



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC**

**DIMENSIONAMENTO DE MOTOBOMBAS EFICIENTES PARA  
POÇOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO**

**Aluno: Joale de Carvalho Pereira**

**Orientador: Dr. Benemar Alencar**

**Campina Grande – Paraíba**

**Março de 2010**

P436d Pereira, Joale de Carvalho.

Dimensionamento de motobombas eficientes para poços de abastecimento público. / Joale de Carvalho Pereira. - Campina Grande - PB: [s.n], 2010.

69f.

Orientador: Professor Dr. Benemar Alencar de Souza.

Trabalho de Conclusão de Curso - Monografia; (Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Engenharia Elétrica e Informática.

1. Motobombas - dimensionamento. 2. Poços de abastecimento público. 3. Aquíferos. 4. Águas subterrâneas. 5. Perfuração de poço - água. 6. Hidráulica. 7. Tarifas de energia. 8. Maleta Lamon MD Hidro 3.2. 9. Medição Pré-Retrofit. 10. Ciclo hidrológico I. Souza, Benemar Alencar de. II. Título.

CDU:621.3(043.1)

**Elaboração da Ficha Catalográfica:**

Johnny Rodrigues Barbosa  
Bibliotecário-Documentalista  
CRB-15/626



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Trabalho de conclusão de curso apresentado à coordenação do curso de Engenharia Elétrica da UFCEG, como parte dos requisitos à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

---

**Joale de Carvalho Pereira**  
Aluno

---

**Dr. Benemar Alencar de Souza**  
Orientador

**Campina Grande - PB**

**Março de 2009**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me dar sabedoria, coragem e determinação para superar todos os desafios, e entender que a vida é um eterno aprendizado.

À minha mãe que tudo fez, e tudo faz para me apoiar e me tranquilizar perante todas as situações adversas encontradas em minha vida.

Meu pai, que enquanto presente procurou dar sempre o melhor a seus filhos. Este que devo grandes ensinamentos de perseverança e força de vontade. Minhas irmãs Meilene e Joalene, e à Magda, pela confiança e amor depositados.

Aos colegas de apartamento Alberto, Breitner e José Welisson por terem dividido comigo momentos de alegria e tristeza durante todo este tempo, dando apoio e depositando torcida.

A todos os colegas de curso, por terem convivido comigo todos estes anos de vida acadêmica, intermináveis madrugadas de estudos planos e sonhos.

Ao professor Benemar Alencar pelo grande apoio na realização deste trabalho, e importante contribuição em minha vida acadêmica e profissional.

A toda equipe do setor de Pesquisa Desenvolvimento e Conservação de Energia da CEAL, aos Engenheiros Almir e Marcelo pela atenção, paciência e conhecimentos a mim oferecidos.

Agradeço também a todos aqueles, que não por menor importância, não foram citados, mas que também tiveram grande contribuição na realização do sonho de adquirir o título de Engenheiro Eletricista.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	3
2. ÁGUA SUBTERRÂNEA E CICLO HIDROLÓGICO.....	6
3. FORMAÇÕES GEOLÓGICAS E AQUÍFEROS.....	7
3.1. LOCALIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO SUBSOLO.....	7
3.2. CONCEITO DE AQUÍFERO.....	8
3.3. REABASTECIMENTO DO AQUÍFERO.....	10
4. EFICIÊNCIA NA PERFURAÇÃO DE UM POÇO.....	10
4.1. A LOCALIZAÇÃO DE UM POÇO.....	11
4.2. TESTES DE PRODUÇÃO.....	13
4.3. SUPER EXPLORAÇÃO.....	14
4.4. RISCOS DE LONGO PRAZO.....	16
5. NOÇÕES DE HIDRÁULICA.....	17
5.1. PESO ESPECÍFICO.....	17
5.2. MASSA ESPECÍFICA.....	17
5.3. VISCOSIDADE.....	17
5.4. PREÇÃO.....	18
5.5. DENSIDADE.....	18
5.6. VAZÃO.....	19
5.7. NÍVEL ESTÁTICO DE UM POÇO.....	19
5.8. NÍVEL DINÂMICO DE UM POÇO.....	19
5.9. ALTURA DE RECALQUE.....	19
5.10. TUBOS EDUTORES.....	19
5.11. ALTURA MANOMÉTRICA.....	21
5.12. PERDA DE CARGA.....	21
5.13. NÚMERO DE REYNOLDS E CLASSES DE ESCOAMENTO.....	23
5.14. FATOR DE ATRITO.....	24
5.15. RENDIMENTO E POTÊNCIA.....	26
6. TARIFAS DE ENERGIA E DEMANDA.....	29

6.1. VISÃO GERAL.....	29
6.2. TARIFAS COBRADAS NA CEAL.....	33
7. DIMENSIONAMENTO DE MOTOBOMBAS EFICIENTES.....	36
7.1. DESCRIÇÃO.....	36
7.2. PLANO DE MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO.....	37
7.3. MATERIAL USADO.....	37
7.3.1. MALETA LAMON MD HIDRO 3.2.....	38
7.3.2. SAGA 4000.....	39
7.4. MEDIÇÃO PRÉ-RETROFIT.....	40
7.5. DIMENSIONAMENTO DAS NOVAS MOTOBOMBAS.....	45
7.6. DIMENSIONAMENTO DOS CABOS.....	52
8. ESTIMATIVA DE ENERGIA A SER ECONOMIZADA.....	54
8.1. CONTRATO DE PERFORMANCE.....	55
8.2. RELAÇÃO CUSTO X BENEFÍCIO.....	56
8.2.1. CUSTOS.....	59
8.2.2. BENEFÍCIOS.....	59
8.2.3. CÁLCULO DA RELAÇÃO CUSTO X BENEFÍCIO.....	63
8.3. ESTUDO SOBRE ADEQUAÇÃO DA TARIFA DE ENERGIA DAS UNIDADES CONSUMIDORAS.....	64
9. BIBLIOGRAFIA.....	68

# 1. INTRODUÇÃO

Aproximadamente  $\frac{3}{4}$  da superfície da Terra é coberto por água, razão pela qual, vista e fotografada do espaço, foi apelidada de Planeta Água. Substância essencial para manutenção dos seres vivos, a água é reconhecida pela ciência como o ambiente em que surgiu a própria vida. Por esse motivo, sua ocorrência é considerada uma das condições básicas para a admissão da existência de vida. A existência da água nos estados sólido, líquido e gasoso na Terra, envolve o gigantesco fenômeno denominado Ciclo Hidrológico, a contínua circulação entre os oceanos, a atmosfera e os continentes, responsável pela renovação da água doce, há pelo menos 3,8 bilhões de anos. Entretanto, 97,6% da água do planeta são constituídas pelos oceanos, mares e lagos de água salgada, Figura 1 abaixo.

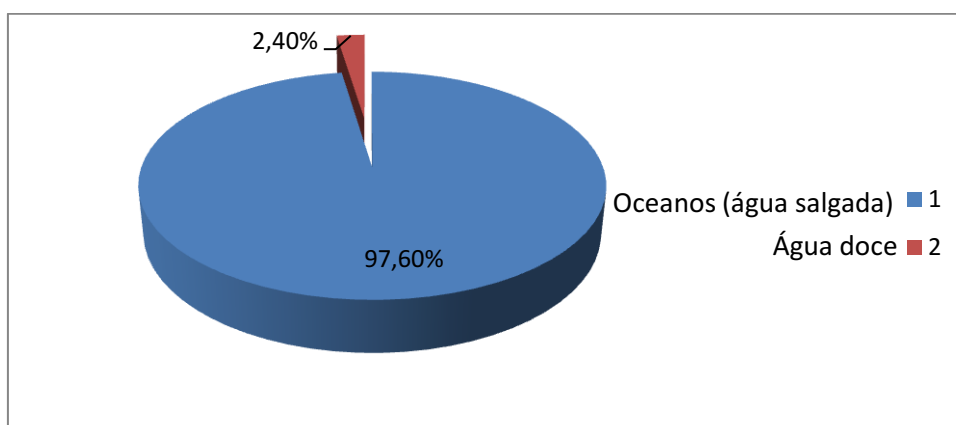


Figura 1 – Distribuição de água salgada e água doce no planeta

A água doce, representada pelos 2,4% restante, tem sua maior parte situada nas calotas polares e geleiras (1,9%), inacessível aos homens pelos meios tecnológicos atuais. Da parcela restante (0,5%), mais de 95% é constituída pelas águas subterrâneas, conforme Figura 2 abaixo.

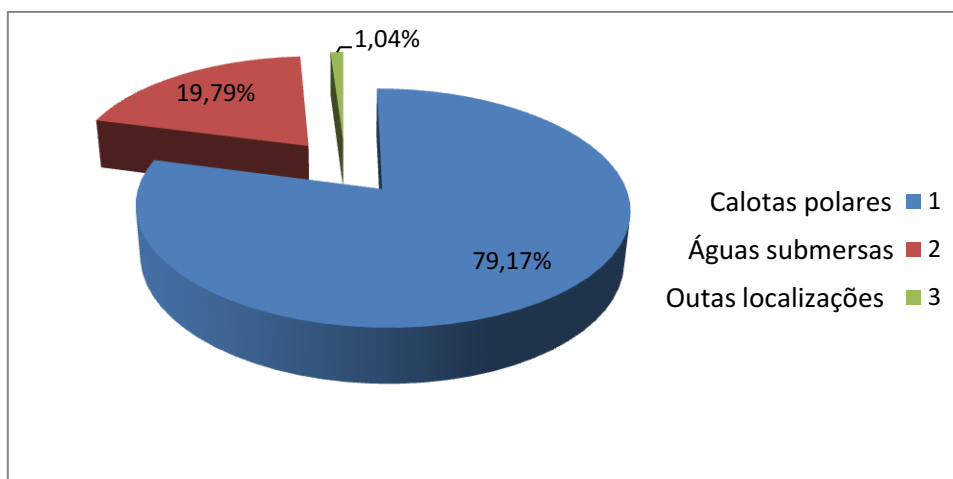


Figura 2 – Distribuição da água doce no planeta

A água é também veículo para os mais diversos tipos de doenças, quando poluída ou contaminada. Estudo recente do BNDES sobre saneamento no Brasil indicou que 51% da população urbana (aproximadamente 63 milhões de pessoas) não é atendida por rede de água dos sistemas de abastecimento e que cerca de 45% das águas tratadas distribuídas são desperdiçadas. A pesquisa constatou ainda a alarmante realidade de que 90% dos esgotos são lançados “in natura” nos solos e rios, sem qualquer tratamento. Em nível mundial, os números são ainda mais assustadores. Estima-se que 1,2 bilhão de pessoas no mundo carecem de água potável e que 1,9 bilhão não dispõe de adequados serviços de saneamento. A falta de água potável e de saneamento básico provoca a morte de cerca de 4 milhões de crianças anualmente, vitimadas por doenças de veiculação hídrica como a cólera, a diarreia, etc. Devido à degradação de sua qualidade, que se acentuou a partir da II Guerra Mundial, a água doce líquida que circula em muitas regiões do mundo já perdeu sua característica especial de recurso renovável, em particular nos países ditos do Terceiro Mundo, na medida em que os efluentes e/ou os resíduos domésticos e industriais são dispostos no ambiente sem tratamento ou de forma inadequada. Além dos desequilíbrios da oferta de água às populações, a questão da disponibilidade e dos conflitos pelo seu uso também apresentam seus aspectos preocupantes. Assim é que alguns países apresentam escassez hídrica absoluta, tais como Kuwait, Egito, Arábia Saudita, Barbados, Singapura e Cabo Verde; outros como Burundi, Argélia e Bélgica padecem



de seca crônica; em regiões como o semi-árido nordestino há o alerta de escassez e em vários locais afloram conflitos decorrentes de desequilíbrios entre demanda e disponibilidade, tais como Madrid e Lisboa pelo Rio Tejo, Síria e Israel pelo Rio Golã, Síria e Turquia, pelo Rio Eufrates, Iraque e Turquia pelo Rio Eufrates, Tailândia e Laos pelo Rio Mekong , Barcelona e Alicante pelo Rio Ebro, entre outros .

Diante desse cenário turbulento, a água subterrânea vem assumindo uma importância cada vez mais relevante como fonte de abastecimento devido a uma série de fatores que restringem a utilização das águas superficiais, bem como ao crescente aumento dos custos da sua captação, adução e tratamento. A água subterrânea está sendo reconhecida como alternativa viável aos usuários (ver *Tabela 1*) e tem apresentado uso crescente nos últimos anos, obtidas através de poços bem localizados e construídos. Além os problemas facilidade de contaminações inerentes às águas superficiais, o maior interesse pelo uso da água subterrânea vem sendo despertado, pela maior oferta deste recurso e em decorrência do desenvolvimento tecnológico, o que promoveu uma melhoria na produtividade dos poços e um aumento de sua vida útil.

1. Volumes estocados muito grandes (192.000 km <sup>3</sup> no Brasil) e suas velocidades de fluxo muito baixas (cm/dia) resultam em que o manancial é pouco afetado pelas variações sazonais de pluviometria, podendo propiciar um abastecimento regular durante os períodos de seca ou estiagem prolongadas.
2. Pelo fato de ocorrerem no subsolo sob uma zona de material rochoso não-saturado ou camadas rochosas pouco permeáveis, as águas subterrâneas encontram-se relativamente melhor protegidas contra agentes potenciais ou efetivos de poluição.
3. Quando captadas de forma adequada, na sua utilização, geralmente, não se tem custos de clarificação, tratamento ou purificação – os processos de filtração e biogeoquímicos de depuração do subsolo proporcionam um alto nível de purificação e potabilidade das águas subterrâneas.
4. A forma de ocorrência extensiva possibilita sua captação nos locais onde são geradas as demandas.
5. Os prazos de execução das obras de captação são relativamente curtos – da ordem de dias até alguns meses.
6. Os investimentos em geral são relativamente pequenos – variando entre dezenas a centenas de milhares de reais.
7. Os aquíferos não sofrem processos de assoreamento, nem perdem grandes volumes de água por evaporação.

Tabela 1 – Vantagens da captação de água subterrânea

Não obstante o volume de água doce estocado no subsolo representar mais de 95% desses recursos disponíveis para os homens através dos meios tecnológicos atuais, os níveis de utilização de águas subterrâneas no mundo em geral e no Brasil em particular, são ainda relativamente modestos e desigualmente distribuídos, apesar do forte crescimento do consumo nos países desenvolvidos, nas últimas décadas.

A Primeira Conferência Mundial da Água, realizada em Mar del Plata em 1977, considerou que cerca de 70% das cidades carentes de água potável no Terceiro Mundo poderiam ser abastecidas ou reforçadas de forma mais barata e rápida, utilizando-se águas subterrâneas, como também a maioria das comunidades rurais.

A falta de instrumentos legais, de normas técnicas e de uma estrutura técnico-administrativa que garanta a eficácia na exploração e controle desse recurso vem colocando em risco (ver *Tabela 2*) nossos principais aquíferos, pois não há limitações para uso, nem normas de proteção. É necessário, portanto, a conscientização para o problema, de modo a se equacionar corretamente a atividade e de se promover definitivamente as condições de preservação desse recurso estratégico para a utilização das gerações futuras.

## **2. ÁGUA SUBTERRÂNEA E CICLO HIDROLÓGICO**

A água subterrânea nada mais é do que água infiltrada no subsolo, presente nos espaços intergranulares dos solos ou nas fraturas das rochas. Para um melhor entendimento é fundamental a noção de Ciclo Hidrológico. A *Figura 1* ilustra bem esse fenômeno de renovação da água no planeta através da gigantesca circulação entre os mares, lagos e rios, atmosfera e continentes (solos e rochas).

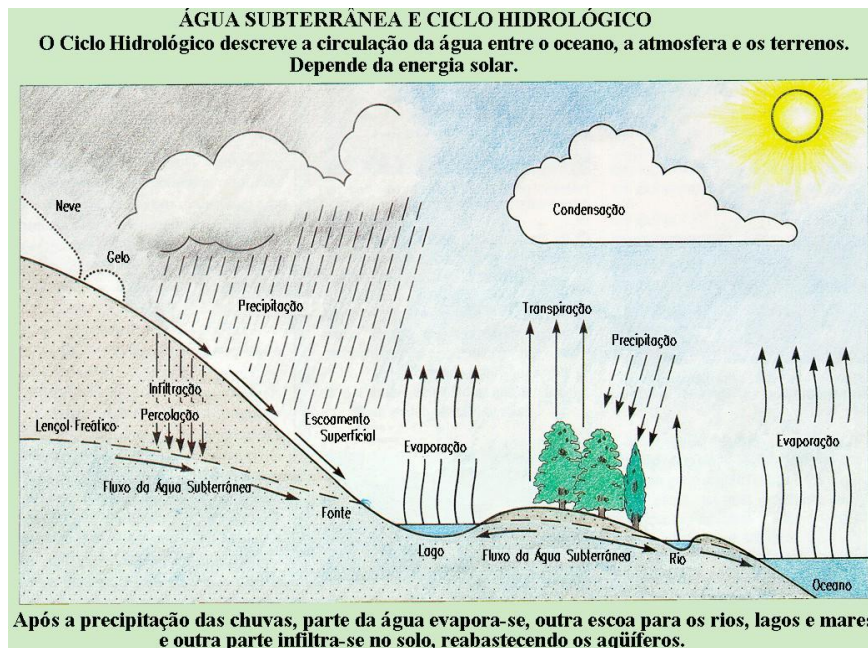


Figura 3 - Ciclo Hidrológico

Por efeito da radiação solar, as águas dos mares, rios e lagos evaporam-se e formam nuvens. Estas, ao encontrarem correntes frias de ar ou baixas pressões atmosféricas, condensam-se e precipitam-se sob a forma de chuvas, granizo ou neve. Da água precipitada, uma parte evapora-se antes mesmo de atingir o próprio solo ou serem interceptadas pelas folhas dos vegetais; outra parte escoo para os rios, lagos e mares; e, finalmente, outra parte infiltra-se no subsolo formando os reservatórios naturais de água subterrânea ou aquíferos. A água subterrânea, através de um fluxo muito lento, também alimenta os rios, lagos e mares ou emerge a superfície, formando fontes. A água dos lagos, rios e mares evapora-se outra vez e assim o ciclo é reiniciado.

### 3. FORMAÇÕES GEOLÓGICAS E AQUIFEROS

#### 3.1. LOCALIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO SUBSOLO

Ao infiltrar-se, em seu movimento descendente, a água preenche gradualmente os poros, saturando a faixa inferior dos solos e rochas. A parte que permanece preenchida parcialmente denomina-se **zona de aeração**, enquanto a parte onde os interstícios estão repletos de água é denominada **zona saturada** (Figura 4). Na parte

superior da **zona não saturada** localiza-se uma pequena faixa de onde os vegetais retiram água, por isso denominada zona de água do solo.



Figura 4 - Água no subsolo

Na **zona saturada** é onde de fato está localizada a água subterrânea propriamente dita. Sua espessura pode variar de alguns decímetros até centenas de metros, dependendo de fatores como a natureza geológica do subsolo e suas propriedades hidrogeológicas, vegetação e pluviosidade. A superfície superior da zona de saturação é denominada **lençol freático** ou superfície freática e nela a água contida nos poros encontra-se sob pressão atmosférica.

### 3.2 Conceito de Aquífero

**Aquíferos** ou **reservatórios naturais de água subterrânea** são formações rochosas ou camadas geológicas que armazenam e transmitem água economicamente passível de extração. Existem três tipos básicos de aquíferos (*Figura 5*) de acordo com a formação rochosa na qual está contido:

**Aquíferos granulares ou porosos** – aqueles em que a água está armazenada e flui nos espaços entre os grãos em sedimentos e rochas sedimentares de estrutura granular. Exemplo: arenitos e aluviões.

**Aquíferos fissurais** – aqueles nos quais a água está presente nas fraturas e fendas das rochas cristalinas. Exemplo: granitos, gnaisses e diabásios

**Aqüíferos cárstico ou cavernoso** – aqueles nos quais a água se faz presente em cavidades produzidas pela dissolução causada pela águas. Exemplo: calcários e mármore.

Quando a superfície que limita a zona saturada dos aqüíferos coincide com o lençol freático eles são chamados **aqüíferos livres** (Figura 6). Quando o aqüífero encontra-se entre duas camadas impermeáveis, diz-se que está confinado. Nessa condição, a água está sob pressão superior à pressão atmosférica. O aqüífero nesse caso é denominado **aqüífero confinado** ou **artesiano** (Figura 7). O poço que capta esses tipos de aqüífero é chamado **poço artesiano** porque o seu nível d'água está acima do lençol freático. Esse nível d'água é denominado **nível artesiano**. Quando o nível artesiano eleva-se acima da superfície do solo o poço é chamado **surgente** ou **jorrante**.

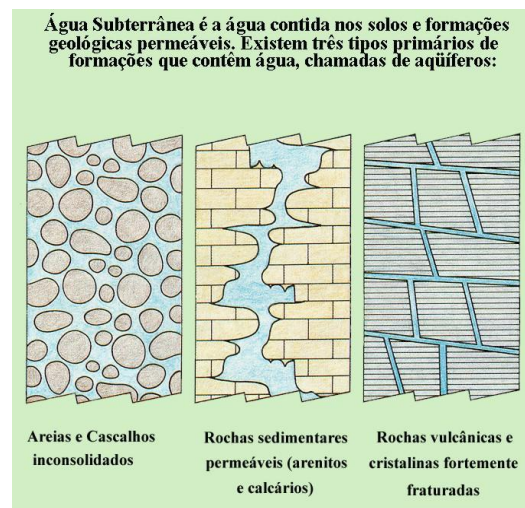


Figura 5 - Tipos de aqüífero

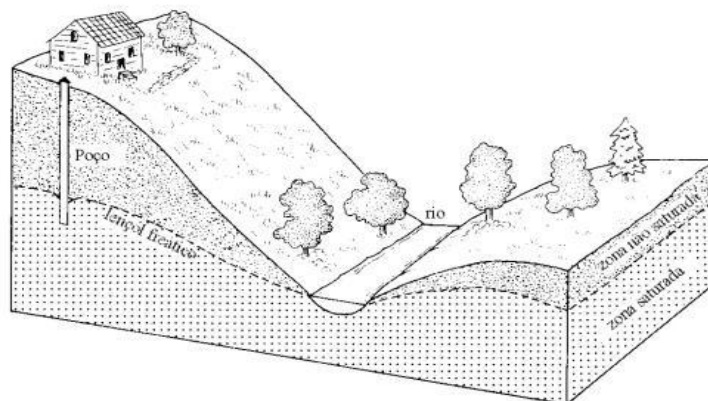


Figura 6 - Aqüífero livre

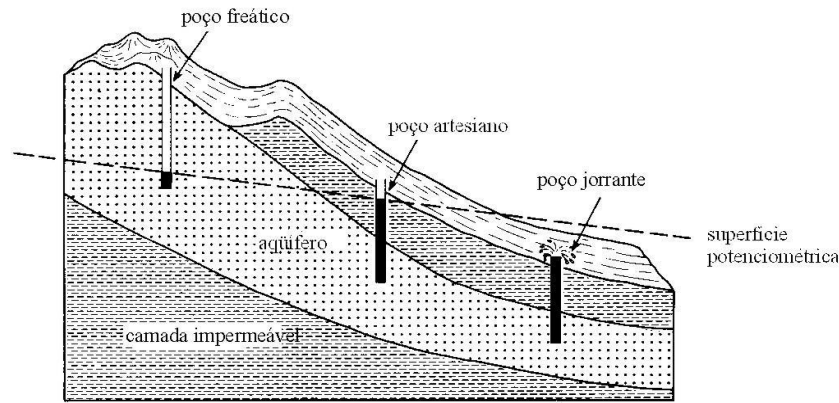


Figura 7 - Aquífero artesianiano

### 3.3 REABASTECIMENTO DO AQUÍFERO

O reabastecimento de um aquífero ocorre basicamente a partir da infiltração de água das chuvas e, em menor escala, de corpos d'água superficiais. O maior ou menor grau de reabastecimento ou recarga depende de fatores como clima, vegetação, relevo, drenagem e geologia da região. A existência de solos porosos e permeáveis favorece a infiltração, mas essa condição pode ser ampliada se o solo for coberto por vegetação e estiver em relevo plano. Já em áreas de relevo íngreme e solos pouco permeáveis, a maior parte da água precipitada transforma-se em cursos superficiais, dificultando a infiltração. Em regiões de clima úmido e solos permeáveis, a recarga pode atingir até 25% da precipitação pluviométrica anual. Os aquíferos podem ser reabastecidos localmente pela infiltração da água das chuvas, é a chamada recarga direta, característica dos aquíferos livres. Já nos aquíferos confinados o mais comum é que aconteça a recarga indireta, onde o reabastecimento ocorre somente nos locais onde a camada que contém o aquífero aflora. Esses locais são denominados zona de recarga desses aquíferos. Nos aquíferos fissurais a recarga pode ser diretas ou indiretas ou ambas de acordo com as condições e local de ocorrência.

## 4. EFICIÊNCIA NA PERFURAÇÃO DE UM POÇO

Embora, teoricamente, a água subterrânea esteja presente em qualquer lugar, isso não significa que um poço possa ser localizado em qualquer lugar. A captação de água subterrânea tem um custo por vezes elevado e, portanto, não deve ser feita sem

critérios. Existem fatores naturais que condicionam a distribuição e concentração da água subterrânea em certos locais, de maneira a melhorar o rendimento e a vazão do poço, tornando o empreendimento mais proveitoso e evitando ou diminuindo a taxa de insucessos. O mesmo se aplica em relação à construção do poço. Um poço é uma obra de engenharia que leva em consideração as condições hidrogeológicas, hidrodinâmicas e físico-químicas da formação geológica a ser explorada. Não é um simples furo com paredes parcial ou totalmente revestidas. Portanto, se corretamente locado, projetado, fiscalizado e executado, o poço propiciará um rendimento e uma vida útil bem maiores. Geralmente, o interessado em uma captação de água subterrânea é tentado a resolver seu problema de abastecimento sempre pelo menor custo. Este procedimento, muitas vezes, torna-se mais oneroso, quando é feita a opção pela contratação direta de um perfurador selecionado apenas pelo menor custo de “metro perfurado”, sem levar em conta a necessidade de estudo de viabilidade e, em caso favorável, a elaboração das **especificações técnicas construtivas do poço**. Este projeto exigirá do construtor a utilização de material técnico e humano adequados à boa execução da obra, anexando-se um **quantitativo de materiais e serviços** a ser empregados, facilitando ao usuário a escolha do melhor preço entre os proponentes previamente habilitados. Para obter maior taxa de sucesso na empreitada de um poço tubular, é necessária a contratação de um profissional especializado, já que se trata de uma atividade complexa. Esse profissional deve ser um **geólogo** ou um **engenheiro de minas com especialização ou experiência em hidrogeologia**, o qual conduzirá os trabalhos em três fases básicas: **a locação, a elaboração do projeto construtivo e o acompanhamento técnico da construção do poço**, visando o dimensionamento final da obra, ficando sob sua responsabilidade os resultados quantitativos e qualitativos a serem obtidos. Ficará sob responsabilidade do construtor a execução da obra que, em caso de falhas mecânicas, imperícias ou acidentes, deverá ser refeita ou corrigida.

#### 4.1 A LOCALIZAÇÃO DE UM POÇO

O primeiro passo para qualquer estudo planejado de um aproveitamento econômico de águas subterrâneas é o **estudo de seleção do local da perfuração**,

devendo ser iniciado através da utilização de dados geológicos publicados e de possíveis poços cadastrados na área de interesse, complementado por um reconhecimento geológico de campo. O conhecimento da geologia da área ou da região pode indicar as formações portadoras de água, assim como dar uma idéia da vazão a ser obtida. Por sua vez, o estudo da geologia estrutural tornará possível fazer uma adequada escolha do local da perfuração, bem como fornecerá os elementos básicos do **projeto construtivo do poço**, como método de perfuração, profundidades e diâmetros de perfuração a alcançar, profundidades a serem revestidas, necessidade ou não de aplicação de seções filtrantes, métodos de serviços de limpeza, testes de produção, etc. Para a locação de um poço, uma investigação de geologia de superfície é, em geral menos dispendiosa, mas nem sempre seus resultados dão garantia de êxito. Uma ferramenta de grande valor, principalmente no caso de rochas cristalinas, é a fotointerpretação da área ou da região, permitindo obter informações como: (a) direção e características das estruturas geológicas; (b) contatos litológicos; e (c) rede e padrão de drenagem, permitindo inferir as condições de subsuperfície. A interpretação e conclusão dos estudos nesta fase muitas vezes são suficientes para selecionar corretamente o local exato da perfuração, levando-se em conta ainda as condições de acesso e da infra-estrutura existente. No caso de persistirem dúvidas, pode-se recorrer a investigações de subsuperfície. Os métodos mais usuais são os geofísicos, que consistem em detectar as anomalias nas propriedades físicas das rochas, baseadas em medições indiretas. As interpretações dos dados apresentados em gráficos são muitas vezes difíceis, devendo ser cuidadosamente avaliadas. Os métodos mais comuns são os elétricos e os eletromagnéticos. A investigação de sub superfície através de sondagens rasas é outra ferramenta eficaz e muitas vezes necessária, quando se pretende um estudo de maior precisão. Através dessas investigações é possível avaliar a existência de água subterrânea, podendo estimar a quantidade e qualidade dos recursos. Entretanto, o nível de conhecimento final só é possível de ser obtido mediante a realização de poços de investigação e produção, com realização de testes de bombeamento e amostragem para análises da água dos diversos aquíferos encontrados. Atualmente há uma tendência em perfurar mais poços com diâmetros menores em uma mesma área, com o objetivo de diminuir o risco, fazendo com que



cada poço se torne menos vulnerável à contaminação, descargas atmosféricas e grandes rebaixamentos.

Quando um poço novo é perfurado ou um poço já existente é recuperado, o objetivo principal é de fornecer um abastecimento de água confiável, com qualidade e a um preço competitivo. Infelizmente, o principal enfoque é muitas vezes dirigido aos aspectos relativos ao custo inicial, e os consumidores pagam um preço demasiadamente alto pela sua água, uma vez que a eficiência do método de extração em si recebeu muito pouca atenção. A eficiência do processo de extração de água subterrânea de poços envolve as características do aquífero, as características construtivas do poço, a correta especificação das bombas, motores e cabos, a perda de carga nos tubos e dutos e a instalação de equipamentos de controle e automação.

## 4.2. TESTES DE PRODUÇÃO

Concluído o desenvolvimento do poço, ele deve ser ensaiado para avaliação de sua vazão ótima de operação para um determinado rebaixamento. As informações obtidas de rebaixamento versus vazão fornecem uma base de cálculo para determinação do nível dinâmico máximo a ser alcançado, imprescindível para escolha do correto equipamento de recalque a ser instalado. Normalmente, em testes bem executados, emprega-se bomba submersa, aferindo-se as vazões por meio de vertedouros ou **tubos de Pitot**, mantendo-se constante a vazão durante todo o tempo que o poço é testado e aferindo-se os rebaixamentos em escala logarítmica. Via de regra, poços com vazões de até 10 m<sup>3</sup>/h são testados com vazão única durante pelo menos 24 horas (Figura 8), enquanto que em poços com grandes vazões são efetuados 3 a 5 bombeamentos escalonados para correta determinação das perdas de carga no aquífero e no poço, permitindo avaliar adequadamente seqüelas construtivas oriundas da possível má construção do poço. O conhecimento destes dados permite selecionar corretamente a profundidade e o equipamento de recalque ideal para instalação do poço, aumentando sensivelmente sua vida útil.



Figura 8 - Teste de bombeamento em poço perfurado em cristalino

### 4.3. SUPER EXPLORAÇÃO

A água subterrânea sempre foi vista como uma fonte inesgotável de abastecimento. Com o desenvolvimento das modernas técnicas de prospecção, perfuração e extração, essa atitude não pode mais continuar. Embora seja um recurso renovável, poucos aquíferos podem suportar enormes e indefinidas taxas de extração, na maior parte do mundo. Para assegurar suprimentos de água subterrânea para as gerações futuras, a filosofia do desenvolvimento sustentável preconiza que a extração de água de um aquífero nunca deve exceder sua recarga. Quando a extração de água subterrânea ultrapassa a recarga natural, por longos períodos de tempo, os aquíferos sofrem depleção e o lençol freático começa a baixar. Nessa situação, os seguintes problemas são ocasionados:

- Poços rasos, usados para abastecimentos locais e irrigações, secam;
- Poços de produção têm que ser perfurados a profundidades cada vez maiores, despendendo mais energia para bombeamento;
- Aquíferos litorâneos podem sofrer contaminação por intrusão da água do mar;

- Compactação gradual do subsolo, provocando subsidência de terrenos;

Alguns desses problemas podem ser controlados ou revertidos pela redução das extrações, mas, a contaminação pela água do mar persiste por muitos anos, enquanto a subsidência de terrenos costuma ser irreversível. Na Cidade do México, o bombeamento excessivo causou sérias subsidências de terreno que desceu de 8 a 9 metros, durante o século passado. Hoje, apesar da subsidência ter diminuído devido ao controle da extração, muitos danos foram causados a edifícios, estradas e à rede de abastecimento d'água e esgotamento sanitário da cidade. A solução mais eficaz e menos onerosa é o estabelecimento de um programa de proteção das águas subterrâneas.

Aqui no Brasil, mais precisamente, em Minas Gerais no município de Vazante, a Votorantin Metais, faz, um dos maiores rebaixamentos de lençol freáticos, com graves conseqüências ao meio ambiente, inclusive com subsidências (Figuras 10 e 11).



Figura 10 – Fotos de subsidência ocorrida em dezembro de 2005 em Vazante M.G



Figura 11 - Foto de subsidência

O caso de Vazante tem muito maior gravidade, pois a área é de solo Carticos (calcareo), além de que as quantidades de água extraídas do sub-solo, são enormes (15.000 metros cúbicos /hora), e levam a varias outras conseqüências, como secagem de Lagoas (Sucuri e Poço Verde), córregos (Barroca e Barroquinha estão secos).

#### 4.4. RISCOS DE LONGO PRAZO

A poluição e a super exploração de água subterrânea podem ter sérias conseqüências:

- **Racionamentos de água** – a contaminação ou a perda de reservas de água subterrânea pode levar a drásticos racionamentos e medidas emergenciais. No caso de ilhas, os racionamentos podem ser dramáticos, porque a única alternativa poderá vir a ser a dessalinização da água do mar;
- **Ameaças à saúde** – a contaminação de reservas de água potável coloca a saúde pública em risco pela exposição a uma série de organismos patogênicos e substâncias cancerígenas e tóxicas, entre outras;
- **Danos aos ecossistemas** – devido à interação entre águas subterrâneas e águas superficiais, certos ecossistemas aquáticos podem sofrer graves danos. Por exemplo: (a) o florescimento de algas ou outros efeitos de eutroficação causados pela descarga de águas subterrâneas ricas em nutrientes em lagoas; (b) aporte de

metais pesados e compostos orgânicos na cadeia alimentar, atingindo níveis tóxicos; e (c) rebaixamento do espelho d'água de lagoas, desaparecimento de brejos e redução da umidade do solo causados pela redução do fluxo de base de rios, devido à superexploração de água subterrânea;

- **Danos a estruturas e inundação de áreas baixas** – a subsidência de terrenos pode danificar as fundações de prédios e ocasionar inundações em áreas por ela afetadas;
- **Prejuízos financeiros** – tecnologias existem para localizar, extrair e tratar água contaminada segundo os mais rigorosos padrões de qualidade, assim como para mitigar os problemas da água subterrânea. Os custos podem ser exorbitantes. A limpeza de um vazamento de gasolina em um aquífero pode custar dezenas de milhares de dólares. A depleção de um aquífero pode também levar à perda de produtividade agrícola ou industrial.

## 5. NOÇÕES DE HIDRÁULICA

### 5.1 PESO ESPECÍFICO

É o peso por unidade de volume de uma substância qualquer. As unidades mais usadas são:  $\text{kgf./m}^3$  e  $\text{lbf / ft}^3$ .

### 5.2 MASSA ESPECÍFICA

É a massa por unidade de volume de uma substância qualquer. As unidades mais usadas são:  $\text{kg/ m}^3$  e  $\text{lbf / ft}^3$ .

### 5.3 VISCOSIDADE

É a resistência imposta pelas camadas líquidas ao escoamento recíproco. Assim sendo, sempre que temos fluidos em movimento, o deslocamento recíproco das partículas acarreta um esforço de atrito.

A viscosidade depende da natureza do fluido e pode ser de dois tipos:

### **Viscosidade absoluta**

As unidades mais utilizadas são : lbf x seg/ft<sup>2</sup> e centipoise (Cp)

### **Viscosidade cinemática**

É a relação entre a viscosidade absoluta e a massa específica da substância. As unidades mais utilizadas são: Centistokes (Cs), Saybolt (SSU ou SSF), Redwood (Red I ou Red II) e Engler (°E)

## **5.4 PREÇÃO**

É a relação entre uma força que está sendo aplicada em uma área e esta área.

$$P = F/A$$

Onde:

P = pressão

F= força

A = área

As unidades mais usadas são: kgf/cm<sup>2</sup> ; atm e Lbf/in<sup>2</sup> ( ou PSI)

## **5.5 DENSIDADE**

É a relação entre o peso específico de uma substância e o peso específico de outra substância tomada como padrão. A densidade, tendo em vista sua definição, é adimensional.

## 5.6 VAZÃO

É a quantidade de água que é retirada de um determinado local, em um tempo determinado intervalo de tempo. Comumente encontramos vazões nas seguintes unidades:

- $\text{lt/h}$  = litro por hora
- $\text{m}^3/\text{h}$  = metro cúbico por hora

## 5.7 NÍVEL ESTÁTICO DE UM POÇO:

É a altura entre a bomba e a água a ser bombeada (Figura 12). Essa definição é válida com a bomba sem funcionamento, porque sabemos que, quando a bomba começa a funcionar, o nível do poço baixa até manter equilíbrio. Isto é, a água que entra no poço é igual à retirada pela bomba.

## 5.8 NÍVEL DINÂMICO DE UM POÇO:

Depois que a bomba começa a funcionar, o nível do poço baixa até chegar a um ponto de equilíbrio (Figura 12). Isto é, a vazão do poço é igual à da bomba. Então a altura da bomba até esse ponto de equilíbrio é o que chamamos de nível dinâmico.

## 5.9 ALTURA DE RECALQUE

É o desnível existente entre a bomba e o local a ser colocado o líquido bombeado (Figura 13).

## 5.10 TUBOS EDUTORES

O bombeamento da água dos poços através das tubulações até os reservatórios é o último elemento principal no sistema de extração. O fluxo na tubulação resulta em perdas de carga devido ao atrito, curvas, válvulas, etc., que deverão ser compensadas pelas bombas. A perda poderá ser tão elevada que o desempenho de uma bomba

poderá resultar em uma água muito cara se os tubos edutores forem dimensionados de forma incorreta. Vejamos o exemplo de uma bomba submersa que opera de acordo com os seguintes parâmetros:  $Q = 85 \text{ m}^3/\text{h}$ ;  $H = 65 \text{ m.c.a.}$  ; o tubo edutor possui 80 m de comprimento e 4 polegadas de diâmetro. Após um ano de operação, ou 3.450 horas, teremos um volume de 293.303  $\text{m}^3$  de água bombeada e um consumo de energia de 81.558kW. O uso de um tubo edutor de 5 polegadas de diâmetro reduzirá a perda por atrito na tubulação de 7,7metros para 2,7metros. Os parâmetros de operação da bomba melhoram para 94  $\text{m}^3/\text{h}$  e a altura manométrica total cai para 60 metros. Com o mesmo volume total de água, o consumo de energia cai para 74.748 kW. Em outras palavras, uma economia anual de energia de 6.810 kW ou R\$ 3.065 por ano. As incrustações no interior da tubulação também agravam as perdas de carga e podem ocorrer vazamentos de água na tubulação.

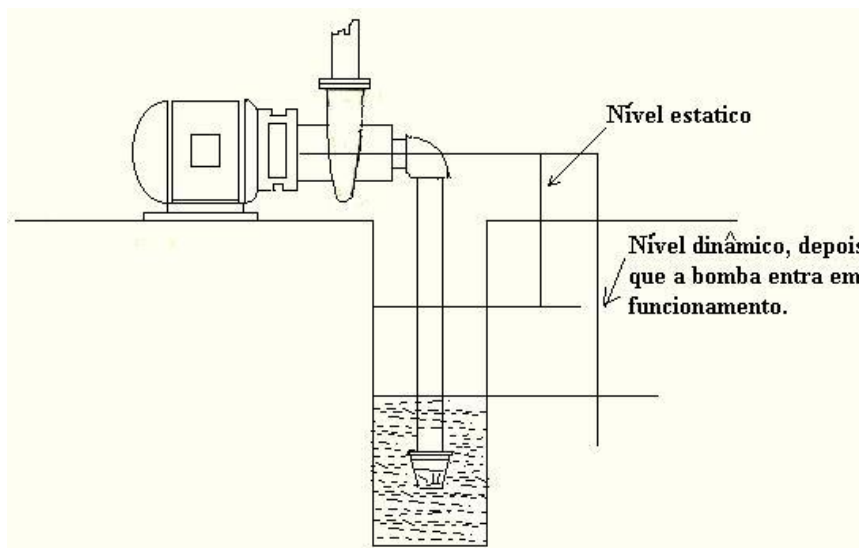


Figura 12- Instalação motobomba



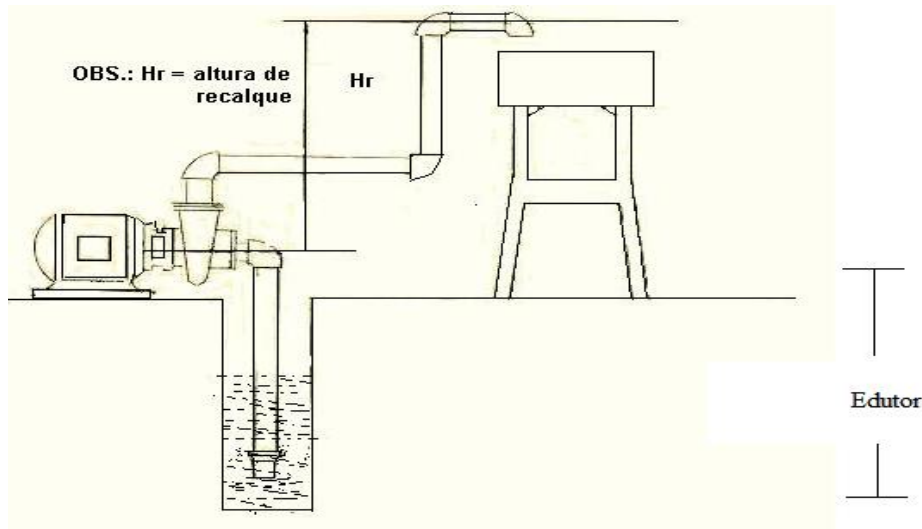


Figura 13 – Níveis estáticos e dinâmicos

## 5.11 ALTURA MANOMÉTRICA

A altura manométrica é uma característica do sistema e representa a energia, em unidade de peso, que o sistema solicita da bomba. Essa energia que a bomba fornece ao líquido (energia hidráulica) é conhecida como a Carga da bomba. Logo, para o deslocamento de uma determinada vazão de líquido, temos que ter a Carga necessária para deslocar o líquido até os pontos mais longínquos.

Em geral, a altura manométrica total não é conhecida de imediato. Ela é calculada efetuando-se a soma dos principais termos definidos como segue:

- Altura estática ou geométrica da instalação.
- Perdas de carga nas tubulações e acessórios.
- Nível dinâmico

$A_{mt} = \text{perdas} + \text{altura de recalque} + \text{nível dinâmico}$

## 5.12 PERDA DE CARGA

Podemos conceituar perda de carga como a energia, por unidade de peso, perdida em um trecho da tubulação considerado. Como as tubulações são compostas de

trechos retos e acessórios, tais como: válvulas em geral, joelhos, tês, etc.. os quais provocam diferentes resistências à passagem do líquido, expressas em metros de altura de coluna de água (mca), teremos as perdas normais na tubulação e as perdas singulares nos acessórios.

**Perda de carga normal ( $h_{fN}$ ):** É a perda de carga que se verifica nos trechos retos de tubulação e que pode ser encontrada na seguinte fórmula:

$$h_{fn} = \frac{L \times V^2}{2 \times g \times D} \times f \text{ m.c.a (metros de coluna de água)}$$

Onde:

L = Comprimento da tubulação (m)

V = Velocidade de escoamento (m/s)

g = Gravidade (m/s<sup>2</sup>)

D = Diâmetro do tubo (m)

f = Fator de atrito

**Perda de carga singular ( $h_{fl}$ ):** É a parcela da perda de carga que se verifica nos acessórios (válvulas, conexões, saídas de reservatórios, etc.) devido a distúrbios locais do fluxo. A perda de carga localizada pode ser determinada através da seguinte fórmula:

$$h_{fl} = \frac{K \times V^2}{2 \times g} \text{ m.c.a (metros de coluna de água)}$$

Onde:

K = coeficiente experimentalmente tabelado para cada tipo de acessório, em função do diâmetro da tubulação e encontrado em tabelas (Tabela 2).

V = velocidade de escoamento do líquido (m/s)

g = aceleração da gravidade local (m/s<sup>2</sup>)

PEÇA	k
Amplificador Gradual	0,30
Bocais	2,75
Comporta aberta	1,00
Controlador de vazão	2,50
Cotovelo 90°	0,90
Cotovelo 45°	0,40
Crivo	0,75
Curva 90°	0,40
Curva 45°	0,20
Curva 22,5°	0,10
Entrada normal em canalização	0,50
Entrada de borda	1,00
Existência de pequena derivação	0,03
Junção	0,40
Medidor de venturi	2,50
Redução gradual	0,15
Registro de ângulo aberto	5,00
Registro de gaveta aberto	0,20
Registro de globo aberto	10,00
Saída de canalização	1,00
Te saída de lado	1,30
Te saída bilateral	1,80
Válvula de pé	1,75
Válvula de retenção	2,50

Tabela 2 – Coeficiente de perdas em acessórios

### 5.13 NÚMERO DE REYNOLDS E CLASSES DE ESCOAMENTO

Este número indica a razão entre os efeitos de inércia e os viscosos no escoamento. De acordo com este valor o escoamento pode ser classificado em laminar ou turbulento. Para a ABNT um escoamento laminar ocorre para um número de Reynolds menor que 2100 e o escoamento será turbulento se o número de Reynolds for maior que 4000, entre estes valores temos a faixa de transição.

O número de Reynolds é obtido pela seguinte fórmula:

$$Re = \frac{V \times D}{\nu}$$

Onde:

$V$  = Velocidade (m/s)

$D$  = Diâmetro (m)

$\nu$   $\approx$  Viscosidade cinemática do fluido ( $10^{-6}$  m/s<sup>2</sup>)

## 5.14 FATOR DE ATRITO

Esse fator refere-se à perda de energia provocada por atritos que ocorrem entre a água e as paredes das tubulações, como consequência da interação entre viscosidade e rugosidade, sendo refletida nos custos variáveis da instalação. Para escoamentos laminares plenamente desenvolvidos utilizamos a seguinte relação:

$$F = 64/Re$$

Porém para escoamentos turbulentos não existe uma relação tão direta, e o fator de atrito é determinado através da equação de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log_{10} \left( \frac{k}{3,7D} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

Onde:

$k$  = rugosidade equivalente da parede do tubo ( $m$ )

$Re$  = número de Reynolds (adimensional)

A equação de Colebrook-White tem sido considerada como a mais precisa lei de resistência ao escoamento e vem sendo utilizada como padrão referencial. Mas, apesar disto, e de todo o fundamentalismo e embasamento teórico agregado à mesma têm uma particularidade há alguns pouco convenientes: é implícita em relação ao fator de atrito, ou seja, a grandeza  $f$  está presente nos dois membros da equação, sem possibilidade de ser explicitada em relação às demais grandezas. Sua resolução requer um processo iterativo.

Isto resultou em motivos para que muitos pesquisadores, de quase toda parte do mundo, se empenhassem em encontrar equações explícitas, que pudessem ser

utilizadas como alternativas à equação de Colebrook-White. Algumas mais compactas, simples e mais fáceis de serem memorizadas, contudo com grandes desvios; outras, menos compactas e complexas, mais difíceis de serem memorizadas, porém com desvios menores; outras tantas combinando simplicidade e precisão, com erros até bem reduzidos, em relação ao fator de atrito calculado com a equação de Colebrook-White.

A seguir, um pequeno conjunto destas equações explícitas, considerando apenas aquelas que pesquisadores, conforme bibliografia, avaliaram e concluíram terem os menores erros em relação à equação de Colebrook-White:

- Sousa-Cunha-Marques, 1999 (erro = 0,123%):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[ \frac{k}{3,7D} - \frac{5,16}{Re} \cdot \log_{10} \left( \frac{k}{3,7D} + \frac{5,09}{Re^{0,87}} \right) \right]$$

- Haaland, 1983 (erro = 0,220%):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \cdot \log_{10} \left[ \left( \frac{k}{3,7D} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right]$$

- Barr, 1972 (erro = 0,375%):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log_{10} \left( \frac{k}{3,7D} + \frac{5,15}{Re^{0,892}} \right)$$

- Swamee-Jain, 1976 (erro = 0,386%):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log_{10} \left( \frac{k}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right)$$

- Churchill, 1973 (erro = 0,393%):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[ \frac{k}{3,7D} + \left( \frac{7}{Re} \right)^{0,9} \right]$$

Também podemos determinar o fator de atrito diretamente através do diagrama de Moody.

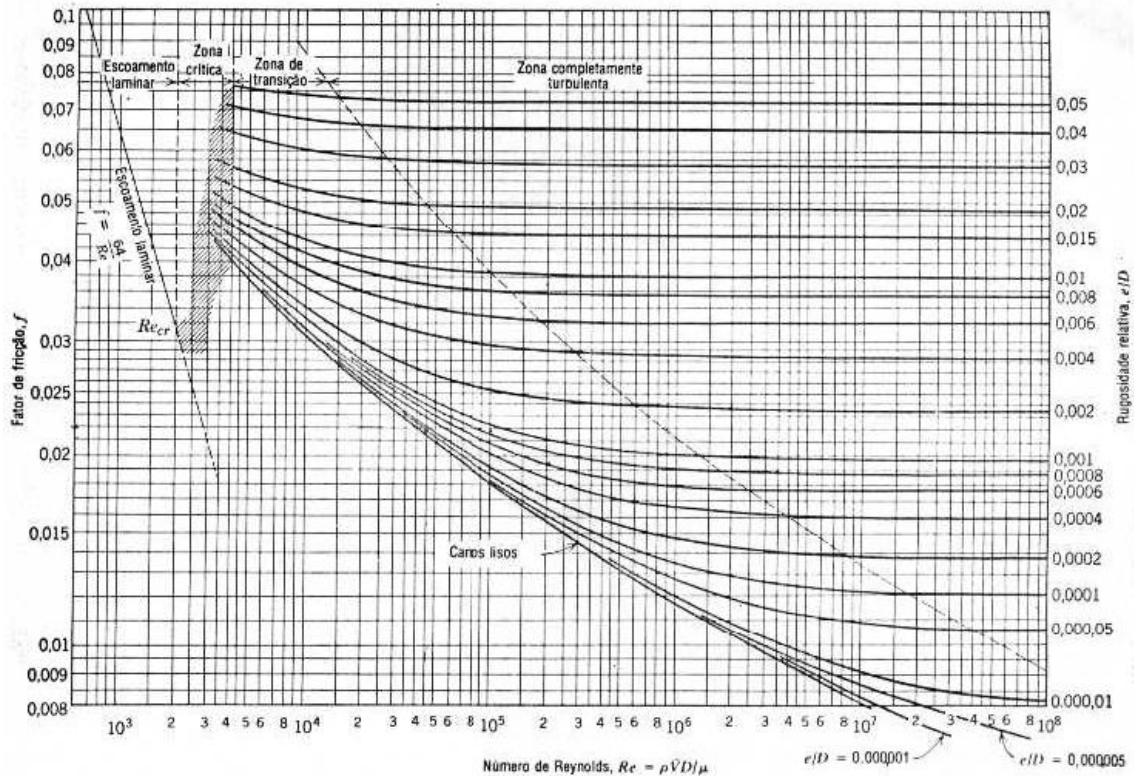


Figura 14 – Diagrama de Moody

## 5.15 – RENDIMENTO E POTÊNCIA

Temos perda de carga nas diversas formas tanto na bomba quanto no motor, portanto temos assim um rendimento para o motor e outro para bomba. Para obtermos a potencia hidráulica necessária no eixo da bomba, utilizamos a seguinte equação:

$$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{75 \cdot \eta} \quad (\text{CV})$$

Onde:

$N$  = Potencia requerida no eixo da bomba (kgm/s)

$\gamma$  = Peso específico do fluido (kgf/m<sup>3</sup>)

$Q$  = Vazão da bomba (m<sup>3</sup>/s)

$H$  = Altura manométrica (mca)

$\eta$  = Rendimento da bomba (%)

O acionamento das bombas é feito pelo motor. Esses motores são fabricados para diversas potências padronizadas de maior uso comercial. Para se conhecer a potência nominal do motor ( $N_M$ ) que acionará o eixo da bomba, será necessário inicialmente conhecer a *potência consumida ou requerida pela bomba* ( $N$ ), e dá um acréscimo conforme Tabela 3 para encontrar a potência nominal do motor;

Potência Consumida ou Requerida pela Bomba	Acréscimo	Potência do Motor
$N \leq 2 \text{ CV}$	50%	$N_M = 1,50 \times (N)$
$2 < N \leq 5 \text{ CV}$	30%	$N_M = 1,30 \times (N)$
$5 < N \leq 10 \text{ CV}$	20%	$N_M = 1,20 \times (N)$
$10 < N \leq 20 \text{ CV}$	15%	$N_M = 1,15 \times (N)$
$N > 20 \text{ CV}$	10%	$N_M = 1,10 \times (N)$

Fonte: Instalações Elevatório. Bomba - pp. 56 ( 1977)

Tabela 3 – Determinação de Potência requerida pelo motor

## 6. TARIFAS DE ENERGIA E DEMANDA

### 6.1 VISÃO GERAL

Cada vez mais empresas estão precisando tomar decisões importantes que possam garantir sua competitividade no mercado e uma dessas decisões é através de

redução de custos na energia elétrica. Cada dia que passa a palavra ENERGIA se torna um assunto cada vez mais forte e preocupante para as empresas que precisam dela para produzir e desenvolverem seus negócios.

Cabe à Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelecer tarifas que assegurem ao consumidor o pagamento de um valor justo, como também garantir o equilíbrio econômico-financeiro da concessionária de distribuição, para que ela possa oferecer um serviço com a qualidade, confiabilidade e continuidade necessárias.

As tarifas de energia elétrica são definidas com base em dois componentes: DEMANDA DE POTÊNCIA e CONSUMO DE ENERGIA.

A demanda de potência é medida em quilowatt (kW) e corresponde à média da potência elétrica solicitada pelo consumidor à empresa distribuidora, durante um intervalo de tempo especificado normalmente 15 (quinze) minutos e é faturada pelo maior valor medido durante o período de fornecimento, normalmente de 30 (trinta) dias.

O consumo de energia é medido em quilowatt-hora (kWh) ou em megawatt-hora (MWh) e corresponde ao valor acumulado pelo uso da potência elétrica disponibilizada ao consumidor ao longo de um período de consumo, normalmente de 30 (trinta) dias.

Nem todos os consumidores pagam tarifas de demanda de potência. Isso depende da estrutura tarifária e da modalidade de fornecimento na qual o consumidor está enquadrado. Podemos definir estrutura tarifária como sendo o conjunto de tarifas aplicáveis aos componentes de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência, de acordo com a modalidade de fornecimento. No Brasil, as tarifas de energia elétrica estão estruturadas em dois grandes grupos de consumidores, “Grupo A” e “Grupo B”.



## As tarifas do Grupo A

São para consumidores atendidos pela rede de alta tensão, de 2,3 a 230 quilovolts (kV), e recebem denominações com letras e algarismo indicativo da tensão de fornecimento como segue:

- A1 para o nível de tensão de 230 kV ou mais;
- A2 para o nível de tensão de 88 a 138 kV;
- A3 para o nível de tensão de 69 kV;
- A3 para o nível de tensão de 30 a 44 kV;
- A4 para o nível de tensão de 2,3 a 25 kV;
- AS para sistema subterrâneo.

As tarifas do “Grupo A” são construídas em três modalidades de fornecimento, sendo que a convenção por cores é apenas para facilitar a referência:

### **TARIFA CONVENCIONAL**

### **TARIFA HORO-SAZONAL AZUL**

### **TARIFA HORO-SAZONAL VERDE**

Estrutura tarifária horo-sazonal é caracterizada pela aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano. O objetivo dessa estrutura tarifária é racionalizar o consumo de energia elétrica ao longo do dia e do ano, motivando o consumidor, pelo valor diferenciado das tarifas, a consumir mais energia elétrica nos horários do dia e nos períodos do ano em que ela for mais barata. Para as horas do dia são estabelecidos dois períodos, denominados postos tarifários.

- O posto tarifário “PONTA” corresponde ao período de maior consumo de energia elétrica, que ocorre entre 17 e 22 horas do dia em um período máximo de 03 (três) horas.

- O posto tarifário “FORA DE PONTA” compreende as demais horas dos dias úteis e às 24 horas dos sábados, domingos e feriados.

Já para o ano, são estabelecidos dois períodos: “PERÍODO SECO”, quando a incidência de chuvas é menor, e “PERÍODO ÚMIDO” quando é maior o volume de chuvas. As tarifas no período seco são mais altas, refletindo o maior custo de produção de energia elétrica devido à menor quantidade de água nos reservatórios das usinas hidrelétricas, provocando a eventual necessidade de complementação da carga por geração térmica, que é mais cara.

**Estrutura tarifária convencional** é caracterizada pela aplicação de tarifas de consumo de energia e/ou demanda de potência independentemente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano. A tarifa convencional apresenta um valor para a demanda de potência em Reais por quilowatt (R\$/kW) e outro para o consumo de energia em Reais por megawatt-hora (R\$/MWh). O consumidor atendido em alta tensão pode optar pela estrutura tarifária convencional, se atendido em tensão de fornecimento abaixo de 69 kV, sempre que tiver contratado uma demanda inferior a 300 kW.

**A tarifa horo-sazonal azul** é a modalidade de fornecimento estruturada para a aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano, bem como de tarifas diferenciadas de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia.

**A tarifa horo-sazonal verde** é a modalidade de fornecimento estruturada para a aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano, bem como de uma única tarifa de demanda de potência.

## As Tarifas do grupo B

As tarifas do “grupo B” se destinam às unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 2,3 kV e são estabelecidas para as seguintes classes (e subclasses) de consumo:

- B1 Classe residencial e subclasse residencial baixa renda;
- B2 Classe rural, abrangendo diversas subclasses, como agropecuária, cooperativa de eletrificação rural, indústria rural, serviço público de irrigação rural;
- B3 Outras classes: industrial, comercial, serviços e outras atividades, poder público, serviço público e consumo próprio;
- B4 Classe iluminação pública.

As tarifas do “grupo B” são estabelecidas somente para o componente de consumo de energia, em reais por megawatt-hora, considerando que o custo da demanda de potência está incorporado ao custo do fornecimento de energia em megawatt-hora.

## 6.2 TARIFAS COBRADAS NA CEAL

De acordo com a resolução ANEEL Nº 873 de 25/08/2009, temos a seguir a seguinte tarifação específica da CEAL (Tabela 4):

**Tarifas Convencionais (Resolução ANEEL Nº 873 de 25/08/2009 - Aplicação:28/08/2009)**

<b>TARIFAS BAIXA TENSÃO</b>				
<b>BAIXA TENSÃO RESIDENCIAL</b> Faixas de Consumo	<b>CONSUMO R\$/kWh</b>	<b>TAXA MÍNIMA RESIDENCIAL</b> Baixa Renda 30 kWh		
B1 - Residencial BAIXA RENDA até 30kWh	0,10718	R\$ 3,22		
B1 - Residencial BAIXA RENDA 31 a 80 kWh	0,18598			
B1 - Residencial BAIXA RENDA 81 a 100 kWh	0,18833	<b>TAXA MÍNIMA RESIDENCIAL</b>		
B1 - Residencial BAIXA RENDA 101 a 140 kWh	0,28247	<b>30 kWh</b>	<b>100 kWh</b>	
B1 Residencial BAIXA RENDA superior ao limite regional de 140KWh Residencial	0,31390	R\$ 9,42	R\$ 37,82	
<b>BAIXA TENSÃO OUTRAS CLASSES Consumidores</b>		<b>CONSUMO R\$/kWh</b>		
B2 - Rural		0,19446		
B2 - Cooperativa Eletrificação Rural		0,14454		
B2 - Serviço Público de Irrigação		0,17882		
B3 - Demais classes (Industrial/comercial/P. Público/C. Próprio)		0,31028		
B4a - Iluminação Pública (Rede de Distribuição)		0,15992		
B4b - Iluminação Pública (Bulbo da Lâmpada)		0,17542		
B4c - Iluminação Pública (Nível de iluminação Pública acima do Padrão)		0,00000		

**TARIFAS ALTA TENSÃO (Resolução Aneel Nº 873 de 25/08/2009 - Aplicação: 28/08/2009)**

<b>Convencional Subgrupos</b>	<b>Demanda (R\$/kW)</b>	<b>Consumo (R\$/kW)</b>	<b>Convencional Subgrupo</b>	<b>Demanda (R\$/kW)</b>	<b>Consumo (R\$/kW)</b>
A2 - 88 a 138 kV	0,00	0,00000	A3 69 kV	0,00	0,00000
A3a - 30 kV a 44 kV	0,00	0,00000	<b>A4 - 2,3 a 25 kV</b>	<b>35,52</b>	<b>0,12043</b>
AS - Subterrâneo	0,00	0,00000	A4 - Tarifa Suprimento em 13,8 kV	0,00	0,00000
A3 - Tarifa Suprimento em 69 kV	0,00	0,00000			

Horo-sazonal Azul - Demanda (R\$/kW)					
Segmentos Horário/Subgrupo	Ponta	Fora Ponta	Segmentos	Ponta	Fora Ponta
A1 - 230 kV ou mais	0,00	0,00	A2 - 88 a 138 kV	0,00	0,00
<b>A3 - 69 kV</b>	<b>33,68</b>	<b>7,28</b>	A3a - 30 a 44 kV	0,00	0,00
<b>A4 - 2,3 a 25 kV</b>	<b>41,61</b>	<b>11,42</b>	AS - Subterrâneo	0,00	0,00
Horo-sazonal Azul - Consumo (R\$/kWh)					
Segmentos Sazonal/Subgrupos	Ponta Seca	Ponta Úmida	Fora Ponta Seca	Fora Ponta Úmida	
A1 - 230 kV ou mais	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	
A2 - 88 a 138 kV	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	
<b>A3 - 69 kV</b>	<b>0,16981</b>	<b>0,15349</b>	<b>0,10555</b>	<b>0,09608</b>	
A3a - 30 a 44 kV	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	
<b>A4 - 2,3 a 25 kV</b>	<b>0,16981</b>	<b>0,15349</b>	<b>0,10555</b>	<b>0,09608</b>	
AS - Subterrâneo	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	
Ultrapassagem Horo-sazonal Azul - Demanda (R\$/kW)					
Segmento Horo-Sazonal/Subgrupo	Ponta Seca/Úmida	Fora Ponta Seca/Úmida	Subgrupo	Ponta Seca/Úmida	Fora Ponta Seca/Úmida
A1 - 230 kV ou mais	0,00	0,00	A2 - 88 a 138 kV	0,00	0,00
<b>A3 - 69 kV</b>	<b>101,04</b>	<b>21,85</b>	A3a - 30 a 44 kV	0,00	0,00
<b>A4 - 2,3 a 25 kV</b>	<b>124,83</b>	<b>34,26</b>	AS - Subterrâneo	0,00	0,00
Horo-sazonal Verde - Demanda (R\$/kWh)					
Subgrupos					Demanda
A3a - 30 a 44 kV					0,00
<b>A4 - 2,3 a 25 kV</b>					<b>11,42</b>
AS - Subterrâneo					0,00
Horo-sazonal Verde - Consumo (R\$/kWh)					
Segmentos Horo-Sazonal/Subgrupo	Ponta Seca	Ponta Úmida	Fora Ponta Seca	Fora Ponta Úmida	
A3a - 30 a 44 kV	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	
<b>A4 - 2,3 a 25 kV</b>	<b>1,13599</b>	<b>1,11967</b>	<b>0,10555</b>	<b>0,09608</b>	
AS - Subterrâneo	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	
Ultrapassagem Horo-sazonal Verde - Demanda (R\$/kW)					
Subgrupo				Demanda Período Seco ou Úmido	
A3a - 30 a 44 kV				0,00	
<b>A4 - 2,3 a 25 kV</b>				<b>34,26</b>	
AS - Subterrâneo				0,00	

Tabela 4 – Tarifas de energia e demanda da CEAL

## **7. DIMENSIONAMENTO DE MOTOBOMBAS EFICIENTES**

### **7.1 DESCRIÇÃO**

Boa parte do abastecimento de água da cidade de Maceió é feito através de poços artesianos, são cerca de 180 unidades espalhadas por toda cidade, totalizam uma vazão de cerca de 2.000 l/s. A água é apenas clorada, pois sua qualidade dispensa outro tipo de tratamento. Respondem por cerca de 60% da vazão produzida na capital. Estão incluídos, neste total, tanto os poços que pertencem a Sistemas isolados, normalmente atendendo conjuntos habitacionais específicos, quanto os que se encontram interligados no macro sistema de abastecimento de Maceió. Assim é necessário uma preocupação especial a respeito do consumo de energia destas motobombas. Acompanhamos o projeto Casal 800 que substituiu 31 motobombas antigas por motobombas novas e mais eficientes.

Como sabemos é obrigatória a aplicação de recursos, pelas concessionárias ou permissionárias do serviço público de distribuição de energia elétrica, em Programas de Eficiência Energética de acordo com o regulamento estabelecido pela ANEEL. A tipologia deste projeto dentro do PEE é de Serviço público, que visa melhoria da eficiência energética de sistemas de abastecimento de água. Há a possibilidade de o CLIENTE auferir benefícios diretos com a implementação de ações de soluções energéticas – através de investimentos realizados pela CEAL – passíveis de verificação por meio de indicadores de intensidade energética ou de medição direta, permitindo constatar a redução da demanda e do consumo de energia. A economia de capital obtida com a redução do consumo será utilizada para o pagamento do material utilizado para realização do projeto, e também para o pagamento de uma dívida existente da empresa Casal junto a Ceal.

### **7.2 PLANO DE M&V**

O PIMVP é uma estrutura de definições e métodos para avaliar adequadamente a economia no consumo de energia, de água ou na demanda. O PIMVP guia os usuários

no desenvolvimento de Planos de M&V para projetos específicos. O PIMVP foi redigido para permitir o máximo de flexibilidade na criação dos Planos de M&V, sendo ao mesmo tempo preciso, completo, conservador, consistente, relevante e transparente visa aumentar os investimentos na eficiência energética e consumo eficiente de água, gestão do consumo e projetos de energia renovável em todo o mundo.

O PIMVP fornece quatro opções para determinar a economia (A, B, C e D). A escolha entre as opções implica muitas considerações incluindo o local do limite de medição. Se for decidido determinar a economia ao nível da instalação, a Opção C ou D podem ser favorecidas. No entanto, se apenas é de ter em consideração o desempenho energético que base para ajuste, da própria MRE, uma técnica de medição isolada da MRE pode ser mais adequada (Opção A, B ou D). O quadro abaixo resume estas quatro opções.

Opção PIMVP	Como calcular a economia	Aplicações típicas
<p>A. Medição Isolada da MRE: Medição dos parâmetros chave</p> <p>A <i>economia</i> é determinada pela medição no terreno dos parâmetros chave do desempenho energético, que define o consumo de <i>energia</i> dos sistemas afetados pela <i>MRE</i> e/ou o sucesso do projeto.</p> <p>A frequência da medição vai desde o curto prazo a contínua, dependendo das <i>variações</i> esperadas no parâmetro medido e da duração do <i>pós-retrofit</i>.</p> <p>Os parâmetros que não são selecionados para medição no terreno são <i>estimados</i>. As <i>estimativas</i> podem basear-se em dados históricos, especificações do fabricante ou avaliação da engenharia. É necessária a documentação da fonte ou justificação do parâmetro <i>estimado</i>. O erro de <i>economia</i> provável que surge da <i>estimativa</i> em vez da medição é avaliado.</p>	<p>Cálculo de engenharia do <i>período de referência</i> e do <i>consumo</i> do <i>pós-retrofit</i> a partir de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o Medições a curto prazo ou contínuas de parâmetros chave de funcionamento; e</li> <li>o Valores <i>estimados</i>.</li> </ul> <p><i>Ajustes de rotina e não-de rotina</i> como exigido.</p>	<p>A MRE da iluminação onde a energia requerida é o parâmetro chave de desempenho energético, que é medido periodicamente. Calcular as horas de funcionamento da iluminação baseadas nos horários do edifício e no comportamento dos ocupantes.</p>
<p>B. Medição isolada da MRE: Medição de todos os parâmetros</p> <p>A <i>economia</i> é determinada pela medição no terreno do consumo de <i>energia</i> do sistema afetado pela <i>MRE</i>.</p> <p>A frequência da medição vai desde o curto prazo a contínua, dependendo das <i>variações</i> esperadas na <i>economia</i> e da duração do <i>pós-retrofit</i>.</p>	<p>Medições a curto prazo ou contínuas do <i>período de referência</i> e <i>consumo</i> do <i>período de relato</i>, e/ou cálculos de engenharia, usando medições de substituição de consumo de <i>energia</i>.</p> <p><i>Ajustes de rotina e não-de rotina</i> como exigido.</p>	<p>A aplicação de uma velocidade variável e controles a um motor para ajustar o fluxo da bomba. Medir a energia elétrica com um medidor de kW instalado na alimentação elétrica do motor, que lê a potência a cada minuto. No <i>período de consumo de referência</i> este medidor está no mesmo lugar durante uma semana para verificar a carga <i>constante</i>. O medidor está no lugar durante o <i>pós-retrofit</i> para medir as <i>variações</i> da utilização da potência.</p>



Opção PIMVP	Como calcular a economia	Aplicações típicas
<p>C. Toda a Instalação</p> <p>A <i>economia</i> é determinada pela medição do consumo de energia ao nível de toda a <i>instalação</i> ou <i>sub-instalação</i>.</p> <p>Medições contínuas do consumo de <i>energia</i> de toda a <i>instalação</i> são efetuadas durante o <i>pós-retrofit</i>.</p>	<p>Análise dos dados do medidor do <i>período de referência</i> de toda a <i>instalação</i> e do <i>pós-retrofit</i> (empresa de serviços energéticos).</p> <p><i>Ajustes de rotina</i> como exigido, usando técnicas tal como uma simples comparação ou análise de regressão.</p> <p><i>Ajustes não-de rotina</i> como exigido.</p>	<p>Programa de gestão de energia multifacetado, afetando muitos sistemas numa <i>instalação</i>. Medição do consumo de energia com os medidores de gás e eletricidade da empresa de serviços energéticos para um <i>período de referência</i> de doze meses e durante o <i>pós-retrofit</i>.</p>
<p>D. Simulação calibrada</p> <p>A <i>economia</i> é determinada através da simulação do consumo de <i>energia</i> de toda a <i>instalação</i>, ou de uma <i>sub-instalação</i>.</p> <p>Rotinas de simulação são demonstradas para modelar adequadamente o desempenho energético real medido na <i>instalação</i>.</p> <p>Esta opção requer habitualmente competências consideráveis em simulação calibrada.</p>	<p>Simulação do consumo de energia, calibrada com dados de faturação por hora ou mensais da empresa de serviços energéticos. (A medição do consumo de energia final pode ser usada para ajudar a refinar dados de entrada.)</p>	<p>Programa de gestão de energia multifacetado, afetando muitos sistemas numa <i>instalação</i> mas onde não existia nenhum medidor no <i>período de referência</i>.</p> <p>Medições do consumo de energia, após a instalação de medidores de gás e de eletricidade, são usados para calibrar a simulação.</p> <p>Consumo de energia do <i>período de referência</i>, determinado utilizando a simulação calibrada, é comparado à simulação do consumo de energia do <i>período de relato</i>.</p>

Neste projeto será aplicada a Opção B – “Retrofit Isolado”, onde todos os parâmetros de influência do consumo são medidos. No *retrofit* de troca de motobombas submersas todos os parâmetros podem ser medidos diretamente, sem a necessidade de estimativas, o que torna recomendável a Opção B, em outras palavras, sua ação é isolada e não apresenta impacto em outros usos de energia, o que torna possível a adoção de medições diretas e limitadas aos equipamentos que serão substituídos.

Foram efetuadas medições de demanda máxima por segmento horário (NP e FP) e o consumo para períodos de integralização de 15 minutos utilizando Registradores Eletrônicos. Pelo lado hidráulico foram registradas a Pressão e a Vazão para o mesmo

período de integralização e de forma sincronizada com as grandezas elétricas. As medições foram efetuadas por pelo menos 24 horas para as condições *pré* e serão feitas para o mesmo período nas medições *pós-retrofit*.

## 7.3 MATERIAL USADO

Para o correto dimensionamento das novas motobombas devemos realizar de maneira mais precisa possível o levantamento dos dados necessários a esse dimensionamento. Portanto foi preciso a obtenção de dados hidráulicos e elétricos a respeito do comportamento das motobombas antigas, para assim proceder como o correto dimensionamento motobombas mais eficientes. Posteriormente a instalação das novas motobombas foram realizadas as mesmas medições, para desta vez comprovar a eficácia do projeto, de acordo com o plano de M&V escolhido. Para isto foram utilizados os seguintes instrumentos.

### 7.3.1 MALETA LAMON MD HIDRO 3.2

O medidor eletrônico de parâmetros hidráulicos denominado maleta da série MD HIDRO trata-se de um equipamento eletrônico, projetado e montado especificamente para medição e registro simultâneo da pressão e vazão dos sistemas dinâmicos de um abastecimento. Por se tratar de um equipamento microprocessado, na sua função principal que é a medição de vazão, torna-se possível a sua reconfiguração para qualquer variável de engenharia, correlacionada com a vazão através de sua medição primária que é o  $\Delta P$ , por exemplo:

- $\Delta P$ : mmH<sub>2</sub>O, ou qualquer outra unidade
- Velocidade: m/s, ou qualquer outra unidade
- Vazão: m<sup>3</sup>/s, ou qualquer outra unidade na função linear
- Medição de pressão: Valor final em mca
- Saída de pulso: Valor fixo na unidade, pulso/min

Abaixo temos uma foto da respectiva maleta.



Figura 14 – Maleta Lamon MD Hidro 3.2

### 7.3.2 SAGA 4000

Já para medição dos parâmetros elétricos foi utilizado o SAGA 4000, um registrador de variáveis elétricas fabricado pela ESB. Com este instrumento foi possível a obtenção da energia consumida e da demanda de energia durante um certo período (cerca de 24 horas em cada motobomba), em que permaneceu instalado na unidade consumidora. Com ele é possível verificar vários fatores a respeito da motobomba, como determinação de classe de consumo e tempo em que esta permanece ligada durante um dia de funcionamento.



Figura 15 – Registrador de variáveis elétricas Saga 4000

## 7.4 MEDIÇÃO PRÉ-RETROFIT

Bem para o correto dimensionamento das motobombas, foi feito o levantamento dos parâmetros elétricos e hidráulicos necessários com os instrumentos descritos acima. Vamos agora mostrar um passo a passo do que foi realizado.

Primeiramente foram instalados os dois equipamentos (SAGA e Maleta Lamon) simultaneamente e sincronizados, para que tivéssemos todos os parâmetros necessários num determinado horário. A figura a seguir ilustra detalhes da instalação da Maleta Lamon, instalada em um determinado ponto pitométrico logo na saída do poço:



Figura 16 – Foto instalação maleta Lamon

A seguir temos uma figura que mostra a instalação do SAGA 4000, porém em certos locais onde existiam medidores de energia digitais, os dados foram retirados diretamente destes.



Figura 17 – Foto instalação Saga 4000

Instalados os equipamentos procedemos com a captação dos dados, os hidráulicos foram vazão e pressão, e o elétrico foi a potência consumida. Todos foram medidos em um intervalo de 15 minutos, a tabela abaixo apresenta os dados coletados do Poço PAM1:

Data	Hora	P (mca)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Pot Elet (W)
25/09/08	10:15	19,60	61,56	29.655
25/09/08	10:30	19,21	61,92	29.681
25/09/08	10:45	17,28	65,52	29.989
25/09/08	11:00	17,14	65,16	30.040
25/09/08	11:15	17,24	65,16	30.024
25/09/08	11:30	17,24	64,80	30.007
25/09/08	11:45	17,24	65,16	29.996
25/09/08	12:00	17,24	65,88	30.019
25/09/08	12:15	17,45	63,72	30.003
25/09/08	12:30	17,53	64,08	29.959
25/09/08	12:45	17,57	62,64	29.938
25/09/08	13:00	17,53	63,72	29.968
25/09/08	13:15	17,50	63,36	29.970
25/09/08	13:30	17,31	63,00	29.966
25/09/08	13:45	17,41	63,00	29.949
25/09/08	14:00	17,36	63,36	29.933
25/09/08	14:15	17,26	64,44	29.937
25/09/08	14:30	17,24	63,36	29.916
25/09/08	14:45	17,21	64,08	29.920
25/09/08	15:00	17,28	63,00	29.926
25/09/08	15:15	17,28	64,08	29.955
25/09/08	15:30	17,57	63,36	30.005
25/09/08	15:45	17,55	63,72	29.999
25/09/08	16:00	17,41	64,08	30.034
25/09/08	16:15	17,43	64,80	30.058
25/09/08	16:30	17,43	65,16	30.030
25/09/08	16:45	17,36	65,52	30.066
25/09/08	17:00	17,22	64,08	30.093
25/09/08	17:15	17,31	63,72	29.975
25/09/08	17:30	17,62	64,44	29.934
25/09/08	17:45	17,62	64,08	30.027
25/09/08	18:00	17,62	63,72	29.960
25/09/08	18:15	17,63	63,72	29.902

25/09/08	18:30	17,57	64,08	29.893
25/09/08	18:45	17,57	62,64	29.866
25/09/08	19:00	17,62	63,36	29.882
25/09/08	19:15	17,62	64,44	29.934
25/09/08	19:30	17,75	64,08	29.909
25/09/08	19:45	17,86	62,64	29.876
25/09/08	20:00	17,87	63,36	29.899
25/09/08	20:15	17,87	63,36	29.876
25/09/08	20:30	17,89	64,08	29.923
25/09/08	20:45	17,86	63,00	29.863
25/09/08	21:00	19,07	60,48	29.722
25/09/08	21:15	19,34	61,20	29.626
25/09/08	21:30	19,65	61,56	29.643
25/09/08	21:45	19,62	61,20	29.678
25/09/08	22:00	19,62	60,12	29.665
25/09/08	22:15	19,63	62,28	29.652
25/09/08	22:30	19,74	61,56	29.637
25/09/08	22:45	20,11	60,12	29.599
25/09/08	23:00	20,04	59,04	29.586
25/09/08	23:15	20,06	60,48	29.607
25/09/08	23:30	20,49	60,48	29.557
25/09/08	23:45	20,86	58,32	29.505
26/09/08	0:00	20,95	58,32	29.436
26/09/08	0:15	21,44	57,60	29.392
26/09/08	0:30	21,68	57,24	29.341
26/09/08	0:45	21,92	57,24	29.295
26/09/08	1:00	22,23	56,88	29.290
26/09/08	1:15	22,73	56,88	29.235
26/09/08	1:30	22,90	56,52	29.200
26/09/08	1:45	22,91	56,88	29.192
26/09/08	2:00	23,25	56,52	29.165
26/09/08	2:15	23,29	55,80	29.148
26/09/08	2:30	23,41	55,80	29.120
26/09/08	2:45	23,53	54,72	29.124
26/09/08	3:00	23,70	55,44	29.131
26/09/08	3:15	23,70	54,72	29.085
26/09/08	3:30	23,85	55,08	29.097
26/09/08	3:45	23,75	55,80	29.073
26/09/08	4:00	23,84	56,88	29.071
26/09/08	4:15	23,87	54,00	29.053
26/09/08	4:30	23,87	55,80	29.077
26/09/08	4:45	23,78	55,80	29.105
26/09/08	5:00	23,66	55,08	29.109
26/09/08	5:15	23,37	57,24	29.200

26/09/08	5:30	22,71	56,88	29.265
26/09/08	5:45	21,94	58,68	29.418
26/09/08	6:00	21,32	60,48	29.524
26/09/08	6:15	20,97	59,40	29.630
26/09/08	6:30	20,37	60,48	29.709
26/09/08	6:45	20,21	61,56	29.745
26/09/08	7:00	20,08	60,84	29.749
26/09/08	7:15	20,08	60,12	29.771
26/09/08	7:30	20,03	61,56	29.774
26/09/08	7:45	19,89	61,56	29.775
26/09/08	8:00	19,65	60,84	29.791
26/09/08	8:15	19,72	61,20	29.747
26/09/08	8:30	19,70	61,20	29.698
26/09/08	8:45	19,36	61,56	29.743
26/09/08	9:00	19,36	61,92	29.749
26/09/08	9:15	19,31	61,56	29.741
26/09/08	9:30	19,14	62,64	29.717
26/09/08	9:45	18,95	61,56	29.744
26/09/08	10:00	19,00	62,64	29.753
26/09/08	10:15	19,10	60,84	29.745

Tabela 7 – Dados registrados no poço PAM 1

## 7.5 DIMENSIONAMENTO DAS NOVAS MOTOBOMBAS

Feito o levantamento dos dados necessários, vamos proceder agora com o dimensionamento da motobomba. Esses cálculos foram feitos para todas as 31 motobombas, porém vamos mostrar aqui apenas o dimensionamento da motobomba PAM1, onde os dados apresentam-se na tabela anterior, que se estende a todas demais.

Devemos ter além dos dados medidos, alguns valores próprios de cada poço, como o nível dinâmico, comprimento do tubo edutor, número de conexões existentes, material do tubo edutor e diâmetro.

Os dados necessários para o dimensionamento da nova motobomba são a vazão e altura manométrica, como a própria maleta já nos dá esta vazão devemos proceder à

encontrar a altura manométrica. Como sabemos a altura manométrica é encontrada pela seguinte equação:

$$\text{Amt} = \text{perdas} + \text{altura de recalque} + \text{nível dinâmico}$$

Como já temos o nível dinâmico do poço, devemos determinar a altura de recalque e as perdas. A maleta nos fornece a pressão no ponto pitométrico em mca, que representa o somatório de todas as perdas do ponto de medição adiante, inclusive altura de recalque, então devemos calcular as perdas apenas antes do ponto pitométrico para que somada com esta pressão, nos forneça as perdas totais.

### **Perdas singulares**

Nosso sistema é composto pelos seguintes elementos:

- 1 Registro de gaveta aberto,  $k=0,6$
- 3 Curvas de 90°,  $k=0,4$
- 1 Válvula de controle da bomba,  $k=0,2$
- 9 Luvas,  $k=1$
- 1 Válvula de retenção,  $k=2,5$

Onde  $k$  é o coeficiente experimentalmente tabelado para cada tipo de acessório, em função do diâmetro da tubulação.

Assim devemos determinar inicialmente a velocidade de escoamento, pela seguinte fórmula:

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2} = 2,33 \text{ m/s}$$

Onde:

$Q$  = Vazão média ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$D$  = Diâmetro (m)



Assim procedemos calculando as perdas para cada componente:

A fórmula geral é:

$$\text{Perdas} = \frac{V^2 \times k}{2 \times g} \times n$$

Onde:

V = Velocidade (m/s)

K = Coeficiente experimental

g = Aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>)

n = Total de peças de cada tipo

- Registro de gaveta aberto

Perdas = 0,17 mca

- Curvas de 90º

Perdas = 0,33 mca

- Válvula de controle da bomba

Perdas = 0,06 mca

- Luvas

Perdas = 2,49 mca

- Válvula de retenção

Perdas = 0,69 mca

Então o total das perdas singulares é o somatório de todas anteriores.

Perdas singulares = 3,74 mca

Calculamos agora as perdas no edutor, porém antes devemos determinar o número de Reynolds que vai nos fornecer informação a respeito do tipo de escoamento.

$$Re = \frac{V \times D}{\nu} = 221387$$

Onde:

V = Velocidade (m/s)

D = Diâmetro (m)

$\nu \approx$  Viscosidade cinemática do fluido ( $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ )

Devido o diâmetro medido do tubo edutor ser diferente do diâmetro nominal fornecido, devemos calcular uma nova velocidade, feitos os cálculos

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2} = 2,12 \text{ m/s}$$

Onde:

Q = Vazão média ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

D = Diâmetro real do tubo edutor (m)

Como  $Re > 4000$  (segundo norma da ABNT) temos um escoamento turbulento. Assim para determinarmos o fator de atrito, necessário ao cálculo das perdas, utilizamos a seguinte aproximação;

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[ \frac{k}{3,7D} + \left( \frac{7}{Re} \right)^{0,9} \right]$$

f = Fator de atrito

Re = Número de Reynolds

D = Diâmetro do tubo edutor

Onde encontramos um valor de  $f = 0,0241105$ .

Agora sim podemos determinar as perdas;

$$h_{fN} = \frac{L \times V^2}{2 \times g \times D} \times f = 4,63 \text{ mca}$$

Onde:

L = Comprimento da tubulação (m)

V = Velocidade de escoamento (m/s)

g = Gravidade (m/s<sup>2</sup>)

D = Diâmetro do tubo (m)

f = Fator de atrito

Agora podemos encontrar as perdas totais:

Perdas totais = Perdas singulares + Perdas no edutor

Perdas totais = 8,37 mca

E nossa altura manométrica será:

AMT = Perdas totais + Nível dinâmico + Máxima pressão medida

AMT = 99,34 mca

Portanto agora temos os dois fatores fundamentais para o dimensionamento da motobomba (Altura manométrica e vazão), claro que devemos ter em mãos também outros dados, como número de fases disponíveis, tensão, diâmetro da motobomba e características próprias construtivas do poço, para assim escolhermos a motobomba que se adéqua de forma perfeita a aplicação, de acordo com o fabricante.

De posse destes dados só nos resta pesquisar a motobomba ideal para esta aplicação, escolhemos o fabricante Grundfos e no próprio site da empresa fizemos este dimensionamento. A motobomba indicada foi a SP 60 -8 onde abaixo temos detalhes do dimensionamento:

### Resultado do dimensionamento

Tipo	SP 60-8
Quantidade * Motor	1 * 22 kW, 380 V
Caudal	70.4 m <sup>3</sup> /h (+7 %)
H total	92.8 m
Potência P1	27.8 kW
Potência P2	23.6 kW
Corrente (nominal)	56.5 A
Corrente (real)	50.4 A
Cos phi (real)	0.84
Bomba Eta	75.3 %
Motor Eta	85.0 %
Total Eta	64.0 % =Bomba Eta * motor
	Eta
Caudal total	240535 m <sup>3</sup> /ano
Consumo energético espec.	0.4207 kWh/m <sup>3</sup>
	4.62 Wh/m <sup>3</sup> /m
Consumo energético	101190 kWh/Ano
Preço	A pedido EUR
Custos energ.	5059 EUR /Ano
Preço+custos energét.	A pedido EUR /Anos

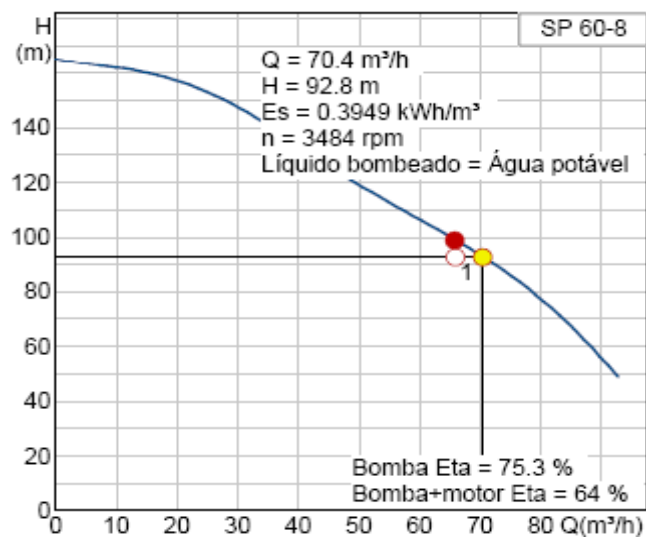


Figura 18 – Resultado do dimensionamento motobomba PAM1

Onde dimensionamos de forma a atender os valores máximos de vazão e altura manométrica.

A escolha da melhor motobomba é feita através do ponto de operação fornecido do sistema, no nosso caso os valores máximos de vazão e pressão, de modo que este se adeqüe a melhor faixa de rendimento de uma determinada motobomba. Pois como sabemos o gráfico do rendimento se comporta da seguinte forma:

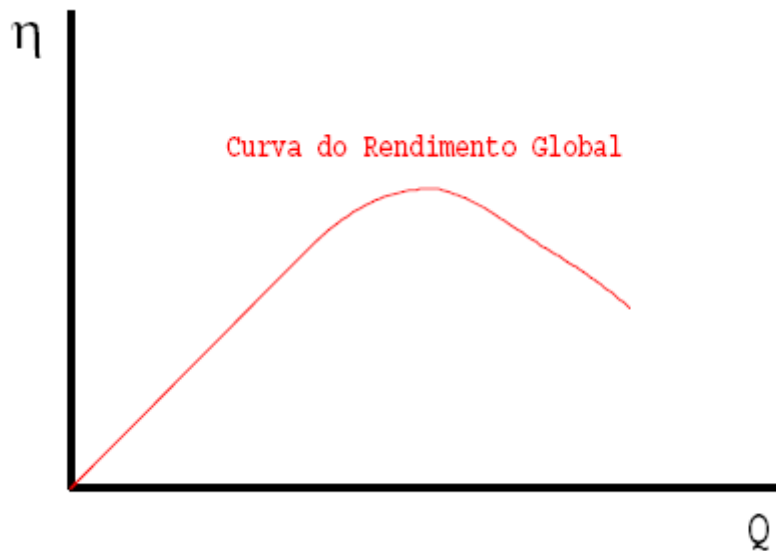


Figura 19 – Curva do rendimento de uma motobomba

Então vemos que o rendimento máximo se encontra dentro de uma faixa estreita, assim o cruzamento do ponto de operação com o ponto de máximo rendimento da motobomba, se dá como a seguir:

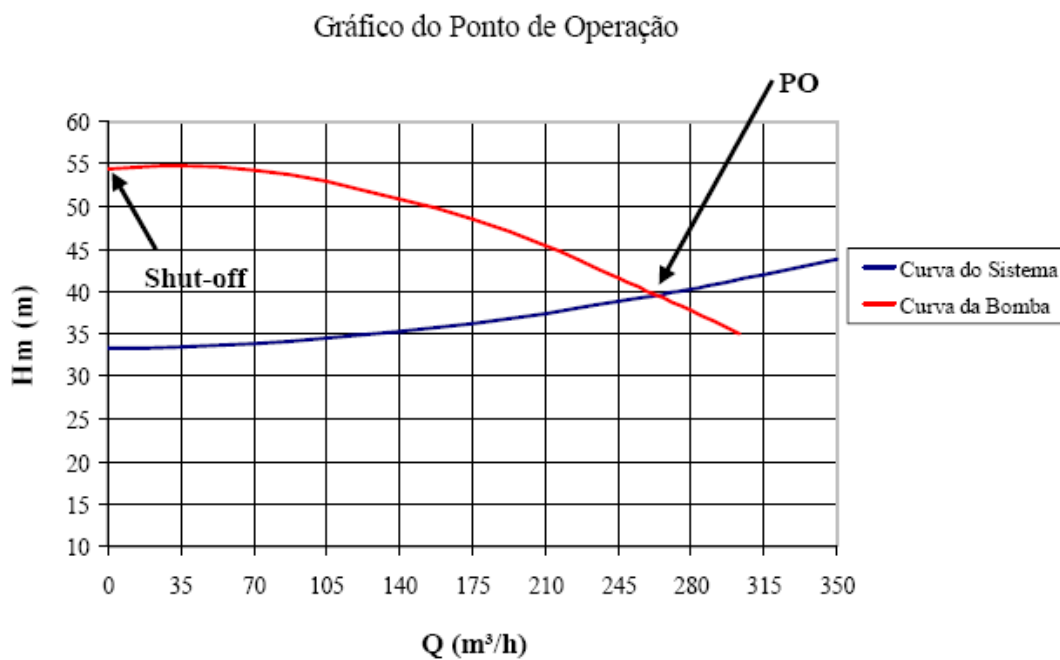


Figura 20 – Gráfico do ponto de operação da motobomba e do sistema

Então o quando fornecemos os dados ao fornecedor o que ele faz é encontrar uma determinada motobomba, que naquele ponto de operação do sistema tenha o

maior rendimento, reduzindo consideravelmente nosso trabalho, pois teríamos que analisar os comportamentos uma a uma e escolher a que melhor se adéqua.

## 7.6 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS

Para determinarmos seção nominal do cabo necessária, primeiramente determinamos sua corrente nominal de acordo com a fórmula a seguir, faremos este estudo para o poço PAM1, porém que pode ser estendido para todos os demais:

$$I_N = \frac{P_N}{\sqrt{3}V_N \cos\varphi\eta} = \frac{P_E}{\sqrt{3}V_N \cos\varphi}$$

$$I_N' = 50,3 \text{ A}$$

Multiplicando pelo fator de serviço:

$$I_N = 50,3 \times 1,15 = \mathbf{57,9 \text{ A}}$$

Onde:

$P_n$  = Potência nominal

$V_n$  = Tensão nominal

$\eta$  = Rendimento

$\cos \phi$  = Fator de potência

$P_E$  = Potência de entrada

Pelas tabelas a seguir obtidas no livro Manual de equipamentos elétricos do autor Mamede, podemos verificar o tipo de instalação, e determinar a bitola necessária do cabo.

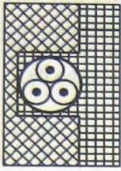
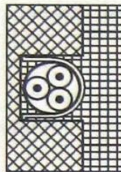
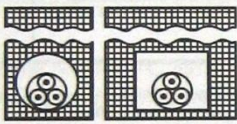
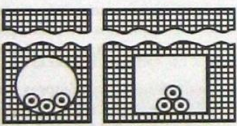
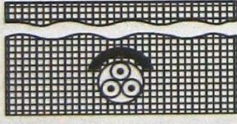



Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência <sup>1)</sup>
52		Cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) diretamente em alvenaria sem proteção mecânica adicional	C
53		Cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) diretamente em alvenaria com proteção mecânica adicional	C
61		Cabo multipolar em eletroduto (de seção circular ou não) ou em canaleta não-ventilada enterrado(a)	D
61A		Cabos unipolares em eletroduto (de seção não-circular ou não) ou em canaleta não-ventilada enterrado(a) <sup>8)</sup>	D
63		Cabos unipolares ou cabo multipolar diretamente enterrado(s), com proteção mecânica adicional <sup>9)</sup>	D
71		Condutores isolados ou cabos unipolares em moldura	A1
72		72 – Condutores isolados ou cabos unipolares em canaleta provida de separações sobre parede	B1
72A		72A – Cabo multipolar em canaleta provida de separações sobre parede	B2

Tabela 8 – Tipos de instalação do cabo



• condutores de cobre isolados, cabos unipolares e multipolares, isolação PVC;  
• 2 e 3 condutores carregados;  
• temperatura no condutor: 70°C;  
• temperatura ambiente: 30°C e 20°C para instalações subterrâneas.

Seções nominais mm <sup>2</sup>	Métodos de referência definidos na Tabela 4.10											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	2 Condutores carregados	3 Condutores carregados	2 Condutores carregados	3 Condutores carregados	2 Condutores carregados	3 Condutores carregados	2 Condutores carregados	3 Condutores carregados	2 Condutores carregados	3 Condutores carregados	2 Condutores carregados	3 Condutores carregados
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
<b>Cobre</b>												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96	104	86
35	99	89	92	83	125	110	11	99	138	119	125	103
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144	148	122
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184	183	151
95	182	164	167	150	232	207	201	179	258	223	216	179
120	210	188	192	172	269	239	232	206	299	259	246	203
150	240	216	219	196	309	275	265	236	344	299	278	230
185	273	245	248	223	353	314	300	268	392	341	312	258
240	321	286	291	261	415	370	351	313	461	403	361	297
300	367	328	334	298	477	426	401	358	530	464	408	336
400	438	390	398	355	571	510	477	425	634	557	478	394
500	502	447	456	406	656	587	545	486	729	642	540	445
630	578	514	526	467	758	678	626	559	843	743	614	506
800	669	593	609	540	881	788	723	645	978	865	700	577
1000	767	679	698	618	1012	906	827	738	1125	996	792	652

Tabela 9 – Seções nominais dos condutores

Onde verificamos que a bitola seção nominal do cabo é de **16 mm<sup>2</sup>**.

## 8. ESTIMATIVA DE ENERGIA A SER ECONOMIZADA

Nessa etapa do projeto, apenas algumas medições *pós-retrofit* foram realizadas, desta forma os ganhos relacionados neste Diagnóstico Energético foram calculados com base nas medições para a situação *pré-retrofit* e nos dados característicos dos conjuntos moto-bombas dimensionados e especificados para a situação *pós-retrofit*.

### Pré-Retrofit

- Foi definido um volume diário *pré-retrofit*, obtido a partir das medições;
- Para o mesmo período, foi calculada a energia necessária para aduzir o volume medido, a partir da potência horária média medida;



Os resultados obtidos com as medições *pré-retrofit* se encontram listados na tabela 10 abaixo:

Poço	Vazão	Tempo	Volume diário	Potencia consumida	DNP (KW)	Consumo diário	Consumo mensal	Consumo anual	EE (MWh/ano)
PAM -1	61,1	24,25	1.466,40	29,68	29,93	712,32	21.666,40	259.996,80	260
PB 4	144,04	24,25	3.456,96	41,31	41,41	991,44	30.156,30	361.875,60	361,88
PB 6	140,17	24,5	3.364,08	23,52	23,62	564,48	17.169,60	206.035,20	206,04
PB 9	213,24	27,5	5.117,76	57,08	57,29	1.369,92	41.668,40	500.020,80	500,02
PBL 4	66,73	24,25	1.601,52	29,79	30,1	714,96	21.746,70	260.960,40	260,96
PBM 1	70,51	24,25	1.692,24	26	26,05	624	18.980,00	227.760,00	227,76
PC 2	56,81	24,25	1.363,44	20,4	20,81	489,6	14.892,00	178.704,00	178,7
PCJ 3	66,17	24,25	1.588,08	28,55	28,81	685,2	20.841,50	250.098,00	250,1
PCLT 1	22,06	24,25	5.29,44	9,55	9,81	229,2	6.971,50	83.658,00	83,66
PCU 1	39,5	25,75	948	27,32	27,32	655,68	19.943,60	239.323,20	239,32
PFA 5	69,23	25,25	1.661,52	28,02	28,04	672,48	20.454,60	245.455,20	245,46
PJ 2a	37,47	24,5	899,28	20,3	21,06	487,2	14.819,00	177.828,00	177,83
PJ 8	48,7	24	1.168,80	31,62	31,77	758,88	23.082,60	276.991,20	276,99
PJ 9	33,67	24,25	808,08	20,56	20,88	493,44	15.008,80	180.105,60	180,11
PJ 12	53,86	24,5	1.292,64	26,39	26,84	633,36	19.264,70	231.176,40	231,18
PJDL 1a	79,99	25,75	1.919,76	29,87	30,2	716,88	21.805,10	261.661,20	261,66
PJTL 3a	36,85	25	884,4	12,54	12,51	300,96	9.154,20	109.850,40	109,85
PLSL 1a	31,61	24,25	758,64	12,03	11,97	288,72	8.781,90	105.382,80	105,38
PLSL 5	82,8	20	1.987,20	30,85	30,77	740,4	22.520,50	270.246,00	270,25
PLSL 6	81,21	25,25	1.949,04	27,6	27,6	662,4	20.148,00	241.776,00	241,78
PMAL 1	63,17	24,5	1.516,08	43,52	43,73	1.044,48	31.769,60	381.235,20	381,24
PMAL 2	83,05	24,25	1.993,20	45,64	45,88	1.095,36	33.317,20	399.806,40	399,81
PMAL 3	54,11	24,75	1.298,64	40,58	40,91	973,92	29.623,40	355.480,80	355,48
PMU 1	57,69	24,25	1.384,56	27,89	28,05	669,36	20.359,70	244.316,40	244,32
PR 2b	97,91	24,5	2.349,84	26,31	26,75	631,44	19.206,30	230.475,60	230,48
PR 3	35,46	25,5	851,04	16,44	16,52	394,56	12.001,20	144.014,40	144,01
PSL 3	115,23	24,25	2.765,52	31,47	33,34	755,28	22.973,10	275.677,20	275,68
PSM 1	51,54	24,75	1.236,96	11,57	11,55	277,68	8.446,10	101.353,20	101,35
PT 1	77,53	26,75	1.860,72	36,32	36,55	871,68	26.513,60	318.163,20	318,16
PT 4	92,12	17	2.210,88	33,84	34,24	812,16	24.703,20	296.438,40	296,44
PT 5	62,79	24,5	1.506,96	35,8	36,13	859,2	26.134,00	313.608,00	313,61
<b>TOTAL</b>			<b>53.431,68</b>		<b>890,44</b>				<b>7.729,47</b>

Tabela 10 – Medição Pré-Retrofit

Desta maneira, o valor de referência do consumo na condição existente (*baseline*) a ser utilizado será 6.956,52 MWh/ano, que corresponde ao somatório dos valores de energia consumida individuais reduzido em 10%, referente aos Ajustes (0,90 x 7.729,47) devido a não continuidade de funcionamento das bombas durante um ano.

De modo similar o valor de referência de demanda (não coincidente na ponta) é de 890,44 kW que corresponde à soma das demandas individuais ou por poço. Estas duas grandezas que correspondem as medições *pré-retrofit* serão comparadas com os valores obtidos nas medições pós de modo a calcular os ganhos com a implantação das ações de eficiência energética

### **Pós-retrofit**

As mesmas medições realizadas para a situação pré-retrofit será realizada para a situação pós-retrofit, para comprovar a eficácia desejada com a substituição da motobomba, abaixo temos uma estimativa da economia de energia que será propiciada.

- Foi definido que o volume diário *pós-retrofit* é igual ao da condição *pré-retrofit*;
- A partir da vazão no ponto de operação (obtida da curva característica do CMB), foi calculado o tempo necessário para aduzir o volume de água (obtido no período *pré-retrofit*) na condição *pós-retrofit*;
- Depois de obtido o tempo e com a potência consumida no ponto de operação, foi calculada a energia consumida após a implantação das Ações de Eficiência Energética.

Tipo Equipamento / Tecnologia	P(kW)	Média Vol dia	Q	Novo Tempo	Energia consumida	FCP	DNP Bombas antigas	RDP (kW)	Pot Cons antes	Tempo antigo	Energia cons. antes	Ajustes	EE (MWh/ano)
CMB Poço PAM -1 eficiente	27,8	1.466,40	70,4	20,8295	579,0613636	1	29,93	2,13	29,68	24,00	712,32	-4,86	43,78
CMB Poço PB 4 eficiente	32,8	3.456,96	158	21,8795	717,6473924	1	41,41	8,61	41,31	24,00	991,44	-9,99	89,94
CMB Poço PB 6 eficiente	22,6	3.364,08	150	22,4272	506,85472	1	23,62	1,02	23,52	24,00	564,48	-2,1	18,93
CMB Poço PB 9 eficiente	36,6	5.117,76	233	21,9646	803,9056481	1	57,29	20,69	57,08	24,00	1369,92	-20,66	185,94
CMB Poço PBL 4 eficiente	34,7	1.601,52	75,6	21,1841	735,0892063	1	30,10	-4,6	29,79	24,00	714,96	0,73	-6,62
CMB Poço PBM 1 eficiente	24,9	1.692,24	74,9	22,5933	562,5737784	1	26,05	1,15	26,00	24,00	624	-2,24	20,18
CMB Poço PC 2 eficiente	19,4	1.363,44	63,7	21,4041	415,2391837	1	20,81	1,41	20,40	24,00	489,6	-2,71	24,43
CMB Poço PCJ 3 eficiente	25,1	1.588,08	80,2	19,8015	497,0175561	1	28,81	3,71	28,55	24,00	685,2	-6,87	61,82
CMB Poço PCLT 1 eficiente	6,9	529,44	31,1	17,0238	117,4641801	1	9,81	2,91	9,55	24,00	229,2	-4,08	36,7
CMB Poço PCU 1 eficiente	24,4	948,00	43,8	21,6438	528,109589	1	27,32	2,92	27,32	24,00	655,68	-4,66	41,9
CMB Poço PFA 5 eficiente	27,9	1.661,52	76,1	21,8334	609,1512221	1	28,04	0,14	28,02	24,00	672,48	-2,31	20,81
CMB Poço PJ 2a eficiente	17,8	899,28	48	18,735	333,483	1	21,06	3,26	20,30	24,00	487,2	-5,61	50,5
CMB Poço PJ 8 eficiente	20,2	1.168,80	52,3	22,348	451,4294455	1	31,77	11,57	31,62	24,00	758,88	-11,22	101
CMB Poço PJ 9 eficiente	14,3	808,08	41,1	19,6613	281,1567883	1	20,88	6,58	20,56	24,00	493,44	-7,75	69,73
CMB Poço PJ 12 eficiente	27,9	1.292,64	73,6	17,563	490,008913	1	26,84	-1,06	26,39	24,00	633,36	-5,23	47,09
CMB Poço PJDL 1a eficiente	24,8	1.919,76	97,7	19,6495	487,3085773	1	30,20	5,4	29,87	24,00	716,88	-8,38	75,41
CMB Poço PJTL 3a eficiente	12,7	884,40	39	22,6769	287,9969231	1	12,51	-0,19	12,54	24,00	300,96	-0,47	4,26
CMB Poço PLSL 1a eficiente	8,82	758,64	35,5	21,3701	188,4846423	1	11,97	3,15	12,03	24,00	288,72	-3,66	32,93
CMB Poço PLSL 5 eficiente	24,3	1.987,20	91,3	21,7656	528,9042716	1	30,77	6,47	30,85	24,00	740,4	-7,72	69,48
CMB Poço PLSL 6 eficiente	20,9	1.949,04	84,8	22,984	480,3648113	1	27,60	6,7	27,60	24,00	662,4	-6,64	59,8
CMB Poço PMAL 1 eficiente	38,1	1.516,08	68,8	22,036	839,5733721	1	43,73	5,63	43,52	24,00	1044,48	-7,48	67,31
CMB Poço PMAL 2 eficiente	41,3	1.993,20	86,1	23,1498	956,0878049	1	45,88	4,58	45,64	24,00	1095,36	-5,08	45,75
CMB Poço PMAL 3 eficiente	31,1	1.298,64	60,1	21,608	672,008386	1	40,91	9,81	40,58	24,00	973,92	-11,02	99,18
CMB Poço PMU 1 eficiente	27,9	1.384,56	65,7	21,074	587,9638356	1	28,05	0,15	27,89	24,00	669,36	-2,97	26,74
CMB Poço PR 2b eficiente	21,1	2.349,84	108	21,7578	459,0891111	1	26,75	5,65	26,31	24,00	631,44	-6,29	56,62
CMB Poço PR 3 eficiente	9,87	851,04	41,6	20,4577	201,9174231	1	16,52	6,65	16,44	24,00	394,56	-7,03	63,28
CMB Poço PSL 3 eficiente	33,9	2.765,52	125	22,1242	750,009024	1	33,34	-0,56	31,47	24,00	755,28	-0,19	1,73
CMB Poço PSM 1 eficiente	10,2	1.236,96	63,3	19,5412	199,3205687	1	11,55	1,35	11,57	24,00	277,68	-2,86	25,74
CMB Poço PT 1 eficiente	24,7	1.860,72	80	23,259	574,4973	1	36,55	11,85	36,32	24,00	871,68	-10,85	97,62
CMB Poço PT 4 eficiente	33	2.210,88	100	22,1088	729,5904	1	34,24	1,24	33,84	24,00	812,16	-3,01	27,13
CMB Poço PT 5 eficiente	17,3	1.506,96	81,7	18,445	319,0992411	1	36,13	18,83	35,80	24,00	859,2	-19,71	177,43
							RDP	147,2				Total	1736,54

Tabela 11 – Dados Pós-Retrofit

Resumindo, o cálculo da Energia Economizada (EE) e da redução da demanda na ponta é dado por:

$$EE = [(\overline{CD}_{Pré-Retrofit} - \overline{CD}_{Pós-Retrofit}) \times 365 \times 10^{-3}] - Ajustes \text{ (MWh/ano)}$$

Sendo que,

$$\overline{CD}_{Pós-Retrofit} = Pot.cons_{Catálogo} \times t \quad e \quad t = \frac{\overline{Vol.D}_{Pré-Retrofit}}{Q_{PONTO\_DE\_TRABALHO}}$$

Onde:

- RDP – Redução de Demanda na Ponta (kW);
- $DNP_{Pré-Retrofit}$  – Demanda Máxima registrada na ponta para a condição *pré retrofit* (kW);
- $Pot.cons_{catálogo}$  – Potência a ser Consumida pela nova MB no ponto de trabalho (obtida da curva característica do CMB) (kW);
- FCP – Fator de Coincidência na Ponta (1,00);
- EE - Energia Economizada (MWh/ano);
- $\overline{CD}_{Pós-Retrofit}$  – Consumo Diário Médio calculado para a condição pós retrofit (kWh);
- t – Tempo necessário para aduzir o volume diário da condição *pré retrofit* após a substituição do conjunto moto-bomba (horas);
- $\overline{Vol.D}_{Pré-Retrofit}$  – Volume diário médio medido para a condição pré retrofit (m<sup>3</sup>);
- $Q_{PONTO\_DE\_TRABALHO}$  – Vazão a ser Aduzida pela nova MB no ponto de trabalho (obtida pelo catálogo) (m<sup>3</sup>/h);
- Ajustes – Estimado em 10% do valor obtido, em virtude de variáveis desconhecidas.

$$RDP = DNP_{Pré-Retrofit} - (Pot.cons_{Catálogo} \times FCP) \quad (kW)$$

Onde,

- RDP – Redução de Demanda na Ponta (kW);
- $DNP_{Pré-Retrofit}$  – Demanda Máxima registrada na ponta para a condição *pré retrofit* (kW);

- Pot.conscatálogo – Potência a ser Consumida pela nova MB no ponto de trabalho (obtida da curva característica do CMB) (kW);

## 8.1. CONTRATO DE PERFORMANCE

O contrato tem por objeto estabelecer os termos e condições visando programar ações de soluções energéticas através de investimentos realizados pela CEAL, estabelecendo os critérios para a redução das despesas atuais com energia elétrica do CLIENTE mediante o incremento da eficiência energética, de tal forma que o valor do investimento realizado possa ser recuperado através dos próprios resultados de economias obtidas.

Existem Empresas de Engenharia especializada em Serviços de Conservação de Energia, ou melhor, em promover a eficiência energética e de consumo de água nas instalações de seus Clientes, utilizando-se primordialmente de contratos de performance.

Estas empresas buscam oportunidades para:

- Reduzir gastos com energia em suas várias formas de utilização.
- Avaliar confiabilidade de fornecimento e possibilidade de substituição parcial ou integral do insumo energético em consumo.
- avaliação de atrativos e oportunidades econômicas, incluindo sugestões viáveis e assessoramento de contratação de financiamentos;
- Implantação das oportunidades identificadas, incluindo o Plano de Medição & Verificação (M&V)

## 8.2 RELAÇÃO CUSTO X BENEFÍCIO

O projeto foi avaliado por sua relação Custo-Benefício (RCB), sendo que este deva ter um RCB inferior a 0,80, observando a metodologia definida no Manual da ANEEL.

$$RCB = \frac{\text{Custos\_Anualizados}}{\text{Benefícios\_Anualizados}}$$

## 8.2.1 CUSTOS

Conforme Manual do Programa de Eficiência Energética publicado pela ANEEL em fevereiro de 2008, para cálculo da Relação Custo x Benefício do projeto os custos devem ser anualizados conforme fórmulas abaixo:

### a) Cálculo do Custo Anualizado Total ( $CA_{TOTAL}$ )

$$CA_{TOTAL} = \sum CA_{equip1} + CA_{equip2} + \dots + CA_{equipn}$$

### a1) Cálculo do Custo Anualizado dos equipamentos com mesma vida útil ( $CA_{equipn}$ ):

$$CA_{equipn} = CPE_{equipn} \times FRC$$

### a2) Cálculo do Custo dos equipamentos e/ou materiais com mesma vida útil ( $CPE_{equipn}$ ):

$$CPE_{equipn} = CE_{equipn} + \left[ (CT - CTE) \times \frac{CE_{equipn}}{CTE} \right]$$

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

Abaixo temos uma tabela representando os custos do projeto:

Descrição do equipamento	Custo Unitário (R\$)	Qtd	Total Custo Unitário X Qtd (R\$) [A] CEequipn	% do equipamento em relação ao Total [C] CEequipn / CTE	Custo por equipamento incluindo mão-de-obra (R\$) [E = A+CxD] CPEequipn	Vida Útil em anos (n)	Taxa de Desconto (i)	Fator de Recuperação de Capital [F]	Custo Anualizado item (R\$) CAequipn [G = E x F]
CMB Poço PAM -1	13.987,76	1	13.987,76	2,827%	19.662,60	10	8%	0,1490295	2.930,31
CMB Poço PB 4	22.569,43	1	22.569,43	4,562%	31.725,86	10	8%	0,1490295	4.728,09
CMB Poço PB 6	16.243,58	1	16.243,58	3,283%	22.833,61	10	8%	0,1490295	3.402,88
CMB Poço PB 9	18.499,41	1	18.499,41	3,739%	26.004,63	10	8%	0,1490295	3.875,46
CMB Poço PBL 4	16.673,26	1	16.673,26	3,370%	23.437,61	10	8%	0,1490295	3.492,90
CMB Poço PBM 1	13.987,76	1	13.987,76	2,827%	19.662,60	10	8%	0,1490295	2.930,31
CMB Poço PC 2	15.229,05	1	15.229,05	3,078%	21.407,49	10	8%	0,1490295	3.190,35
CMB Poço PCJ 3	16.518,10	1	16.518,10	3,339%	23.219,50	10	8%	0,1490295	3.460,39
CMB Poço PCLT 1	7.136,75	1	7.136,75	1,443%	10.032,13	10	8%	0,1490295	1.495,08
CMB Poço PCU 1	13.987,76	1	13.987,76	2,827%	19.662,60	10	8%	0,1490295	2.930,31

CMB Poço PFA 5	14.859,06	1	14.859,06	3,003%	20.887,39	10	8%	0,1490295	3.112,84
CMB Poço PJ 2a	11.899,03	1	11.899,03	2,405%	16.726,47	10	8%	0,1490295	2.492,74
CMB Poço PJ 8	13.247,75	1	13.247,75	2,678%	18.622,37	10	8%	0,1490295	2.775,28
CMB Poço PJ 9	11.123,22	1	11.123,22	2,248%	15.635,92	10	8%	0,1490295	2.330,21
CMB Poço PJ 12	14.859,06	1	14.859,06	3,003%	20.887,39	10	8%	0,1490295	3.112,84
CMB Poço PJD L 1a	16.291,33	1	16.291,33	3,293%	22.900,73	10	8%	0,1490295	3.412,88
CMB Poço PJTL 3a	10.621,93	1	10.621,93	2,147%	14.931,25	10	8%	0,1490295	2.225,20
CMB Poço PLSL 1a	9.273,21	1	9.273,21	1,874%	13.035,36	10	8%	0,1490295	1.942,65
CMB Poço PLSL 5	16.291,33	1	16.291,33	3,293%	22.900,73	10	8%	0,1490295	3.412,88
CMB Poço PLSL 6	15.229,05	1	15.229,05	3,078%	21.407,49	10	8%	0,1490295	3.190,35
CMB Poço PMAL 1	18.010,04	1	18.010,04	3,640%	25.316,72	10	8%	0,1490295	3.772,94
CMB Poço PMAL 2	21.507,17	1	21.507,17	4,347%	30.232,64	10	8%	0,1490295	4.505,56
CMB Poço PMAL 3	16.207,77	1	16.207,77	3,276%	22.783,27	10	8%	0,1490295	3.395,38
CMB Poço PMU 1	17.854,89	1	17.854,89	3,609%	25.098,63	10	8%	0,1490295	3.740,44
CMB Poço PR 2b	15.763,31	1	15.763,31	3,186%	22.158,50	10	8%	0,1490295	3.302,27
CMB Poço PR 3	10.239,98	1	10.239,98	2,070%	14.394,35	10	8%	0,1490295	2.145,18
CMB Poço PSL 3	18.281,72	1	18.281,72	3,695%	25.698,63	10	8%	0,1490295	3.829,85
CMB Poço PSM 1	10.774,24	1	10.774,24	2,178%	15.145,36	10	8%	0,1490295	2.257,10
CMB Poço PT 1	13.987,76	1	13.987,76	2,827%	19.662,60	10	8%	0,1490295	2.930,31
CMB Poço PT 4	17.747,47	1	17.747,47	3,587%	24.947,63	10	8%	0,1490295	3.717,93
CMB Poço PT 5	15.763,31	1	15.763,31	3,186%	22.158,50	10	8%	0,1490295	3.302,27
Proteções	970,00	31	30.070,00	6,078%	42.269,42	10	8%	0,1490295	6.299,39

Subtotal Materiais [B] - CTE			494.735,49	100,000%	695.450,00	CA <sub>TOTAL</sub> =			103.642,56
Mão de Obra Própria	36.960,00	1	36.960,00	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Mão de Obra de terceiros	79.393,05	1	79.393,05	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Transporte	17.742,06	1	17.742,06	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
ADM Própria	10.500,00	1	10.500,00	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Marketing e Ações Educacionais	24.000,00	1	24.000,00	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Descarte de Materiais	4.650,00	1	4.650,00	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Medição e Verificação	27.469,40	1	27.469,40	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
SUB TOTAL SERVIÇOS [D] (CT - CTE)			200.714,51						
TOTAL DO PROJETO (R\$) CT =[B]+[D]			695.450,00						

Tabela 12 – Custos do projeto

Onde:

- $CE_{equip\ n}$  = Custo unitário do equipamento x Quantidade do equipamento, corresponde ao custo dos equipamentos com mesma vida útil.
- CTE = Custo total com todos equipamentos.
- CT = Custo total de todo o projeto.
- $CPE_{equip\ n}$  = Custo dos equipamentos com a mesma vida útil, acrescido da parcela correspondente aos outros custos diretos e indiretos. Esta parcela é proporcional ao percentual do custo do equipamento em relação ao custo total com equipamentos.
- FRC = Fator de recuperação de capital.
- $i$  = Taxa de juros (taxa de desconto)
- $n$  = Vida útil em anos
- $CA_{equi\ n}$  = Custo anualizado por equipamento
- CA total = Custo anualizado total

## 8.2.2 BENEFÍCIOS

Com a energia economizada e a redução de demanda obtidos mediante estimativa feita com a substituição das motobombas, precisamos agora determinar o custo evitado de demanda e o custo evitado de energia como segue:



$$CED = (12 \times C_1) + (12 \times C_2 \times LP) \quad [R\$/kW.ano]$$

Custo Unitário Evitado de Energia (CEE)

$$CE = \frac{(C_3 \times LE_1) + (C_4 \times LE_2) + (C_5 \times LE_3) + (C_6 \times LE_4)}{LE_1 + LE_2 + LE_3 + LE_4} \quad [R\$/MWh]$$

onde:

- LP - constante de perda de demanda no posto fora de ponta, considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta.
- LE1, LE2, LE3 e LE4 - constantes de perdas de energia nos postos de ponta e fora de ponta para os períodos seco e úmido, considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta.
- C1 - custo unitário da demanda no horário de ponta [R\$/kW. mês];
- C2 - custo unitário da demanda fora do horário de ponta [R\$/kW. mês];
- C3 - custo unitário da energia no horário de ponta de períodos secos [R\$/MWh];
- C4 - custo unitário da energia no horário de ponta de períodos úmidos [R\$/MWh];
- C5 - custo unitário da energia fora do horário de ponta de períodos secos [R\$/MWh];
- C6 - custo unitário da energia fora do horário de ponta de períodos úmidos [R\$/MWh]

A partir dos valores do Fator de carga (Fator de carga do seguimento elétrico) e da constante k (varia entre 0,15 e 0,30 fornecido em tabelas pela ANEEL), podemos através da tabela abaixo determinar os valores das constantes de perdas:

k = 0,15						
Fator de Carga	LP#	LE#	LE1#	LE2#	LE3#	LE4#
0,1	0,1444	0,20586	0,23139	0,16197	-0,1099	-0,0776
0,15	0,1681	0,36464	0,24102	0,16871	-0,02643	-0,01867
0,2	0,1936	0,56064	0,25119	0,17583	0,07832	0,0553
0,25	0,2209	0,79388	0,2619	0,18333	0,20435	0,1443
0,3	0,25	1,06434	0,27315	0,19121	0,35166	0,24832
0,35	0,2809	1,37204	0,28494	0,19946	0,52026	0,36738
0,4	0,3136	1,71696	0,29727	0,20809	0,71014	0,50146
0,45	0,3481	2,09912	0,31014	0,2171	0,9213	0,65057
0,5	0,3844	2,5185	0,32355	0,22649	1,15375	0,81472
0,55	0,4225	2,97512	0,3375	0,23625	1,40748	0,99389
0,6	0,4624	3,46896	0,35199	0,24639	1,68249	1,18808
0,65	0,5041	4,00004	0,36695	0,25865	1,97632	1,39557
0,7	0,5476	4,56834	0,38516	0,26961	2,29381	1,61977
0,75	0,5929	5,17388	0,40136	0,28095	2,63258	1,85899
0,8	0,64	5,81664	0,4181	0,29267	2,99264	2,11324
0,85	0,6889	6,49664	0,43538	0,30476	3,37398	2,38252
0,9	0,7396	7,21386	0,4532	0,31724	3,7766	2,66683

Tabela 13 – Valores das constantes de perdas

E com os dados abaixo determinar o valor do custo evitado de demanda, e energia:

**Para o CED**

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>LP</b>
<b>13,8 kV</b>	41,61	11,42	0,5476
<b>69 kV</b>	33,68	7,28	0,5476

**Para o CE**

	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>	<b>LE1</b>	<b>LE2</b>	<b>LE3</b>	<b>LE4</b>
<b>13,8 kV</b>	169,81	153,49	105,55	96,08	0,38516	0,26961	2,29381	1,61977
<b>69 kV</b>	169,81	153,49	105,55	96,08	0,38516	0,26961	2,29381	1,61977

De onde encontramos, para as diferentes tensões de fornecimento:

		Tensão de Fornecimento		
		Fornecimento		
		13,8 kV	69 kV	BT
1.1	Custo Unitário Evitado da Demanda ( CED ) - [ R\$ / kW.ano ]			
=		<b>574,36</b>	<b>452,00</b>	<b>689,23</b>
1.2	Custo Unitário Evitado da Energia ( CEE ) - [ R\$ / MWh ] =			
		<b>110,44</b>	<b>110,44</b>	<b>119,28</b>

Onde multiplicando o custo evitado de demanda pela redução de demanda na ponta obtida anteriormente, e o custo evitado de energia pela economia de energia prevista, obtemos:

$$RDP = 147,2 \text{ KW}$$

$$EE = 1736,54 \text{ MWh/ano}$$

<b>CED<sub>total</sub> (R\$/ano)</b>	<b>84517,07</b>
<b>CEE<sub>total</sub> (R\$/ano)</b>	<b>191783,48</b>

### 8.2.3 CÁLCULO DA RELAÇÃO CUSTO X BENEFÍCIO

Então de acordo com a fórmula da relação custo benefício abaixo,

$$RCB = \frac{\text{Custos\_Anualizados}}{\text{Benefícios\_Anualizados}}$$

obtemos um **RCB = 0,38**, que é menor do que o valor máximo de 0,8 determinado pela ANEEL.

### 8.3 ESTUDO SOBRE ADEQUAÇÃO DA TARIFA DE ENERGIA DAS UNIDADES CONSUMIDORAS

Com a substituição das motobombas e as conseqüentes reduções de consumo e de demanda, devemos fazer uma análise nas unidades consumidoras no que diz respeito à adequação tarifária que melhor venha a atender.

Fizemos aqui o estudo para um determinado poço, abaixo estão os valores de demanda e energia consumidos nos últimos meses:

Ano	Mês	HORÁRIO DE PONTA			HORÁRIO FORA DE PONTA		
		Demanda Medida (KW)	Demanda Contratada (KW)	Consumo (KWh)	Demanda Medida (KW)	Demanda Contratada (KW)	Consumo (KWh)
2009	Janeiro	12	30	709	12	30	7.995
	Fevereiro	12	30	946	12	30	9.750
	Março	12	30	749	12	30	7.669
	Abril	12	30	867	12	30	8.604
	Maio	12	30	748	12	30	8.910
	Junho	12	30	747	12	30	7.623
	Julho	13	30	768	16	30	8.112
	Agosto	12	30	958	12	30	8.802
	Setembro	12	30	823	12	30	7.422
	Outubro	12	30	862	25	30	7.875
	Novembro	12	30	862	12	30	8.625
	Dezembro	12	30	785	12	30	8.064
2009	Janeiro	17	30	864	21	30	9.512
	Fevereiro	14	30	865	14	30	7.983
	Março	14	30	785	14	30	7.370
	Abril	13	30	883	14	30	8.307
	Maio	14	30	902	14	30	9.052
	Junho	14	30	957	14	30	10.213
	Julho	14	30	773	14	30	7.455

Agosto	14	30	1.004	14	30	8.704
Setembro	13	30	864	13	30	6.839
Outubro	13	30	722	13	30	5.357
Novembro	13	30	841	13	30	7.483
Dezembro						

Tabela 14 – Consumo e demanda registrada em uma motobomba durante 1 ano

A partir destes dados foi feito um estudo de acordo com as tarifas verde, azul e convencional. Assim após a análise obteve-se uma economia significativa com a mudança da tarifa convencional anteriormente utilizada, para tarifa verde, e uma redução da demanda contratada de 30 para 19,09.

Abaixo temos gráficos que demonstram esta análise:

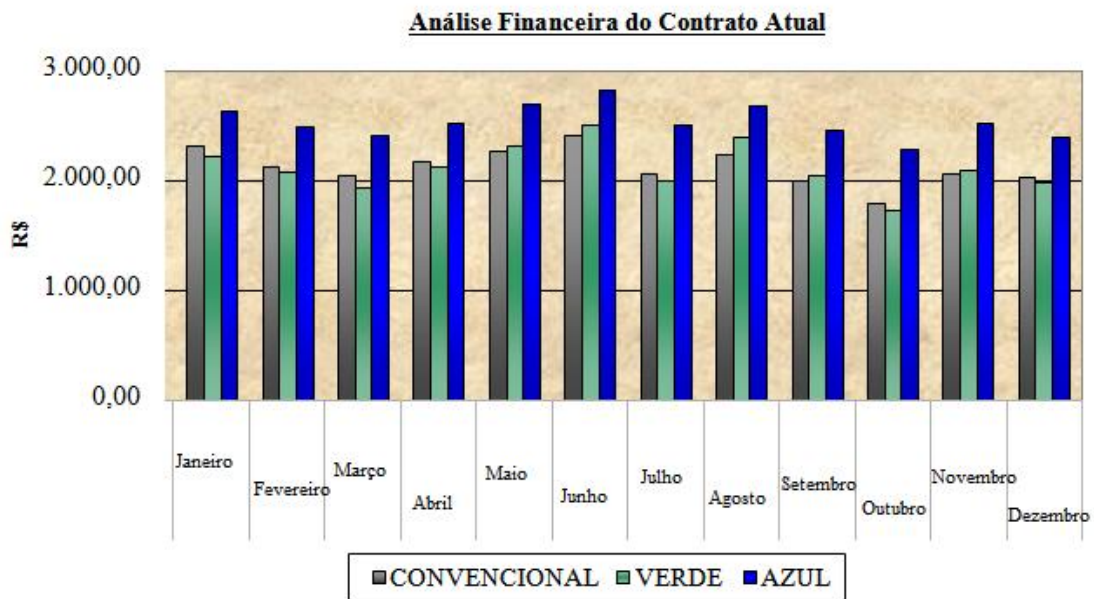


Figura 21 – Análise financeira do contrato atual

### Análise Financeira do Contrato Proposto

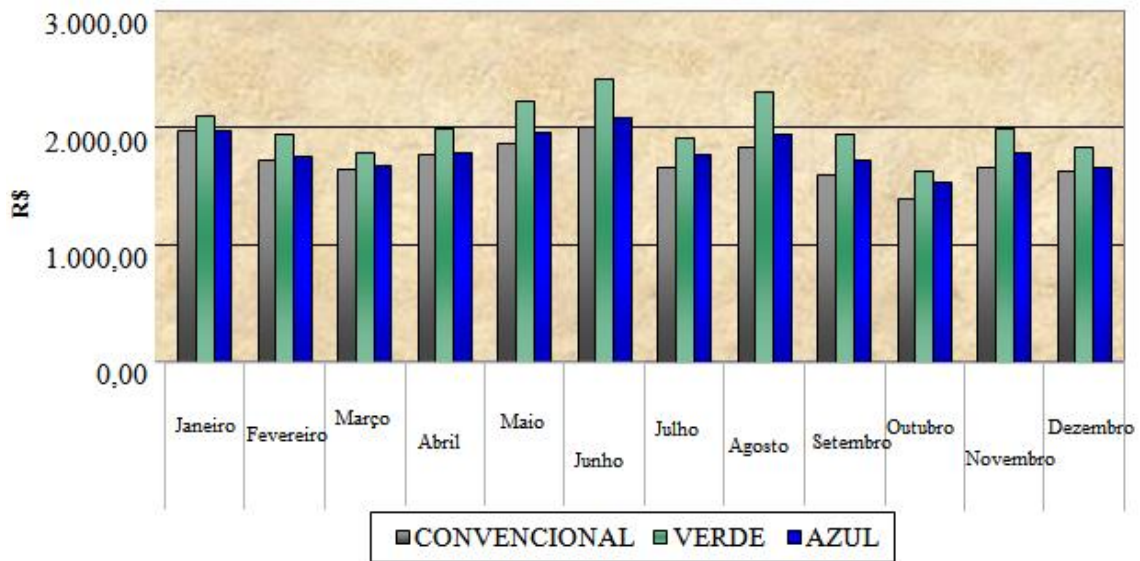


Figura 22 – Análise financeira do contrato proposto

Onde o somatório do valor pago no ano de 2009 foi de R\$ 25.440,36 na tarifa verde e com demanda de ponta e fora de ponta de 30 KW, sendo que, caso este estivesse na tarifa convencional e com demanda contratada de ponta e fora de ponta de 19 KW o valor pago neste mesmo período seria de R\$ 20.933,97, onde percebemos uma economia de **R\$ 4.506,39** em apenas uma das várias unidades consumidoras.

## 9. CONCLUSÃO

Observamos que o desenvolvimento deste trabalho trouxe bastante benefícios, tanto à empresa Ceal através do pagamento de dívidas para com esta e redução de capital para futura expansão em fornecimento de energia, como para empresa Casal, através do financiamento de sua dívida, redução do consumo de suas unidades consumidoras, economia com adequação tarifária e dimensionamento correto de cabos e melhor fornecimento de água a seus clientes.

## 10. BIBLIOGRAFIA

- Manual de equipamentos elétricos, 3ª edição, João Mamede Filho editora LTC
- Fundamentos de Mecânica dos Fluidos, volume único, 4ª edição, Brucer Munson editora Edgard Blucher
- Catálogo de motobombas Grundfos, disponível no site [www.grundfos.com.br/web/homebr.nsf/Webopslag/F550C88A8EF8E76C832570340058FECB](http://www.grundfos.com.br/web/homebr.nsf/Webopslag/F550C88A8EF8E76C832570340058FECB)
- Manual do programa de eficiência energética da ANEEL, de 12 de fevereiro de 2008, disponível no site [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)
- Manual do programa de pesquisa e desenvolvimento tecnológico do setor de energia, versão publicada em maio de 2008, disponível no site [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)
- Protocolo internacional de medição e verificação de performance, publicado em abril de 2007 disponível no site [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)