda de carga localizada na adutora (m): 0,05

8.12.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 182

8.12.10) Velocidade de escoamento da água na tubulação de sucção (m/s): 0,41

8.12.11) Número de Reynolds da tubulação de sucção: $7,31E+04$

8.12.12) Rugosidade relativa da tubulação de sucção: $1,10E-04$

8.12.13) Fator de atrito da tubulação de sucção: 0,01963

8.12.14) Comprimento equivalente das peças especiais da tubulação de sucção: 52,05

8.12.15) Perda de carga contínua na tubulação de sucção (m): 0,00

8.12.16) Perda de carga localizada na tubulação de sucção (m): 0,05

8.12.17) Vazão de projeto (m^3/s): 0,01055

8.12.18) Altura manométrica (m): 78,55

8.12.19) Equação da altura manométrica: $H_{man} = 78,00 + 4931,41 Q^2$

8.12.20) NPSH disponível (m): 5,71

8.12.21) Equação do NPSH disponível: $NPSH_d = 5,76 - 463,43 Q^2$

8.13) Sistema: 13

8.13.1) Diâmetro interno de recalque (mm): 182

8.13.2) Velocidade de escoamento da água na adutora (m/s): 0,41

8.13.3) Número de Reynolds da adutora: $7,31E+04$

8.13.4) Rugosidade relativa da adutora: $1,10E-04$

8.13.5) Fator de atrito da adutora: 0,01963

8.13.6) Comprimento equivalente das peças especiais da adutora: 50,05

8.13.7) Perda de carga contínua na adutora (m): 0,45

8.13.8) Perda de carga localizada na adutora (m): 0,05

8.13.9) Diâmetro interno de sucção (mm): 182

8.13.10) Velocidade de escoamento da água na tubulação de sucção (m/s): 0,41

8.13.11) Número de Reynolds da tubulação de sucção: $7,31E+04$

8.13.12) Rugosidade relativa da tubulação de sucção: $1,10E-04$

8.13.13) Fator de atrito da tubulação de sucção: 0,01963

8.13.14) Comprimento equivalente das peças especiais da tubulação de sucção: 52,05

8.13.15) Perda de carga contínua na tubulação de sucção (m): 0,00

8.13.16) Perda de carga localizada na tubulação de sucção (m): 0,05

8.13.17) Vazão de projeto (m^3/s): 0,01055

8.13.18) Altura manométrica (m): 78,55

8.13.19) Equação da altura manométrica: $H_{man} = 78,00 + 4931,41 Q^2$

8.13.20) NPSH disponível (m): 5,71

8.13.21) Equação do NPSH disponível: $NPSH_d = 5,76 - 463,43 Q^2$

9) Ponto de operação da bomba por sistema testado:

9.1) Número do sistema testado: 1

9.1.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3500 rpm (Ponto de Intersecção)

9.1.2) Vazão de operação (m^3/s): 0,00805

9.1.3) Altura manométrica de operação (m): 109,33

9.1.4) Rendimento da bomba (decimal): 0,46

9.1.5) NPSH requerido (m): 2,00

9.1.6) Tempo de funcionamento diário (h): 15,73

9.2) Número do sistema testado: 2

9.2.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3877 rpm (Ponto de Projeto)

9.2.2) Vazão de operação (m^3/s): 0,01055

9.2.3) Altura manométrica de operação (m): 131,82

9.2.4) Rendimento da bomba (decimal): 0,50

9.2.5) NPSH requerido (m): 3,00

9.2.6) Tempo de funcionamento diário (h): 12,00

9.3) Número do sistema testado: 3

9.3.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3500 rpm (Ponto de Intersecção)

9.3.2) Vazão de operação (m^3/s): 0,01376

9.3.3) Altura manométrica de operação (m): 99,37

9.3.4) Rendimento da bomba (decimal): 0,58

9.3.5) NPSH requerido (m): 3,60

9.3.6) Tempo de funcionamento diário (h): 9,20

9.4) Número do sistema testado: 4

9.4.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3258 rpm (Ponto de Projeto)

9.4.2) Vazão de operação (m³/s): 0,01055

9.4.3) Altura manométrica de operação (m): 90,56

9.4.4) Rendimento da bomba (decimal): 0,55

9.4.5) NPSH requerido (m): 3,00

9.4.6) Tempo de funcionamento diário (h): 12,00

9.5) Número do sistema testado: 5

9.5.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3500 rpm (Ponto de Intersecção)

9.5.2) Vazão de operação (m³/s): 0,01710

9.5.3) Altura manométrica de operação (m): 90,11

9.5.4) Rendimento da bomba (decimal): 0,58

9.5.5) NPSH requerido (m): 4,50

9.5.6) Tempo de funcionamento diário (h): 7,40

9.6) Número do sistema testado: 6

9.6.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3126 rpm (Ponto de Projeto)

9.6.2) Vazão de operação (m³/s): 0,01055

9.6.3) Altura manométrica de operação (m): 82,61

9.6.4) Rendimento da bomba (decimal): 0,56

9.6.5) NPSH requerido (m): 3,00

9.6.6) Tempo de funcionamento diário (h): 12,00

9.7) Número do sistema testado: 7

9.7.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3335 rpm (Ponto de Rendimento Máximo)

9.7.2) Vazão de operação (m^3/s): 0,01453

9.7.3) Altura manométrica de operação (m): 86,74

9.7.4) Rendimento da bomba (decimal): 0,58

9.7.5) NPSH requerido (m): 3,60

9.7.6) Tempo de funcionamento diário (h): 8,71

9.8) Número do sistema testado: 8

9.8.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3500 rpm (Ponto de Intersecção)

9.8.2) Vazão de operação (m^3/s): 0,01888

9.8.3) Altura manométrica de operação (m): 84,12

9.8.4) Rendimento da bomba (decimal): 0,55

9.8.5) NPSH requerido (m): 5,20

9.8.6) Tempo de funcionamento diário (h): 6,71

9.9) Número do sistema testado: 9

9.9.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3079 rpm (Ponto de Projeto)

9.9.2) Vazão de operação (m^3/s): 0,01055

9.9.3) Altura manométrica de operação (m): 79,91

9.9.4) Rendimento da bomba (decimal): 0,56

9.9.5) NPSH requerido (m): 3,00

9.9.6) Tempo de funcionamento diário (h): 12,00

9.10) Número do sistema testado: 10

9.10.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3260 rpm (Ponto de Rendimento Máximo)

9.10.2) Vazão de operação (m³/s): 0,01467

9.10.3) Altura manométrica de operação (m): 81,70

9.10.4) Rendimento da bomba (decimal): 0,58

9.10.5) NPSH requerido (m): 3,60

9.10.6) Tempo de funcionamento diário (h): 8,63

9.11) Número do sistema testado: 11

9.11.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3500 rpm (Ponto de Intersecção)

9.11.2) Vazão de operação (m³/s): 0,02001

9.11.3) Altura manométrica de operação (m): 79,97

9.11.4) Rendimento da bomba (decimal): 0,53

9.11.5) NPSH requerido (m): 5,20

9.11.6) Tempo de funcionamento diário (h): 6,33

9.12) Número do sistema testado: 12

9.12.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3057 rpm (Ponto de Projeto)

9.12.2) Vazão de operação (m³/s): 0,01055

9.12.3) Altura manométrica de operação (m): 78,55

9.12.4) Rendimento da bomba (decimal): 0,56

9.12.5) NPSH requerido (m): 3,00

9.12.6) Tempo de funcionamento diário (h): 12,00

9.13) Número do sistema testado: 13

9.13.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3206 rpm (Ponto de Máximo Rendimento)

- 9.13.2) Vazão de operação (m^3/s): 0,01443
- 9.13.3) Altura manométrica de operação (m): 79,03
- 9.13.4) Rendimento da bomba (decimal): 0,58
- 9.13.5) NPSH requerido (m): 3,60
- 9.13.6) Tempo de funcionamento diário (h): 8,77

10) Potências de saída e carregamento do motor por sistema testado:

10.1) Número do sistema: 1

- 10.1.1) Potência de saída da bomba (cv): 11,71
- 10.1.2) Potência de saída do motor (cv): 25,62
- 10.1.3) Potência nominal do motor (cv): 30,00
- 10.1.4) Carregamento do motor (%): 85,41
- 10.1.5) NPSH disponível no ponto de operação (m): 5,38
- 10.1.6) NPSH requerido no ponto de operação (m): 2,00
- 10.1.7) Condição de funcionamento da bomba: NPSH disponível maior ou igual que NPSH requerido, portanto a bomba não irá sofrer cavitação.

10.2) Número do sistema: 2

- 10.2.7) Potência de saída da bomba (cv): 18,50
- 10.2.8) Potência de saída do motor (cv): 36,71
- 10.2.9) Potência nominal do motor (cv): 40,00
- 10.2.10) Carregamento do motor (%): 91,78
- 10.2.11) NPSH disponível no ponto de operação (m): 5,10
- 10.2.12) NPSH requerido no ponto de operação (m): 3,00

10.2.13) Condição de funcionamento da bomba: NPSH disponível maior ou igual que NPSH requerido, portanto a bomba não irá sofrer cavitação.

10.3) Número do sistema: 3

10.3.13) Potência de saída da bomba (cv): 18,19

10.3.14) Potência de saída do motor (cv): 31,42

10.3.15) Potência nominal do motor (cv): 40,00

10.3.16) Carregamento do motor (%): 78,55

10.3.17) NPSH disponível no ponto de operação (m): 5,28

10.3.18) NPSH requerido no ponto de operação (m): 3,60

10.3.19) Condição de funcionamento da bomba: NPSH disponível maior ou igual que NPSH requerido, portanto a bomba não irá sofrer cavitação.

10.4) Número do sistema: 4

10.4.19) Potência de saída da bomba (cv): 12,71

10.4.20) Potência de saída do motor (cv): 23,24

10.4.21) Potência nominal do motor (cv): 25,00

10.4.22) Carregamento do motor (%): 92,96

10.4.23) NPSH disponível no ponto de operação (m): 5,48

10.4.24) NPSH requerido no ponto de operação (m): 3,00

10.4.25) Condição de funcionamento da bomba: NPSH disponível maior ou igual que NPSH requerido, portanto a bomba não irá sofrer cavitação.

10.5) Número do sistema: 5

10.5.25) Potência de saída da bomba (cv): 20,50

10.5.26) Potência de saída do motor (cv): 35,59
10.5.27) Potência nominal do motor (cv): 40,00
10.5.28) Carregamento do motor (%): 88,98
10.5.29) NPSH disponível no ponto de operação (m): 5,40
10.5.30) NPSH requerido no ponto de operação (m): 4,50
10.5.31) Condição de funcionamento da bomba: NPSH disponível maior ou igual que NPSH requerido, portanto a bomba não irá sofrer cavitação.

10.6) Número do sistema: 6

10.6.31) Potência de saída da bomba (cv): 11,60
10.6.32) Potência de saída do motor (cv): 20,89
10.6.33) Potência nominal do motor (cv): 25,00
10.6.34) Carregamento do motor (%): 83,57
10.6.35) NPSH disponível no ponto de operação (m): 5,63
10.6.36) NPSH requerido no ponto de operação (m): 3,00
10.6.37) Condição de funcionamento da bomba: NPSH disponível maior ou igual que NPSH requerido, portanto a bomba não irá sofrer cavitação.

10.7) Número do sistema: 7

10.7.37) Potência de saída da bomba (cv): 16,77
10.7.38) Potência de saída do motor (cv): 28,91
10.7.39) Potência nominal do motor (cv): 30,00
10.7.40) Carregamento do motor (%): 96,37
10.7.41) NPSH disponível no ponto de operação (m): 5,50
10.7.42) NPSH requerido no ponto de operação (m): 3,60

10.7.43) Condição de funcionamento da bomba: NPSH disponível maior ou igual que NPSH requerido, portanto a bomba não irá sofrer cavitação.

10.8) Número do sistema: 8

10.8.43) Potência de saída da bomba (cv): 21,13

10.8.44) Potência de saída do motor (cv): 38,28

10.8.45) Potência nominal do motor (cv): 40,00

10.8.46) Carregamento do motor (%): 95,70

10.8.47) NPSH disponível no ponto de operação (m): 5,60

10.8.48) NPSH requerido no ponto de operação (m): 5,20

10.8.49) Condição de funcionamento da bomba: NPSH disponível maior ou igual que NPSH requerido, portanto a bomba não irá sofrer cavitação.

10.9) Número do sistema: 9

10.9.49) Potência de saída da bomba (cv): 11,22

10.9.50) Potência de saída do motor (cv): 20,10

10.9.51) Potência nominal do motor (cv): 25,00

10.9.52) Carregamento do motor (%): 80,41

10.9.53) NPSH disponível no ponto de operação (m): 5,71

10.9.54) NPSH requerido no ponto de operação (m): 3,00

10.9.55) Condição de funcionamento da bomba: NPSH disponível maior ou igual que NPSH requerido, portanto a bomba não irá sofrer cavitação.

10.10) Número do sistema: 10

10.10.55) Potência de saída da bomba (cv): 15,95

10.10.56) Potência de saída do motor (cv): 27,49
10.10.57) Potência nominal do motor (cv): 30,00
10.10.58) Carregamento do motor (%): 91,65
10.10.59) NPSH disponível no ponto de operação (m): 5,66
10.10.60) NPSH requerido no ponto de operação (m): 3,60
10.10.61) Condição de funcionamento da bomba: NPSH disponível maior ou igual que NPSH requerido, portanto a bomba não irá sofrer cavitação.

10.11) Número do sistema: 11

10.11.61) Potência de saída da bomba (cv): 21,29
10.11.62) Potência de saída do motor (cv): 40,25
10.11.63) Potência nominal do motor (cv): 50,00
10.11.64) Carregamento do motor (%): 80,50
10.11.65) NPSH disponível no ponto de operação (m): 5,58
10.11.66) NPSH requerido no ponto de operação (m): 5,20
10.11.67) Condição de funcionamento da bomba: NPSH disponível maior ou igual que NPSH requerido, portanto a bomba não irá sofrer cavitação.

10.12) Número do sistema: 12

10.12.67) Potência de saída da bomba (cv): 11,03
10.12.68) Potência de saída do motor (cv): 19,69
10.12.69) Potência nominal do motor (cv): 20,00
10.12.70) Carregamento do motor (%): 98,45
10.12.71) NPSH disponível no ponto de operação (m): 5,71
10.12.72) NPSH requerido no ponto de operação (m): 3,00

10.12.73) Condição de funcionamento da bomba: NPSH disponível maior ou igual que NPSH requerido, portanto a bomba não irá sofrer cavitação.

10.13) Número do sistema: 13

10.13.73) Potência de saída da bomba (cv): 15,17

10.13.74) Potência de saída do motor (cv): 26,16

10.13.75) Potência nominal do motor (cv): 30,00

10.13.76) Carregamento do motor (%): 87,20

10.13.77) NPSH disponível no ponto de operação (m): 5,67

10.13.78) NPSH requerido no ponto de operação (m): 3,60

10.13.79) Condição de funcionamento da bomba: NPSH disponível maior ou igual que NPSH requerido, portanto a bomba não irá sofrer cavitação.

11) Dados do motor por ponto de operação da bomba:

11.1) Ponto de operação ou sistema número: 1

11.1.1) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

11.1.2) Rendimento do motor (decimal): 0,91

11.1.3) Fator de potência do motor (adimensional): 0,862

11.2) Ponto de operação ou sistema número: 2

11.2.1) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

11.2.2) Rendimento do motor (decimal): 0,903

11.2.3) Fator de potência do motor (adimensional): 0,873

11.3) Ponto de operação ou sistema número: 3

11.3.1) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

11.3.2) Rendimento do motor (decimal): 0,901

11.3.3) Fator de potência do motor (adimensional): 0,863

11.4) Ponto de operação ou sistema número: 4

11.4.1) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

11.4.2) Rendimento do motor (decimal): 0,895

11.4.3) Fator de potência do motor (adimensional): 0,872

11.5) Ponto de operação ou sistema número: 5

11.5.1) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

11.5.2) Rendimento do motor (decimal): 0,902

11.5.3) Fator de potência do motor (adimensional): 0,871

11.6) Ponto de operação ou sistema número: 6

11.6.1) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

11.6.2) Rendimento do motor (decimal): 0,895

11.6.3) Fator de potência do motor (adimensional): 0,86

11.7) Ponto de operação ou sistema número: 7

11.7.1) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

11.7.2) Rendimento do motor (decimal): 0,91

11.7.3) Fator de potência do motor (adimensional): 0,876

11.8) Ponto de operação ou sistema número: 8

11.8.1) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

11.8.2) Rendimento do motor (decimal): 0,903

11.8.3) Fator de potência do motor (adimensional): 0,877

11.9) Ponto de operação ou sistema número: 9

11.9.1) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

11.9.2) Rendimento do motor (decimal): 0,895

11.9.3) Fator de potência do motor (adimensional): 0,856

11.10) Ponto de operação ou sistema número: 10

11.10.1) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

11.10.2) Rendimento do motor (decimal): 0,91

11.10.3) Fator de potência do motor (adimensional): 0,87

11.11) Ponto de operação ou sistema número: 11

11.11.1) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

11.11.2) Rendimento do motor (decimal): 0,917

11.11.3) Fator de potência do motor (adimensional): 0,864

11.12) Ponto de operação ou sistema número: 12

11.12.1) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

11.12.2) Rendimento do motor (decimal): 0,89

11.12.3) Fator de potência do motor (adimensional): 0,878

11.13) Ponto de operação ou sistema número: 13

11.13.1) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

11.13.2) Rendimento do motor (decimal): 0,91

11.13.3) Fator de potência do motor (adimensional): 0,865

12) Adutora por sistema testado:

12.1) Sistema número: 1

12.1.1) Diâmetro nominal da adutora: 75

12.1.2) Custo unitário da adutora (R\$/m): 19,74

12.1.3) Comprimento da adutora (m): 500,00

12.1.4) Custo total da adutora (R\$): 9870,00

12.2) Sistema número: 2

12.2.1) Diâmetro nominal da adutora: 75

12.2.2) Custo unitário da adutora (R\$/m): 19,74

12.2.3) Comprimento da adutora (m): 500,00

12.2.4) Custo total da adutora (R\$): 9870,00

12.3) Sistema número: 3

12.3.1) Diâmetro nominal da adutora: 100

12.3.2) Custo unitário da adutora (R\$/m): 45,11

12.3.3) Comprimento da adutora (m): 500,00

12.3.4) Custo total da adutora (R\$): 22555,00

12.4) Sistema número: 4

12.4.1) Diâmetro nominal da adutora: 100

12.4.2) Custo unitário da adutora (R\$/m): 45,11

12.4.3) Comprimento da adutora (m): 500,00

12.4.4) Custo total da adutora (R\$): 22555,00

12.5) Sistema número: 5

12.5.1) Diâmetro nominal da adutora: 125

12.5.2) Custo unitário da adutora (R\$/m): 69,88

12.5.3) Comprimento da adutora (m): 500,00

12.5.4) Custo total da adutora (R\$): 34940,00

12.6) Sistema número: 6

12.6.1) Diâmetro nominal da adutora: 125

12.6.2) Custo unitário da adutora (R\$/m): 69,88

12.6.3) Comprimento da adutora (m): 500,00

12.6.4) Custo total da adutora (R\$): 34940,00

12.7) Sistema número: 7

12.7.1) Diâmetro nominal da adutora: 125

12.7.2) Custo unitário da adutora (R\$/m): 69,88

12.7.3) Comprimento da adutora (m): 500,00

12.7.4) Custo total da adutora (R\$): 34940,00

12.8) Sistema número: 8

12.8.1) Diâmetro nominal da adutora: 150

12.8.2) Custo unitário da adutora (R\$/m): 102,52

12.8.3) Comprimento da adutora (m): 500,00

12.8.4) Custo total da adutora (R\$): 51260,00

12.9) Sistema número: 9

12.9.1) Diâmetro nominal da adutora: 150

12.9.2) Custo unitário da adutora (R\$/m): 102,52

12.9.3) Comprimento da adutora (m): 500,00

12.9.4) Custo total da adutora (R\$): 51260,00

12.10) Sistema número: 10

12.10.1) Diâmetro nominal da adutora: 150

12.10.2) Custo unitário da adutora (R\$/m): 102,52

12.10.3) Comprimento da adutora (m): 500,00

12.10.4) Custo total da adutora (R\$): 51260,00

12.11) Sistema número: 11

12.11.1) Diâmetro nominal da adutora: 200

12.11.2) Custo unitário da adutora (R\$/m): 112,61

12.11.3) Comprimento da adutora (m): 500,00

12.11.4) Custo total da adutora (R\$): 56305,00

12.12) Sistema número: 12

12.12.1) Diâmetro nominal da adutora: 200

12.12.2) Custo unitário da adutora (R\$/m): 112,61

12.12.3) Comprimento da adutora (m): 500,00

12.12.4) Custo total da adutora (R\$): 56305,00

12.13) Sistema número: 13

12.13.1) Diâmetro nominal da adutora: 200

12.13.2) Custo unitário da adutora (R\$/m): 112,61

12.13.3) Comprimento da adutora (m): 500,00

12.13.4) Custo total da adutora (R\$): 56305,00

13) Motobomba por sistema testado:

13.1) Sistema número: 1

13.1.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3500 rpm (Ponto de Intersecção)

13.1.2) Rendimento da bomba (cv): 0,46

13.1.3) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

13.1.4) Rendimento do motor (decimal): 0,91

13.1.5) Potência nominal da motobomba (cv): 30,00

13.1.6) Rendimento da motobomba (decimal): 0,42

13.1.7) Custo da motobomba (R\$): 29221,25

13.2) Sistema número: 2

13.2.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3877 rpm (Ponto de Projeto)

13.2.2) Rendimento da bomba (cv): 0,50

13.2.3) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

13.2.4) Rendimento do motor (decimal): 0,90

13.2.5) Potência nominal da motobomba (cv): 40,00

13.2.6) Rendimento da motobomba (decimal): 0,46

13.2.7) Custo da motobomba (R\$): 32200,90

13.3) Sistema número: 3

13.3.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3500 rpm (Ponto de Intersecção)

13.3.2) Rendimento da bomba (cv): 0,58

13.3.3) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

13.3.4) Rendimento do motor (decimal): 0,90

13.3.5) Potência nominal da motobomba (cv): 40,00

13.3.6) Rendimento da motobomba (decimal): 0,52

13.3.7) Custo da motobomba (R\$): 32200,90

13.4) Sistema número: 4

13.4.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3258 rpm (Ponto de Projeto)

13.4.2) Rendimento da bomba (cv): 0,55

13.4.3) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

13.4.4) Rendimento do motor (decimal): 0,90

13.4.5) Potência nominal da motobomba (cv): 25,00

13.4.6) Rendimento da motobomba (decimal): 0,49

13.4.7) Custo da motobomba (R\$): 16880,31

13.5) Sistema número: 5

13.5.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3500 rpm (Ponto de Intersecção)

13.5.2) Rendimento da bomba (cv): 0,58

13.5.3) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

13.5.4) Rendimento do motor (decimal): 0,90

13.5.5) Potência nominal da motobomba (cv): 40,00

13.5.6) Rendimento da motobomba (decimal): 0,52

13.5.7) Custo da motobomba (R\$): 32200,90

13.6) Sistema número: 6

13.6.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3036 rpm (Ponto de Projeto)

13.6.2) Rendimento da bomba (cv): 0,56

13.6.3) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

13.6.4) Rendimento do motor (decimal): 0,90

13.6.5) Potência nominal da motobomba (cv): 25,00

13.6.6) Rendimento da motobomba (decimal): 0,50

13.6.7) Custo da motobomba (R\$): 16880,31

13.7) Sistema número: 7

13.7.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3335 rpm (Ponto de Rendimento Máximo)

13.7.2) Rendimento da bomba (cv): 0,58

13.7.3) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

13.7.4) Rendimento do motor (decimal): 0,91

13.7.5) Potência nominal da motobomba (cv): 30,00

13.7.6) Rendimento da motobomba (decimal): 0,53

13.7.7) Custo da motobomba (R\$): 29221,25

13.8) Sistema número: 8

13.8.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3500 rpm (Ponto de Intersecção)

13.8.2) Rendimento da bomba (cv): 0,55

13.8.3) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

13.8.4) Rendimento do motor (decimal): 0,90

13.8.5) Potência nominal da motobomba (cv): 40,00

13.8.6) Rendimento da motobomba (decimal): 0,50

13.8.7) Custo da motobomba (R\$): 32200,90

13.9) Sistema número: 9

13.9.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3079 rpm (Ponto de Projeto)

13.9.2) Rendimento da bomba (cv): 0,56

13.9.3) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

13.9.4) Rendimento do motor (decimal): 0,90

13.9.5) Potência nominal da motobomba (cv): 25,00

13.9.6) Rendimento da motobomba (decimal): 0,50

13.9.7) Custo da motobomba (R\$): 16880,31

13.10) Sistema número: 10

13.10.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3260 rpm (Ponto de Rendimento Máximo)

13.10.2) Rendimento da bomba (cv): 0,58

13.10.3) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

13.10.4) Rendimento do motor (decimal): 0,91

13.10.5) Potência nominal da motobomba (cv): 30,00

13.10.6) Rendimento da motobomba (decimal): 0,53

13.10.7) Custo da motobomba (R\$): 29221,25

13.11) Sistema número: 11

13.11.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3500 rpm (Ponto de Intersecção)

13.11.2) Rendimento da bomba (cv): 0,53

13.11.3) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

13.11.4) Rendimento do motor (decimal): 0,92

13.11.5) Potência nominal da motobomba (cv): 50,00

13.11.6) Rendimento da motobomba (decimal): 0,49

13.11.7) Custo da motobomba (R\$): 41107,00

13.12) Sistema número: 12

13.12.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3057 rpm (Ponto de Projeto)

13.12.2) Rendimento da bomba (cv): 0,56

13.12.3) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

13.12.4) Rendimento do motor (decimal): 0,89

13.12.5) Potência nominal da motobomba (cv): 20,00

13.12.6) Rendimento da motobomba (decimal): 0,50

13.12.7) Custo da motobomba (R\$): 10999,90

13.13) Sistema número: 13

13.13.1) Descrição da bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3206 rpm (Ponto de Máximo Rendimento)

13.13.2) Rendimento da bomba (cv): 0,58

13.13.3) Descrição do motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos

13.13.4) Rendimento do motor (decimal): 0,91

13.13.5) Potência nominal da motobomba (cv): 30,00

13.13.6) Rendimento da motobomba (decimal): 0,53

13.13.7) Custo da motobomba (R\$): 29221,25

14) Inversor de frequência por sistema testado:

14.1) Sistema número: 1

14.1.1) Potência nominal do inversor de frequência (cv): 30,00

14.1.2) Custo do inversor de frequência (R\$): 11590,00

14.2) Sistema número: 2

14.2.1) Potência nominal do inversor de frequência (cv): 40,00

14.2.2) Custo do inversor de frequência (R\$): 13081,50

14.3) Sistema número: 3

14.3.1) Potência nominal do inversor de frequência (cv): 40,00

14.3.2) Custo do inversor de frequência (R\$): 13081,50

14.4) Sistema número: 4

14.4.1) Potência nominal do inversor de frequência (cv): 25,00

14.4.2) Custo do inversor de frequência (R\$): 9745,58

14.5) Sistema número: 5

14.5.1) Potência nominal do inversor de frequência (cv): 40,00

14.5.2) Custo do inversor de frequência (R\$): 13081,50

14.6) Sistema número: 6

14.6.1) Potência nominal do inversor de frequência (cv): 25,00

14.6.2) Custo do inversor de frequência (R\$): 9745,58

14.7) Sistema número: 7

14.7.1) Potência nominal do inversor de frequência (cv): 30,00

14.7.2) Custo do inversor de frequência (R\$): 11590,00

14.8) Sistema número: 8

14.8.1) Potência nominal do inversor de frequência (cv): 40,00

14.8.2) Custo do inversor de frequência (R\$): 13081,50

14.9) Sistema número: 9

14.9.1) Potência nominal do inversor de frequência (cv): 25,00

14.9.2) Custo do inversor de frequência (R\$): 9745,58

14.10) Sistema número: 10

14.10.1) Potência nominal do inversor de frequência (cv): 30,00

14.10.2) Custo do inversor de frequência (R\$): 11590,00

14.11) Sistema número: 11

14.11.1) Potência nominal do inversor de frequência (cv): 50,00

14.11.2) Custo do inversor de frequência (R\$): 15675,00

14.12) Sistema número: 12

14.12.1) Potência nominal do inversor de frequência (cv): 20,00

14.12.2) Custo do inversor de frequência (R\$): 8900,55

14.13) Sistema número: 13

14.13.1) Potência nominal do inversor de frequência (cv): 30,00

14.13.2) Custo do inversor de frequência (R\$): 11590,00

15) Tempos de operação por sistema testado:

15.1) Sistema número: 1

15.1.1) Tempo de funcionamento diário (h): 15,73

15.1.2) Tempo de funcionamento diário no horário fora de ponta (h): 15,73

15.1.3) Tempo de funcionamento diário no horário intermediário (h): 0,00

15.1.4) Tempo de funcionamento diário no horário de ponta (h): 0,00

15.1.5) Tempo de funcionamento anual no horário fora de ponta (h): 5740,25

15.1.6) Tempo de funcionamento anual no horário intermediário (h): 0,00

15.1.7) Tempo de funcionamento anual no horário de ponta (h): 0,00

15.2) Sistema número: 2

15.2.1) Tempo de funcionamento diário (h): 12,00

15.2.2) Tempo de funcionamento diário no horário fora de ponta (h): 12,00

15.2.3) Tempo de funcionamento diário no horário intermediário (h): 0,00

15.2.4) Tempo de funcionamento diário no horário de ponta (h): 0,00

15.2.5) Tempo de funcionamento anual no horário fora de ponta (h): 4380,00

15.2.6) Tempo de funcionamento anual no horário intermediário (h): 0,00

15.2.7) Tempo de funcionamento anual no horário de ponta (h): 0,00

15.3) Sistema número: 3

15.3.1) Tempo de funcionamento diário (h): 9,20

15.3.2) Tempo de funcionamento diário no horário fora de ponta (h): 9,20

15.3.3) Tempo de funcionamento diário no horário intermediário (h): 0,00

15.3.4) Tempo de funcionamento diário no horário de ponta (h): 0,00

15.3.5) Tempo de funcionamento anual no horário fora de ponta (h): 3358,21

15.3.6) Tempo de funcionamento anual no horário intermediário (h): 0,00

15.3.7) Tempo de funcionamento anual no horário de ponta (h): 0,00

15.4) Sistema número: 4

15.4.1) Tempo de funcionamento diário (h): 12,00

15.4.2) Tempo de funcionamento diário no horário fora de ponta (h): 12,00

15.4.3) Tempo de funcionamento diário no horário intermediário (h): 0,00

15.4.4) Tempo de funcionamento diário no horário de ponta (h): 0,00

15.4.5) Tempo de funcionamento anual no horário fora de ponta (h): 4380,00

15.4.6) Tempo de funcionamento anual no horário intermediário (h): 0,00

15.4.7) Tempo de funcionamento anual no horário de ponta (h): 0,00

15.5) Sistema número: 5

15.5.1) Tempo de funcionamento diário (h): 7,40

15.5.2) Tempo de funcionamento diário no horário fora de ponta (h): 7,40

15.5.3) Tempo de funcionamento diário no horário intermediário (h): 0,00

15.5.4) Tempo de funcionamento diário no horário de ponta (h): 0,00

15.5.5) Tempo de funcionamento anual no horário fora de ponta (h): 2702,28

15.5.6) Tempo de funcionamento anual no horário intermediário (h): 0,00

15.5.7) Tempo de funcionamento anual no horário de ponta (h): 0,00

15.6) Sistema número: 6

15.6.1) Tempo de funcionamento diário (h): 12,00

15.6.2) Tempo de funcionamento diário no horário fora de ponta (h): 12,00

15.6.3) Tempo de funcionamento diário no horário intermediário (h): 0,00

15.6.4) Tempo de funcionamento diário no horário de ponta (h): 0,00

15.6.5) Tempo de funcionamento anual no horário fora de ponta (h): 4380,00

15.6.6) Tempo de funcionamento anual no horário intermediário (h): 0,00

15.6.7) Tempo de funcionamento anual no horário de ponta (h): 0,00

15.7) Sistema número: 7

15.7.1) Tempo de funcionamento diário (h): 8,71

15.7.2) Tempo de funcionamento diário no horário fora de ponta (h): 8,71

15.7.3) Tempo de funcionamento diário no horário intermediário (h): 0,00

15.7.4) Tempo de funcionamento diário no horário de ponta (h): 0,00

15.7.5) Tempo de funcionamento anual no horário fora de ponta (h): 3180,25

15.7.6) Tempo de funcionamento anual no horário intermediário (h): 0,00

15.7.7) Tempo de funcionamento anual no horário de ponta (h): 0,00

15.8) Sistema número: 8

15.8.1) Tempo de funcionamento diário (h): 6,71

15.8.2) Tempo de funcionamento diário no horário fora de ponta (h): 6,71

15.8.3) Tempo de funcionamento diário no horário intermediário (h): 0,00

- 15.8.4) Tempo de funcionamento diário no horário de ponta (h): 0,00
- 15.8.5) Tempo de funcionamento anual no horário fora de ponta (h): 2447,51
- 15.8.6) Tempo de funcionamento anual no horário intermediário (h): 0,00
- 15.8.7) Tempo de funcionamento anual no horário de ponta (h): 0,00

15.9) Sistema número: 9

- 15.9.1) Tempo de funcionamento diário (h): 12,00
- 15.9.2) Tempo de funcionamento diário no horário fora de ponta (h): 12,00
- 15.9.3) Tempo de funcionamento diário no horário intermediário (h): 0,00
- 15.9.4) Tempo de funcionamento diário no horário de ponta (h): 0,00
- 15.9.5) Tempo de funcionamento anual no horário fora de ponta (h): 4380,00
- 15.9.6) Tempo de funcionamento anual no horário intermediário (h): 0,00
- 15.9.7) Tempo de funcionamento anual no horário de ponta (h): 0,00

15.10) Sistema número: 10

- 15.10.1) Tempo de funcionamento diário (h): 8,63
- 15.10.2) Tempo de funcionamento diário no horário fora de ponta (h): 8,63
- 15.10.3) Tempo de funcionamento diário no horário intermediário (h): 0,00
- 15.10.4) Tempo de funcionamento diário no horário de ponta (h): 0,00
- 15.10.5) Tempo de funcionamento anual no horário fora de ponta (h): 3149,90
- 15.10.6) Tempo de funcionamento anual no horário intermediário (h): 0,00
- 15.10.7) Tempo de funcionamento anual no horário de ponta (h): 0,00

15.11) Sistema número: 11

- 15.11.1) Tempo de funcionamento diário (h): 6,33

- 15.11.2) Tempo de funcionamento diário no horário fora de ponta (h): 6,33
- 15.11.3) Tempo de funcionamento diário no horário intermediário (h): 0,00
- 15.11.4) Tempo de funcionamento diário no horário de ponta (h): 0,00
- 15.11.5) Tempo de funcionamento anual no horário fora de ponta (h): 2309,30
- 15.11.6) Tempo de funcionamento anual no horário intermediário (h): 0,00
- 15.11.7) Tempo de funcionamento anual no horário de ponta (h): 0,00

15.12) Sistema número: 12

- 15.12.1) Tempo de funcionamento diário (h): 12,00
- 15.12.2) Tempo de funcionamento diário no horário fora de ponta (h): 12,00
- 15.12.3) Tempo de funcionamento diário no horário intermediário (h): 0,00
- 15.12.4) Tempo de funcionamento diário no horário de ponta (h): 0,00
- 15.12.5) Tempo de funcionamento anual no horário fora de ponta (h): 4380,00
- 15.12.6) Tempo de funcionamento anual no horário intermediário (h): 0,00
- 15.12.7) Tempo de funcionamento anual no horário de ponta (h): 0,00

15.13) Sistema número: 13

- 15.13.1) Tempo de funcionamento diário (h): 8,77
- 15.13.2) Tempo de funcionamento diário no horário fora de ponta (h): 8,77
- 15.13.3) Tempo de funcionamento diário no horário intermediário (h): 0,00
- 15.13.4) Tempo de funcionamento diário no horário de ponta (h): 0,00
- 15.13.5) Tempo de funcionamento anual no horário fora de ponta (h): 3202,29
- 15.13.6) Tempo de funcionamento anual no horário intermediário (h): 0,00
- 15.13.7) Tempo de funcionamento anual no horário de ponta (h): 0,00

16) Posto de transformação por sistema testado:

16.1) Sistema número: 1

16.1.1) Potência nominal do posto de transformação (kVA): 30,00

16.1.2) Custo do posto de transformação (R\$): 23560,00

16.1.3) Parecer técnico sobre o dimensionamento do posto de transformação: Posto de transformação dimensionado em função da potência aparente do sistema fotovoltaico.

16.2) Sistema número: 2

16.2.1) Potência nominal do posto de transformação (kVA): 30,00

16.2.2) Custo do posto de transformação (R\$): 23560,00

16.2.3) Parecer técnico sobre o dimensionamento do posto de transformação: Posto de transformação dimensionado em função da potência aparente de entrada do motor.

16.3) Sistema número: 3

16.3.1) Potência nominal do posto de transformação (kVA): 30,00

16.3.2) Custo do posto de transformação (R\$): 23560,00

16.3.3) Parecer técnico sobre o dimensionamento do posto de transformação: Posto de transformação dimensionado em função da potência aparente de entrada do motor.

16.4) Sistema número: 4

16.4.1) Potência nominal do posto de transformação (kVA): 30,00

16.4.2) Custo do posto de transformação (R\$): 23560,00

16.4.3) Parecer técnico sobre o dimensionamento do posto de transformação: Posto de transformação dimensionado em função da potência aparente de entrada do motor.

16.5) Sistema número: 5

16.5.1) Potência nominal do posto de transformação (kVA): 30,00

16.5.2) Custo do posto de transformação (R\$): 23560,00

16.5.3) Parecer técnico sobre o dimensionamento do posto de transformação: Posto de transformação dimensionado em função da potência aparente de entrada do motor.

16.6) Sistema número: 6

16.6.1) Potência nominal do posto de transformação (kVA): 30,00

16.6.2) Custo do posto de transformação (R\$): 23560,00

16.6.3) Parecer técnico sobre o dimensionamento do posto de transformação: Posto de transformação dimensionado em função da potência aparente de entrada do motor.

16.7) Sistema número: 7

16.7.1) Potência nominal do posto de transformação (kVA): 30,00

16.7.2) Custo do posto de transformação (R\$): 23560,00

16.7.3) Parecer técnico sobre o dimensionamento do posto de transformação: Posto de transformação dimensionado em função da potência aparente de entrada do motor.

16.8) Sistema número: 8

16.8.1) Potência nominal do posto de transformação (kVA): 45,00

16.8.2) Custo do posto de transformação (R\$): 29360,00

16.8.3) Parecer técnico sobre o dimensionamento do posto de transformação: Posto de transformação dimensionado em função da potência aparente de entrada do motor.

16.9) Sistema número: 9

16.9.1) Potência nominal do posto de transformação (kVA): 30,00

16.9.2) Custo do posto de transformação (R\$): 23560,00

16.9.3) Parecer técnico sobre o dimensionamento do posto de transformação: Posto de transformação dimensionado em função da potência aparente de entrada do motor.

16.10) Sistema número: 10

16.10.1) Potência nominal do posto de transformação (kVA): 30,00

16.10.2) Custo do posto de transformação (R\$): 23560,00

16.10.3) Parecer técnico sobre o dimensionamento do posto de transformação: Posto de transformação dimensionado em função da potência aparente de entrada do motor.

16.11) Sistema número: 11

16.11.1) Potência nominal do posto de transformação (kVA): 45,00

16.11.2) Custo do posto de transformação (R\$): 29360,00

16.11.3) Parecer técnico sobre o dimensionamento do posto de transformação: Posto de transformação dimensionado em função da potência aparente de entrada do motor.

16.12) Sistema número: 12

16.12.1) Potência nominal do posto de transformação (kVA): 30,00

16.12.2) Custo do posto de transformação (R\$): 23560,00

16.12.3) Parecer técnico sobre o dimensionamento do posto de transformação: Posto de transformação dimensionado em função da potência aparente de entrada do motor.

16.13) Sistema número: 13

16.13.1) Potência nominal do posto de transformação (kVA): 30,00

16.13.2) Custo do posto de transformação (R\$): 23560,00

16.13.3) Parecer técnico sobre o dimensionamento do posto de transformação: Posto de transformação dimensionado em função da potência aparente de entrada do motor.

17) Correção do fator de potência por sistema testado:

17.1) Sistema número: 1

17.1.1) Fator de potência do motor (adimensional): 0,86

17.1.2) Potência ativa de entrada do motor (kW): 20,72

17.1.3) Potência aparente inicial do motor (kVA): 24,04

17.1.4) Potência reativa inicial do motor (kVAr): 12,19

17.1.5) Potência aparente final do motor (kVA): 20,72

17.1.6) Potência reativa do banco de capacitores (kVAr): 12,19

17.1.7) Potência reativa final do motor (kVAr): 0,00

17.1.8) Fator de potência do motor corrigido (adimensional): 1,00

17.1.9) Custo do banco de capacitores (R\$): 1590,00

17.1.10) Multa anual por baixo fator de potência (R\$): 2124,79

17.2) Sistema número: 2

17.2.1) Fator de potência do motor (adimensional): 0,87

17.2.2) Potência ativa de entrada do motor (kW): 29,92

17.2.3) Potência aparente inicial do motor (kVA): 34,28

17.2.4) Potência reativa inicial do motor (kVAr): 16,72

17.2.5) Potência aparente final do motor (kVA): 29,92

17.2.6) Potência reativa do banco de capacitores (kVAr): 16,72

17.2.7) Potência reativa final do motor (kVAr): 0,00

17.2.8) Fator de potência do motor corrigido (adimensional): 1,00

17.2.9) Custo do banco de capacitores (R\$): 1918,00

17.2.10) Multa anual por baixo fator de potência (R\$): 2334,16

17.3) Sistema número: 3

17.3.1) Fator de potência do motor (adimensional): 0,86

17.3.2) Potência ativa de entrada do motor (kW): 25,67

17.3.3) Potência aparente inicial do motor (kVA): 29,74

17.3.4) Potência reativa inicial do motor (kVAr): 15,03

17.3.5) Potência aparente final do motor (kVA): 25,67

17.3.6) Potência reativa do banco de capacitores (kVAr): 15,03

17.3.7) Potência reativa final do motor (kVAr): 0,00

17.3.8) Fator de potência do motor corrigido (adimensional): 1,00

17.3.9) Custo do banco de capacitores (R\$): 1918,00

17.3.10) Multa anual por baixo fator de potência (R\$): 849,99

17.4) Sistema número: 4

17.4.1) Fator de potência do motor (adimensional): 0,87

17.4.2) Potência ativa de entrada do motor (kW): 19,11

17.4.3) Potência aparente inicial do motor (kVA): 21,92

17.4.4) Potência reativa inicial do motor (kVAr): 10,73

17.4.5) Potência aparente final do motor (kVA): 19,11

17.4.6) Potência reativa do banco de capacitores (kVAr): 10,73

17.4.7) Potência reativa final do motor (kVAr): 0,00

17.4.8) Fator de potência do motor corrigido (adimensional): 1,00

17.4.9) Custo do banco de capacitores (R\$): 1590,00

17.4.10) Multa anual por baixo fator de potência (R\$): 988,80

17.5) Sistema número: 5

17.5.1) Fator de potência do motor (adimensional): 0,87

17.5.2) Potência ativa de entrada do motor (kW): 29,04

17.5.3) Potência aparente inicial do motor (kVA): 33,34

17.5.4) Potência reativa inicial do motor (kVAr): 16,38

17.5.5) Potência aparente final do motor (kVA): 29,04

17.5.6) Potência reativa do banco de capacitores (kVAr): 16,38

17.5.7) Potência reativa final do motor (kVAr): 0,00

17.5.8) Fator de potência do motor corrigido (adimensional): 1,00

17.5.9) Custo do banco de capacitores (R\$): 1918,00

17.5.10) Multa anual por baixo fator de potência (R\$): 720,78

17.6) Sistema número: 6

17.6.1) Fator de potência do motor (adimensional): 0,86

17.6.2) Potência ativa de entrada do motor (kW): 17,18

17.6.3) Potência aparente inicial do motor (kVA): 19,98

17.6.4) Potência reativa inicial do motor (kVAr): 10,20

17.6.5) Potência aparente final do motor (kVA): 17,18

17.6.6) Potência reativa do banco de capacitores (kVAr): 10,20

17.6.7) Potência reativa final do motor (kVAr): 0,00

17.6.8) Fator de potência do motor corrigido (adimensional): 1,00

17.6.9) Custo do banco de capacitores (R\$): 1590,00

17.6.10) Multa anual por baixo fator de potência (R\$): 1126,74

17.7) Sistema número: 7

17.7.1) Fator de potência do motor (adimensional): 0,88

17.7.2) Potência ativa de entrada do motor (kW): 23,38

17.7.3) Potência aparente inicial do motor (kVA): 26,69

17.7.4) Potência reativa inicial do motor (kVAr): 12,87

17.7.5) Potência aparente final do motor (kVA): 23,38

17.7.6) Potência reativa do banco de capacitores (kVAr): 12,87

17.7.7) Potência reativa final do motor (kVAr): 0,00

17.7.8) Fator de potência do motor corrigido (adimensional): 1,00

17.7.9) Custo do banco de capacitores (R\$): 1590,00

17.7.10) Multa anual por baixo fator de potência (R\$): 499,19

17.8) Sistema número: 8

17.8.1) Fator de potência do motor (adimensional): 0,88

17.8.2) Potência ativa de entrada do motor (kW): 31,20

17.8.3) Potência aparente inicial do motor (kVA): 35,58

17.8.4) Potência reativa inicial do motor (kVAr): 17,09

17.8.5) Potência aparente final do motor (kVA): 31,20

17.8.6) Potência reativa do banco de capacitores (kVAr): 17,09

17.8.7) Potência reativa final do motor (kVAr): 0,00

17.8.8) Fator de potência do motor corrigido (adimensional): 1,00

17.8.9) Custo do banco de capacitores (R\$): 1918,00

17.8.10) Multa anual por baixo fator de potência (R\$): 986,37

17.9) Sistema número: 9

17.9.1) Fator de potência do motor (adimensional): 0,86

17.9.2) Potência ativa de entrada do motor (kW): 16,53

17.9.3) Potência aparente inicial do motor (kVA): 19,31

17.9.4) Potência reativa inicial do motor (kVAr): 9,98

17.9.5) Potência aparente final do motor (kVA): 16,53

17.9.6) Potência reativa do banco de capacitores (kVAr): 9,98

17.9.7) Potência reativa final do motor (kVAr): 0,00

17.9.8) Fator de potência do motor corrigido (adimensional): 1,00

17.9.9) Custo do banco de capacitores (R\$): 1100,99

17.9.10) Multa anual por baixo fator de potência (R\$): 1161,73

17.10) Sistema número: 10

17.10.1) Fator de potência do motor (adimensional): 0,87

17.10.2) Potência ativa de entrada do motor (kW): 22,24

17.10.3) Potência aparente inicial do motor (kVA): 25,56

17.10.4) Potência reativa inicial do motor (kVAr): 12,60

17.10.5) Potência aparente final do motor (kVA): 22,24

17.10.6) Potência reativa do banco de capacitores (kVAr): 12,60

17.10.7) Potência reativa final do motor (kVAr): 0,00

17.10.8) Fator de potência do motor corrigido (adimensional): 1,00

17.10.9) Custo do banco de capacitores (R\$): 1590,00

17.10.10) Multa anual por baixo fator de potência (R\$): 526,52

17.11) Sistema número: 11

- 17.11.1) Fator de potência do motor (adimensional): 0,86
- 17.11.2) Potência ativa de entrada do motor (kW): 32,30
- 17.11.3) Potência aparente inicial do motor (kVA): 37,39
- 17.11.4) Potência reativa inicial do motor (kVAr): 18,82
- 17.11.5) Potência aparente final do motor (kVA): 32,30
- 17.11.6) Potência reativa do banco de capacitores (kVAr): 18,82
- 17.11.7) Potência reativa final do motor (kVAr): 0,00
- 17.11.8) Fator de potência do motor corrigido (adimensional): 1,00
- 17.11.9) Custo do banco de capacitores (R\$): 1918,00
- 17.11.10) Multa anual por baixo fator de potência (R\$): 1225,75

17.12) Sistema número: 12

- 17.12.1) Fator de potência do motor (adimensional): 0,88
- 17.12.2) Potência ativa de entrada do motor (kW): 16,28
- 17.12.3) Potência aparente inicial do motor (kVA): 18,54
- 17.12.4) Potência reativa inicial do motor (kVAr): 8,88
- 17.12.5) Potência aparente final do motor (kVA): 16,28
- 17.12.6) Potência reativa do banco de capacitores (kVAr): 8,88
- 17.12.7) Potência reativa final do motor (kVAr): 0,00
- 17.12.8) Fator de potência do motor corrigido (adimensional): 1,00
- 17.12.9) Custo do banco de capacitores (R\$): 1100,99
- 17.12.10) Multa anual por baixo fator de potência (R\$): 732,11

17.13) Sistema número: 13

- 17.13.1) Fator de potência do motor (adimensional): 0,87
- 17.13.2) Potência ativa de entrada do motor (kW): 21,16
- 17.13.3) Potência aparente inicial do motor (kVA): 24,46
- 17.13.4) Potência reativa inicial do motor (kVAr): 12,27
- 17.13.5) Potência aparente final do motor (kVA): 21,16
- 17.13.6) Potência reativa do banco de capacitores (kVAr): 12,27
- 17.13.7) Potência reativa final do motor (kVAr): 0,00
- 17.13.8) Fator de potência do motor corrigido (adimensional): 1,00
- 17.13.9) Custo do banco de capacitores (R\$): 1590,00
- 17.13.10) Multa anual por baixo fator de potência (R\$): 584,52

18) Geração fotovoltaica por sistema testado:

- 18.1) Sistema número: 1
 - 18.1.1) Consumo diário de energia (kWh): 325,92
 - 18.1.2) Fator de geração (decimal): 0,40
 - 18.1.3) Energia diária gerada (kWh): 130,37
 - 18.1.4) Rendimento do sistema fotovoltaico (decimal): 0,80
 - 18.1.5) Potência total dos painéis (kW): 32,40
 - 18.1.6) Potência por painel (W): 320,00
 - 18.1.7) Quantidade de painéis (unidade): 102
 - 18.1.8) Fator de dimensionamento (adimensional): 1,00
 - 18.1.9) Potência do inversor (kW): 32,40
 - 18.1.10) Capacidade mensal do sistema (kWh): 3911,08
 - 18.1.11) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 61447,40
 - 18.1.12) Economia anual com energia elétrica (R\$): 26085,97

18.2) Sistema número: 2

18.2.1) Consumo diário de energia (kWh): 359,08

18.2.2) Fator de geração (decimal): 0,40

18.2.3) Energia diária gerada (kWh): 143,63

18.2.4) Rendimento do sistema fotovoltaico (decimal): 0,80

18.2.5) Potência total dos painéis (kW): 35,69

18.2.6) Potência por painel (W): 320,00

18.2.7) Quantidade de painéis (unidade): 112

18.2.8) Fator de dimensionamento (adimensional): 1,00

18.2.9) Potência do inversor (kW): 35,69

18.2.10) Capacidade mensal do sistema (kWh): 4309,01

18.2.11) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 67364,28

18.2.12) Economia anual com energia elétrica (R\$): 28740,10

18.3) Sistema número: 3

18.3.1) Consumo diário de energia (kWh): 236,15

18.3.2) Fator de geração (decimal): 0,40

18.3.3) Energia diária gerada (kWh): 94,46

18.3.4) Rendimento do sistema fotovoltaico (decimal): 0,80

18.3.5) Potência total dos painéis (kW): 23,47

18.3.6) Potência por painel (W): 320,00

18.3.7) Quantidade de painéis (unidade): 74

18.3.8) Fator de dimensionamento (adimensional): 1,00

18.3.9) Potência do inversor (kW): 23,47

- 18.3.10) Capacidade mensal do sistema (kWh): 2833,78
- 18.3.11) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 47993,60
- 18.3.12) Economia anual com energia elétrica (R\$): 18900,67

18.4) Sistema número: 4

- 18.4.1) Consumo diário de energia (kWh): 229,33
- 18.4.2) Fator de geração (decimal): 0,40
- 18.4.3) Energia diária gerada (kWh): 91,73
- 18.4.4) Rendimento do sistema fotovoltaico (decimal): 0,80
- 18.4.5) Potência total dos painéis (kW): 22,80
- 18.4.6) Potência por painel (W): 320,00
- 18.4.7) Quantidade de painéis (unidade): 72
- 18.4.8) Fator de dimensionamento (adimensional): 1,00
- 18.4.9) Potência do inversor (kW): 22,80
- 18.4.10) Capacidade mensal do sistema (kWh): 2751,95
- 18.4.11) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 47993,60
- 18.4.12) Economia anual com energia elétrica (R\$): 18354,87

18.5) Sistema número: 5

- 18.5.1) Consumo diário de energia (kWh): 215,02
- 18.5.2) Fator de geração (decimal): 0,40
- 18.5.3) Energia diária gerada (kWh): 86,01
- 18.5.4) Rendimento do sistema fotovoltaico (decimal): 0,80
- 18.5.5) Potência total dos painéis (kW): 21,37
- 18.5.6) Potência por painel (W): 320,00

- 18.5.7) Quantidade de painéis (unidade): 67
- 18.5.8) Fator de dimensionamento (adimensional): 1,00
- 18.5.9) Potência do inversor (kW): 21,37
- 18.5.10) Capacidade mensal do sistema (kWh): 2580,23
- 18.5.11) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 47993,60
- 18.5.12) Economia anual com energia elétrica (R\$): 17209,54

18.6) Sistema número: 6

- 18.6.1) Consumo diário de energia (kWh): 206,18
- 18.6.2) Fator de geração (decimal): 0,40
- 18.6.3) Energia diária gerada (kWh): 82,47
- 18.6.4) Rendimento do sistema fotovoltaico (decimal): 0,80
- 18.6.5) Potência total dos painéis (kW): 20,50
- 18.6.6) Potência por painel (W): 320,00
- 18.6.7) Quantidade de painéis (unidade): 65
- 18.6.8) Fator de dimensionamento (adimensional): 1,00
- 18.6.9) Potência do inversor (kW): 20,50
- 18.6.10) Capacidade mensal do sistema (kWh): 2474,18
- 18.6.11) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 40543,60
- 18.6.12) Economia anual com energia elétrica (R\$): 16502,20

18.7) Sistema número: 7

- 18.7.1) Consumo diário de energia (kWh): 203,74
- 18.7.2) Fator de geração (decimal): 0,40
- 18.7.3) Energia diária gerada (kWh): 81,50

18.7.4) Rendimento do sistema fotovoltaico (decimal): 0,80
18.7.5) Potência total dos painéis (kW): 20,25
18.7.6) Potência por painel (W): 320,00
18.7.7) Quantidade de painéis (unidade): 64
18.7.8) Fator de dimensionamento (adimensional): 1,00
18.7.9) Potência do inversor (kW): 20,25
18.7.10) Capacidade mensal do sistema (kWh): 2444,92
18.7.11) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 40543,60
18.7.12) Economia anual com energia elétrica (R\$): 16307,04

18.8) Sistema número: 8

18.8.1) Consumo diário de energia (kWh): 209,22
18.8.2) Fator de geração (decimal): 0,40
18.8.3) Energia diária gerada (kWh): 83,69
18.8.4) Rendimento do sistema fotovoltaico (decimal): 0,80
18.8.5) Potência total dos painéis (kW): 20,80
18.8.6) Potência por painel (W): 320,00
18.8.7) Quantidade de painéis (unidade): 65
18.8.8) Fator de dimensionamento (adimensional): 1,00
18.8.9) Potência do inversor (kW): 20,80
18.8.10) Capacidade mensal do sistema (kWh): 2510,65
18.8.11) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 47993,60
18.8.12) Economia anual com energia elétrica (R\$): 16745,48

18.9) Sistema número: 9

18.9.1) Consumo diário de energia (kWh): 198,37
18.9.2) Fator de geração (decimal): 0,40
18.9.3) Energia diária gerada (kWh): 79,35
18.9.4) Rendimento do sistema fotovoltaico (decimal): 0,80
18.9.5) Potência total dos painéis (kW): 19,72
18.9.6) Potência por painel (W): 320,00
18.9.7) Quantidade de painéis (unidade): 62
18.9.8) Fator de dimensionamento (adimensional): 1,00
18.9.9) Potência do inversor (kW): 19,72
18.9.10) Capacidade mensal do sistema (kWh): 2380,45
18.9.11) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 40543,60
18.9.12) Economia anual com energia elétrica (R\$): 15877,02

18.10) Sistema número: 10

18.10.1) Consumo diário de energia (kWh): 191,90
18.10.2) Fator de geração (decimal): 0,40
18.10.3) Energia diária gerada (kWh): 76,76
18.10.4) Rendimento do sistema fotovoltaico (decimal): 0,80
18.10.5) Potência total dos painéis (kW): 19,08
18.10.6) Potência por painel (W): 320,00
18.10.7) Quantidade de painéis (unidade): 60
18.10.8) Fator de dimensionamento (adimensional): 1,00
18.10.9) Potência do inversor (kW): 19,08
18.10.10) Capacidade mensal do sistema (kWh): 2302,86
18.10.11) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 40543,60

18.10.12) Economia anual com energia elétrica (R\$): 15359,53

18.11) Sistema número: 11

18.11.1) Consumo diário de energia (kWh): 204,38

18.11.2) Fator de geração (decimal): 0,40

18.11.3) Energia diária gerada (kWh): 81,75

18.11.4) Rendimento do sistema fotovoltaico (decimal): 0,80

18.11.5) Potência total dos painéis (kW): 20,32

18.11.6) Potência por painel (W): 320,00

18.11.7) Quantidade de painéis (unidade): 64

18.11.8) Fator de dimensionamento (adimensional): 1,00

18.11.9) Potência do inversor (kW): 20,32

18.11.10) Capacidade mensal do sistema (kWh): 2452,54

18.11.11) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 40543,60

18.11.12) Economia anual com energia elétrica (R\$): 16357,89

18.12) Sistema número: 12

18.12.1) Consumo diário de energia (kWh): 195,39

18.12.2) Fator de geração (decimal): 0,40

18.12.3) Energia diária gerada (kWh): 78,16

18.12.4) Rendimento do sistema fotovoltaico (decimal): 0,80

18.12.5) Potência total dos painéis (kW): 19,42

18.12.6) Potência por painel (W): 320,00

18.12.7) Quantidade de painéis (unidade): 61

18.12.8) Fator de dimensionamento (adimensional): 1,00

- 18.12.9) Potência do inversor (kW): 19,42
- 18.12.10) Capacidade mensal do sistema (kWh): 2344,68
- 18.12.11) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 40543,60
- 18.12.12) Economia anual com energia elétrica (R\$): 15638,44

18.13) Sistema número: 13

- 18.13.1) Consumo diário de energia (kWh): 185,63
- 18.13.2) Fator de geração (decimal): 0,40
- 18.13.3) Energia diária gerada (kWh): 74,25
- 18.13.4) Rendimento do sistema fotovoltaico (decimal): 0,80
- 18.13.5) Potência total dos painéis (kW): 18,45
- 18.13.6) Potência por painel (W): 320,00
- 18.13.7) Quantidade de painéis (unidade): 58
- 18.13.8) Fator de dimensionamento (adimensional): 1,00
- 18.13.9) Potência do inversor (kW): 18,45
- 18.13.10) Capacidade mensal do sistema (kWh): 2227,60
- 18.13.11) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 40543,60
- 18.13.12) Economia anual com energia elétrica (R\$): 14857,57

19) Custo da energia elétrica por sistema testado:

19.1) Sistema número: 1

- 19.1.1) Custo anual da energia elétrica (R\$): 55155,97
- 19.1.2) Parecer técnico sobre a análise tarifária: Consumidor com fornecimento em baixa tensão com a opção de ter o fornecimento na alta tensão. Com tarifa horária verde e necessidade de correção do fator de potência.

19.2) Sistema número: 2

19.2.1) Custo anual da energia elétrica (R\$): 59137,17

19.2.2) Parecer técnico sobre a análise tarifária: Consumidor com fornecimento obrigatório em alta tensão com a opção de ser tarifado na baixa tensão. Com tarifa horária verde e necessidade de correção do fator de potência.

19.3) Sistema número: 3

19.3.1) Custo anual da energia elétrica (R\$): 44378,02

19.3.2) Parecer técnico sobre a análise tarifária: Consumidor com fornecimento obrigatório em alta tensão com a opção de ser tarifado na baixa tensão. Com tarifa horária verde e necessidade de correção do fator de potência.

19.4) Sistema número: 4

19.4.1) Custo anual da energia elétrica (R\$): 43559,32

19.4.2) Parecer técnico sobre a análise tarifária: Consumidor com fornecimento em baixa tensão com a opção de ter o fornecimento na alta tensão. Com tarifa horária verde e necessidade de correção do fator de potência.

19.5) Sistema número: 5

19.5.1) Custo anual da energia elétrica (R\$): 41841,33

19.5.2) Parecer técnico sobre a análise tarifária: Consumidor com fornecimento obrigatório em alta tensão com a opção de ser tarifado na baixa tensão. Com tarifa horária verde e necessidade de correção do fator de potência.

19.6) Sistema número: 6

19.6.1) Custo anual da energia elétrica (R\$): 40780,32

19.6.2) Parecer técnico sobre a análise tarifária: Consumidor com fornecimento em baixa tensão com a opção de ter o fornecimento na alta tensão. Com tarifa horária verde e necessidade de correção do fator de potência.

19.7) Sistema número: 7

19.7.1) Custo anual da energia elétrica (R\$): 40487,59

19.7.2) Parecer técnico sobre a análise tarifária: Consumidor com fornecimento em baixa tensão com a opção de ter o fornecimento na alta tensão. Com tarifa horária verde e necessidade de correção do fator de potência.

19.8) Sistema número: 8

19.8.1) Custo anual da energia elétrica (R\$): 41787,07

19.8.2) Parecer técnico sobre a análise tarifária: Consumidor com fornecimento obrigatório em alta tensão com a opção de ser tarifado na baixa tensão. Com tarifa horária verde e necessidade de correção do fator de potência.

19.9) Sistema número: 9

19.9.1) Custo anual da energia elétrica (R\$): 39842,56

19.9.2) Parecer técnico sobre a análise tarifária: Consumidor com fornecimento em baixa tensão com a opção de ter o fornecimento na alta tensão. Com tarifa horária verde e necessidade de correção do fator de potência.

19.10) Sistema número: 10

19.10.1) Custo anual da energia elétrica (R\$): 39066,31

19.10.2) Parecer técnico sobre a análise tarifária: Consumidor com fornecimento em baixa tensão com a opção de ter o fornecimento na alta tensão. Com tarifa horária verde e necessidade de correção do fator de potência.

19.11) Sistema número: 11

19.11.1) Custo anual da energia elétrica (R\$): 41794,43

19.11.2) Parecer técnico sobre a análise tarifária: Consumidor com fornecimento obrigatório em alta tensão com a opção de ser tarifado na baixa tensão. Com tarifa horária verde e necessidade de correção do fator de potência.

19.12) Sistema número: 12

19.12.1) Custo anual da energia elétrica (R\$): 39484,68

19.12.2) Parecer técnico sobre a análise tarifária: Consumidor com fornecimento em baixa tensão com a opção de ter o fornecimento na alta tensão. Com tarifa horária verde e necessidade de correção do fator de potência.

19.13) Sistema número: 13

19.13.1) Custo anual da energia elétrica (R\$): 38313,38

19.13.2) Parecer técnico sobre a análise tarifária: Consumidor com fornecimento em baixa tensão com a opção de ter o fornecimento na alta tensão. Com tarifa horária verde e necessidade de correção do fator de potência.

20) Custo de manutenção por sistema testado:

20.1) Sistema número: 1

20.1.1) Percentual sobre o custo de implantação: 5,00

20.1.2) Custo anual de manutenção (R\$): 6863,93

20.2) Sistema número: 2

20.2.1) Percentual sobre o custo de implantação: 5,00

20.2.2) Custo anual de manutenção (R\$): 7399,73

20.3) Sistema número: 3

20.3.1) Percentual sobre o custo de implantação: 5,00

20.3.2) Custo anual de manutenção (R\$): 7065,45

20.4) Sistema número: 4

20.4.1) Percentual sobre o custo de implantação: 5,00

20.4.2) Custo anual de manutenção (R\$): 6116,22

20.5) Sistema número: 5

20.5.1) Percentual sobre o custo de implantação: 5,00

20.5.2) Custo anual de manutenção (R\$): 7684,70

20.6) Sistema número: 6

20.6.1) Percentual sobre o custo de implantação: 5,00

20.6.2) Custo anual de manutenção (R\$): 6362,97

20.7) Sistema número: 7

20.7.1) Percentual sobre o custo de implantação: 5,00

20.7.2) Custo anual de manutenção (R\$): 7072,24

20.8) Sistema número: 8

20.8.1) Percentual sobre o custo de implantação: 5,00

20.8.2) Custo anual de manutenção (R\$): 8790,70

20.9) Sistema número: 9

20.9.1) Percentual sobre o custo de implantação: 5,00

20.9.2) Custo anual de manutenção (R\$): 7154,52

20.10) Sistema número: 10

20.10.1) Percentual sobre o custo de implantação: 5,00

20.10.2) Custo anual de manutenção (R\$): 7888,24

20.11) Sistema número: 11

20.11.1) Percentual sobre o custo de implantação: 5,00

20.11.2) Custo anual de manutenção (R\$): 9245,43

20.12) Sistema número: 12

20.12.1) Percentual sobre o custo de implantação: 5,00

20.12.2) Custo anual de manutenção (R\$): 7070,50

20.13) Sistema número: 13

20.13.1) Percentual sobre o custo de implantação: 5,00

20.13.2) Custo anual de manutenção (R\$): 8140,49

21) Custos anuais por sistema testado:

21.1) Sistema número: 1

21.1.1) Custo de implantação (R\$): 137278,65

21.1.2) Taxa de juros anual (decimal): 0,12

21.1.3) Vida útil do sistema (ano): 20,00

21.1.4) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13

21.1.5) Custo de implantação anual (R\$): 18378,70

21.1.6) Custo de operação anual (R\$): 62019,91

21.1.7) Custo total anual (R\$): 80398,60

21.2) Sistema número: 2

21.2.1) Custo de implantação (R\$): 147994,68

21.2.2) Taxa de juros anual (decimal): 0,12

21.2.3) Vida útil do sistema (ano): 20,00

21.2.4) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13

21.2.5) Custo de implantação anual (R\$): 19813,35

21.2.6) Custo de operação anual (R\$): 66536,90

21.2.7) Custo total anual (R\$): 86350,25

21.3) Sistema número: 3

21.3.1) Custo de implantação (R\$): 141309,00

21.3.2) Taxa de juros anual (decimal): 0,12

21.3.3) Vida útil do sistema (ano): 20,00

21.3.4) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13

21.3.5) Custo de implantação anual (R\$): 18918,28

21.3.6) Custo de operação anual (R\$): 51443,47

21.3.7) Custo total anual (R\$): 70361,75

21.4) Sistema número: 4

21.4.1) Custo de implantação (R\$): 122324,49

21.4.2) Taxa de juros anual (decimal): 0,12

21.4.3) Vida útil do sistema (ano): 20,00

21.4.4) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13

21.4.5) Custo de implantação anual (R\$): 16376,65

21.4.6) Custo de operação anual (R\$): 49675,55

21.4.7) Custo total anual (R\$): 66052,20

21.5) Sistema número: 5

21.5.1) Custo de implantação (R\$): 153694,00

21.5.2) Taxa de juros anual (decimal): 0,12

21.5.3) Vida útil do sistema (ano): 20,00

21.5.4) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13

21.5.5) Custo de implantação anual (R\$): 20576,37

21.5.6) Custo de operação anual (R\$): 49526,03

21.5.7) Custo total anual (R\$): 70102,39

21.6) Sistema número: 6

21.6.1) Custo de implantação (R\$): 127259,49

21.6.2) Taxa de juros anual (decimal): 0,12

21.6.3) Vida útil do sistema (ano): 20,00

21.6.4) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13

21.6.5) Custo de implantação anual (R\$): 17037,35

21.6.6) Custo de operação anual (R\$): 47143,29

21.6.7) Custo total anual (R\$): 64180,64

21.7) Sistema número: 7

21.7.1) Custo de implantação (R\$): 141444,85

21.7.2) Taxa de juros anual (decimal): 0,12

21.7.3) Vida útil do sistema (ano): 20,00

21.7.4) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13

21.7.5) Custo de implantação anual (R\$): 18936,46

21.7.6) Custo de operação anual (R\$): 47559,83

21.7.7) Custo total anual (R\$): 66496,29

21.8) Sistema número: 8

21.8.1) Custo de implantação (R\$): 175814,00

21.8.2) Taxa de juros anual (decimal): 0,12

21.8.3) Vida útil do sistema (ano): 20,00

21.8.4) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13

21.8.5) Custo de implantação anual (R\$): 23537,76

21.8.6) Custo de operação anual (R\$): 50577,77

21.8.7) Custo total anual (R\$): 74115,53

21.9) Sistema número: 9

21.9.1) Custo de implantação (R\$): 143090,48
21.9.2) Taxa de juros anual (decimal): 0,12
21.9.3) Vida útil do sistema (ano): 20,00
21.9.4) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13
21.9.5) Custo de implantação anual (R\$): 19156,78
21.9.6) Custo de operação anual (R\$): 46997,08
21.9.7) Custo total anual (R\$): 66153,86

21.10) Sistema número: 10

21.10.1) Custo de implantação (R\$): 157764,85
21.10.2) Taxa de juros anual (decimal): 0,12
21.10.3) Vida útil do sistema (ano): 20,00
21.10.4) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13
21.10.5) Custo de implantação anual (R\$): 21121,37
21.10.6) Custo de operação anual (R\$): 46954,56
21.10.7) Custo total anual (R\$): 68075,92

21.11) Sistema número: 11

21.11.1) Custo de implantação (R\$): 184908,60
21.11.2) Taxa de juros anual (decimal): 0,12
21.11.3) Vida útil do sistema (ano): 20,00
21.11.4) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13
21.11.5) Custo de implantação anual (R\$): 24755,34
21.11.6) Custo de operação anual (R\$): 51039,86
21.11.7) Custo total anual (R\$): 75795,20

21.12) Sistema número: 12

21.12.1) Custo de implantação (R\$): 141410,04

21.12.2) Taxa de juros anual (decimal): 0,12

21.12.3) Vida útil do sistema (ano): 20,00

21.12.4) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13

21.12.5) Custo de implantação anual (R\$): 18931,80

21.12.6) Custo de operação anual (R\$): 46555,18

21.12.7) Custo total anual (R\$): 65486,98

21.13) Sistema número: 13

21.13.1) Custo de implantação (R\$): 162809,85

21.13.2) Taxa de juros anual (decimal): 0,12

21.13.3) Vida útil do sistema (ano): 20,00

21.13.4) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13

21.13.5) Custo de implantação anual (R\$): 21796,78

21.13.6) Custo de operação anual (R\$): 46453,87

21.13.7) Custo total anual (R\$): 68250,65

22) Relação de custos por sistema testado:

22.1) Sistema número: 1

22.1.1) Custo da adutora (R\$): 9870,00

22.1.2) Custo da motobomba (R\$): 29221,25

22.1.3) Custo do inversor de frequência (R\$): 11590,00

22.1.4) Custo do posto de transformação (R\$): 23560,00

22.1.5) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 61447,40
22.1.6) Custo do banco de capacitores (R\$): 1590,00
22.1.7) Custo de implantação (R\$): 137278,65
22.1.8) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13
22.1.9) Custo de implantação anual (R\$): 18378,70
22.1.10) Custo anual da energia elétrica (R\$): 55155,97
22.1.11) Custo anual de manutenção (R\$): 6863,93
22.1.12) Custo de operação anual (R\$): 62019,91
22.1.13) Custo total anual (R\$): 80398,60

22.2) Sistema número: 2

22.2.1) Custo da adutora (R\$): 9870,00
22.2.2) Custo da motobomba (R\$): 32200,90
22.2.3) Custo do inversor de frequência (R\$): 13081,50
22.2.4) Custo do posto de transformação (R\$): 23560,00
22.2.5) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 67364,28
22.2.6) Custo do banco de capacitores (R\$): 1918,00
22.2.7) Custo de implantação (R\$): 147994,68
22.2.8) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13
22.2.9) Custo de implantação anual (R\$): 19813,35
22.2.10) Custo anual da energia elétrica (R\$): 59137,17
22.2.11) Custo anual de manutenção (R\$): 7399,73
22.2.12) Custo de operação anual (R\$): 66536,90
22.2.13) Custo total anual (R\$): 86350,25

22.3) Sistema número: 3

22.3.1) Custo da adutora (R\$): 22555,00

22.3.2) Custo da motobomba (R\$): 32200,90

22.3.3) Custo do inversor de frequência (R\$): 13081,50

22.3.4) Custo do posto de transformação (R\$): 23560,00

22.3.5) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 47993,60

22.3.6) Custo do banco de capacitores (R\$): 1918,00

22.3.7) Custo de implantação (R\$): 141309,00

22.3.8) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13

22.3.9) Custo de implantação anual (R\$): 18918,28

22.3.10) Custo anual da energia elétrica (R\$): 44378,02

22.3.11) Custo anual de manutenção (R\$): 7065,45

22.3.12) Custo de operação anual (R\$): 51443,47

22.3.13) Custo total anual (R\$): 70361,75

22.4) Sistema número: 4

22.4.1) Custo da adutora (R\$): 22555,00

22.4.2) Custo da motobomba (R\$): 16880,31

22.4.3) Custo do inversor de frequência (R\$): 9745,58

22.4.4) Custo do posto de transformação (R\$): 23560,00

22.4.5) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 47993,60

22.4.6) Custo do banco de capacitores (R\$): 1590,00

22.4.7) Custo de implantação (R\$): 122324,49

22.4.8) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13

22.4.9) Custo de implantação anual (R\$): 16376,65

22.4.10) Custo anual da energia elétrica (R\$): 43559,32

22.4.11) Custo anual de manutenção (R\$): 6116,22

22.4.12) Custo de operação anual (R\$): 49675,55

22.4.13) Custo total anual (R\$): 66052,20

22.5) Sistema número: 5

22.5.1) Custo da adutora (R\$): 34940,00

22.5.2) Custo da motobomba (R\$): 32200,90

22.5.3) Custo do inversor de frequência (R\$): 13081,50

22.5.4) Custo do posto de transformação (R\$): 23560,00

22.5.5) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 47993,60

22.5.6) Custo do banco de capacitores (R\$): 1918,00

22.5.7) Custo de implantação (R\$): 153694,00

22.5.8) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13

22.5.9) Custo de implantação anual (R\$): 20576,37

22.5.10) Custo anual da energia elétrica (R\$): 41841,33

22.5.11) Custo anual de manutenção (R\$): 7684,70

22.5.12) Custo de operação anual (R\$): 49526,03

22.5.13) Custo total anual (R\$): 70102,39

22.6) Sistema número: 6

22.6.1) Custo da adutora (R\$): 34940,00

22.6.2) Custo da motobomba (R\$): 16880,31

22.6.3) Custo do inversor de frequência (R\$): 9745,58

22.6.4) Custo do posto de transformação (R\$): 23560,00

22.6.5) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 40543,60
22.6.6) Custo do banco de capacitores (R\$): 1590,00
22.6.7) Custo de implantação (R\$): 127259,49
22.6.8) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13
22.6.9) Custo de implantação anual (R\$): 17037,35
22.6.10) Custo anual da energia elétrica (R\$): 40780,32
22.6.11) Custo anual de manutenção (R\$): 6362,97
22.6.12) Custo de operação anual (R\$): 47143,29
22.6.13) Custo total anual (R\$): 64180,64

22.7) Sistema número: 7

22.7.1) Custo da adutora (R\$): 34940,00
22.7.2) Custo da motobomba (R\$): 29221,25
22.7.3) Custo do inversor de frequência (R\$): 11590,00
22.7.4) Custo do posto de transformação (R\$): 23560,00
22.7.5) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 40543,60
22.7.6) Custo do banco de capacitores (R\$): 1590,00
22.7.7) Custo de implantação (R\$): 141444,85
22.7.8) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13
22.7.9) Custo de implantação anual (R\$): 18936,46
22.7.10) Custo anual da energia elétrica (R\$): 40487,59
22.7.11) Custo anual de manutenção (R\$): 7072,24
22.7.12) Custo de operação anual (R\$): 47559,83
22.7.13) Custo total anual (R\$): 66496,29

22.8) Sistema número: 8

22.8.1) Custo da adutora (R\$): 51260,00

22.8.2) Custo da motobomba (R\$): 32200,90

22.8.3) Custo do inversor de frequência (R\$): 13081,50

22.8.4) Custo do posto de transformação (R\$): 29360,00

22.8.5) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 47993,60

22.8.6) Custo do banco de capacitores (R\$): 1918,00

22.8.7) Custo de implantação (R\$): 175814,00

22.8.8) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13

22.8.9) Custo de implantação anual (R\$): 23537,76

22.8.10) Custo anual da energia elétrica (R\$): 41787,07

22.8.11) Custo anual de manutenção (R\$): 8790,70

22.8.12) Custo de operação anual (R\$): 50577,77

22.8.13) Custo total anual (R\$): 74115,53

22.9) Sistema número: 9

22.9.1) Custo da adutora (R\$): 51260,00

22.9.2) Custo da motobomba (R\$): 16880,31

22.9.3) Custo do inversor de frequência (R\$): 9745,58

22.9.4) Custo do posto de transformação (R\$): 23560,00

22.9.5) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 40543,60

22.9.6) Custo do banco de capacitores (R\$): 1100,99

22.9.7) Custo de implantação (R\$): 143090,48

22.9.8) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13

22.9.9) Custo de implantação anual (R\$): 19156,78

22.9.10) Custo anual da energia elétrica (R\$): 39842,56

22.9.11) Custo anual de manutenção (R\$): 7154,52

22.9.12) Custo de operação anual (R\$): 46997,08

22.9.13) Custo total anual (R\$): 66153,86

22.10) Sistema número: 10

22.10.1) Custo da adutora (R\$): 51260,00

22.10.2) Custo da motobomba (R\$): 29221,25

22.10.3) Custo do inversor de frequência (R\$): 11590,00

22.10.4) Custo do posto de transformação (R\$): 23560,00

22.10.5) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 40543,60

22.10.6) Custo do banco de capacitores (R\$): 1590,00

22.10.7) Custo de implantação (R\$): 157764,85

22.10.8) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13

22.10.9) Custo de implantação anual (R\$): 21121,37

22.10.10) Custo anual da energia elétrica (R\$): 39066,31

22.10.11) Custo anual de manutenção (R\$): 7888,24

22.10.12) Custo de operação anual (R\$): 46954,56

22.10.13) Custo total anual (R\$): 68075,92

22.11) Sistema número: 11

22.11.1) Custo da adutora (R\$): 56305,00

22.11.2) Custo da motobomba (R\$): 41107,00

22.11.3) Custo do inversor de frequência (R\$): 15675,00

22.11.4) Custo do posto de transformação (R\$): 29360,00

22.11.5) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 40543,60
22.11.6) Custo do banco de capacitores (R\$): 1918,00
22.11.7) Custo de implantação (R\$): 184908,60
22.11.8) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13
22.11.9) Custo de implantação anual (R\$): 24755,34
22.11.10) Custo anual da energia elétrica (R\$): 41794,43
22.11.11) Custo anual de manutenção (R\$): 9245,43
22.11.12) Custo de operação anual (R\$): 51039,86
22.11.13) Custo total anual (R\$): 75795,20

22.12) Sistema número: 12

22.12.1) Custo da adutora (R\$): 56305,00
22.12.2) Custo da motobomba (R\$): 10999,90
22.12.3) Custo do inversor de frequência (R\$): 8900,55
22.12.4) Custo do posto de transformação (R\$): 23560,00
22.12.5) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 40543,60
22.12.6) Custo do banco de capacitores (R\$): 1100,99
22.12.7) Custo de implantação (R\$): 141410,04
22.12.8) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13
22.12.9) Custo de implantação anual (R\$): 18931,80
22.12.10) Custo anual da energia elétrica (R\$): 39484,68
22.12.11) Custo anual de manutenção (R\$): 7070,50
22.12.12) Custo de operação anual (R\$): 46555,18
22.12.13) Custo total anual (R\$): 65486,98

22.13) Sistema número: 13

22.13.1) Custo da adutora (R\$): 56305,00

22.13.2) Custo da motobomba (R\$): 29221,25

22.13.3) Custo do inversor de frequência (R\$): 11590,00

22.13.4) Custo do posto de transformação (R\$): 23560,00

22.13.5) Custo do sistema fotovoltaico (R\$): 40543,60

22.13.6) Custo do banco de capacitores (R\$): 1590,00

22.13.7) Custo de implantação (R\$): 162809,85

22.13.8) Fator de recuperação de capital (adimensional): 0,13

22.13.9) Custo de implantação anual (R\$): 21796,78

22.13.10) Custo anual da energia elétrica (R\$): 38313,38

22.13.11) Custo anual de manutenção (R\$): 8140,49

22.13.12) Custo de operação anual (R\$): 46453,87

22.13.13) Custo total anual (R\$): 68250,65

23) Sistema com a maior eficiência econômica:

23.1) Sistema número: 6

23.1.1) Tubo da adutora - pressão nominal: 125 - diâmetro nominal: 125 - diâmetro interno (mm): 115,00

23.1.2) Tubo de sucção - pressão nominal: 60 - diâmetro nominal: 150 - diâmetro interno (mm): 142,00

23.1.3) Motobomba composta por bomba: KSB 40-250 - 238 mm - 3126 rpm (Ponto de Projeto) e por motor: Trifásico de Indução Weg IP55 - 02 Polos. Potência nominal (cv): 25

23.1.4) Inversor de frequência com potência nominal de 25 (cv).

23.1.5) Geração fotovoltaica com capacidade mensal de 2474,18 (kWh).

23.1.6) Banco de capacitores com potência nominal de 10,20 (kVAr).

23.1.7) Posto de transformação com potência nominal de 30 (kVA).