

 UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
unesp

FACULDADE DE ENGENHARIA

CAMPUS DE BAURU

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA A
DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA GLOBAL DE POÇOS PROFUNDOS

NILTON JOSÉ SAGGIORO

Dissertação apresentada à Faculdade
de Engenharia da UNESP - Campus
de Bauru, para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Industrial.

BAURU - SP
Novembro - 2001



Páginas 3 05. 04. 08 - 2 Aproveitamento de Energia

Número de chamada
Glas. T/UNESP
PHA 5.1362
Tombo n.º 989



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE BAURU

**DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA A
DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
GLOBAL DE POÇOS PROFUNDOS**



NILTON JOSÉ SAGGIORO

Orientador: Prof. Dr. José Angelo Cagnon

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia da UNESP - Campus de Bauru,
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Industrial.**

BAURU - SP
Novembro - 2001



Ficha catalográfica elaborada por
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP - Bauru

Saggioro, Nilton José

Desenvolvimento de uma metodologia para a
determinação do índice de eficiência energética global de
poços profundos / Nilton José Saggioro - - Bauru : [s.n.],
2001.

150 f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia.

Orientador: Prof. Dr . José Ângelo Cagnon

1. Eficiência energética. 2. Poços profundos. 3.
Gestão energética. I – Título. II – Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia.





ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE *NILTON JOSÉ SAGGIORO*,
ALUNO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL, DA FACULDADE
DE ENGENHARIA DA UNESP – CAMPUS DE BAURUR.

[illegible]

Prof. Dr. Edwin Avolio - Membro

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Engenharia - Bauru

Av. Engº Luiz Edmundo Carrijo Coube s/nº • Caixa Postal 473 • CEP 17 033-360 • Bauru • SP • Fone: 14 221 6000 e 14 221 6108 • Fax: 14 221 6104
E-mail: spg-fe@bauru.unesp.br • home page: www.bauru.unesp.br/pos/fe.htm

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida, saúde e condições proporcionadas para a realização deste trabalho.

Sou grato também a minha esposa Maria José (Babi) e minhas filhas Vitória e Sofia pelo apoio e compreensão, abrindo mão de muitas horas de convivência como esposo e pai, para que eu pudesse desenvolver este trabalho.

Agradeço ainda a meus pais, Osvaldo e Ivanilda, que sempre acreditaram e investiram em mim, e a minha irmã Silvia Maria, pelo apoio em todos os momentos.

Não poderia deixar de agradecer também a todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho, e em particular:

ao prof. Dr. Ivan Nunes da Silva, pela expressiva participação quando da utilização de redes neurais artificiais, sem a qual seria impossível a utilização desta poderosa ferramenta;

ao prof. Dr. Alcides Padilha, pelo apoio e incentivo em momentos de dificuldades;

à UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, pelo apoio financeiro durante parte dos trabalhos;

à SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, Superintendência da Unidade de Negócios do Baixo Tietê e Grande, por possibilitar a realização de toda a parte experimental.



“Ainda que eu tenha o dom de profetizar e conheça todos os mistérios e toda a ciência; ainda que eu tenha tamanha fê ao ponto de transportar montes, se não tiver amor, nada serei.” *I Coríntios 13:2*



SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	ix
<i>Abstract</i>	x
Resumo	xi
 1 INTRODUÇÃO	
1.1 Motivação e Relevância	1
1.2 Justificativa e Principais Contribuições	3
1.3 Organização da Dissertação	6
1.4 Referências Bibliográficas	7
 2 AQUÍFEROS SUBTERRÂNEOS E POÇOS PROFUNDOS	
2.1 Introdução	9
2.2 Termos Relativos a Aquíferos e Poços	9
2.3 Propriedades dos Aquíferos	14
2.4 Modelo Matemático de Theis	22
2.5 Componentes de Sistemas de Bombeamento por Meio de Poços Profundos	25
2.6 Conclusões Parciais	33
2.7 Referências Bibliográficas	34
 3 FUNDAMENTOS DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS	
3.1 Introdução	36
3.2 O Neurônio Biológico	36
3.3 O Neurônio Artificial	37
3.4 Breve Histórico e Arquiteturas de Redes Neurais Artificiais	39

3.5 Processos de Aprendizagem e Algoritmos de Treinamento	
3.5.1 Conceitos	46
3.5.2 Algoritmo 'Back-Propagation'	58
3.6 A Rede Perceptron Multi-Camadas (PMC)	61
3.7 Desenvolvimento Passo a Passo de Aplicações de Redes Neurais Artificiais	68
3.8 Conclusões Parciais	71
3.9 Referências Bibliográficas	72
 4 INDÍCE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA GLOBAL - IEEG	
4.1 Introdução	73
4.2 Desenvolvimento Teórico	74
4.3 Determinação do IEEG	80
4.4 Obtenção dos Parâmetros para o Cálculo do IEEG	88
4.5 Determinação da Vazão Utilizando-se Redes Neurais Artificiais	90
4.6 Conclusões Parciais	92
4.7 Referências Bibliográficas	94
 5 LEVANTAMENTO DE DADOS DE CAMPO	
5.1 Introdução	95
5.2 O Poço Piloto	95
5.3 Instrumentos Utilizados	98
5.3.1 Medidor de Potência Elétrica	99
5.3.2 Medidor de Nível	101
5.3.3 Medidor de Vazão	102
5.3.4 Medidor de Pressão	106
5.4 Metodologia Empregada	107
5.5 Resultados Obtidos	109
5.6 Conclusões Parciais	114
5.7 Referências Bibliográficas	114



6 APLICAÇÃO DO IEEG PROPOSTO

6.1 Introdução	116
6.2 Cálculo do IEEG para o Poço Piloto por Meio de Parâmetros Medidos	117
6.3 Cálculo do IEEG para o Poço Piloto Utilizando-se de Rede Neural Artificial	123
6.3.1 Treinamento da Rede Neural	123
6.3.2 Aplicação da Rede Neural Treinada	126
6.3.3 Cálculo do IEEG	129
6.4 Cálculo do IEEG Teórico	132
6.5 Análise Comparativa entre os IEEG Calculados	133
6.6 Simulação de Anormalidade	140
6.6.1 Ocorrência de Rompimento de Tubulação.....	140
6.6.2 Ocorrência de Obstrução na Tubulação.....	142
6.7 Conclusões Parciais	143
6.8 Referências Bibliográficas	145

7 CONCLUSÕES GERAIS E TRABALHOS FUTUROS

7.1 Resumo da Dissertação	146
7.2 Conclusões Gerais	147
7.3 Trabalhos Futuros.....	150

ANEXOS

Anexo A – Dados técnicos do medidor de grandezas elétricas
Anexo B – Resultado de medições no poço piloto e do IEEG calculado
Anexo C – Padrões utilizados para treinamento da rede neural artificial proposta
Anexo D – Algoritmo utilizado para treinamento da rede neural artificial
Anexo E – Curvas características do motor e do bombeador do poço piloto
Anexo F – Resultado das grandezas elétrica medidas no poço piloto



LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 2.1 – Formações geológicas, poço e piezômetro em aquífero confinado.
- FIGURA 2.2 – Termos relativos a um poço.
- FIGURA 2.3 – Ilustração da condutividade hidráulica e transmissividade.
- FIGURA 2.4 – Efeito de diferentes transmissividades na forma, rebaixamento e extensão do cone de depressão durante um bombeamento constante. (a) Transmissividade de $124 \text{ m}^2/\text{dia}$ e (b) Transmissividade de $1240 \text{ m}^2/\text{dia}$.
- FIGURA 2.5 – Esquema dos componentes de um sistema de bombeamento de água de aquífero.
- FIGURA 2.6 – Diagrama de Moody.
- FIGURA 3.1 – Esquema dos constituintes da célula neuronal.
- FIGURA 3.2 – Esquema da unidade de McCulloch.
- FIGURA 3.3 – Perceptrons, de Roseblatt.
- FIGURA 3.4 – Madaline, de Widrow & Hoff.
- FIGURA 3.5 – Rede de Hopfield.
- FIGURA 3.6 – Mínimos locais de uma função genérica.
- FIGURA 3.7 – Aprendizado em redes neurais supervisionadas.
- FIGURA 3.8 – Regra Delta.
- FIGURA 3.9 – Esquema de treinamento do *Perceptron*.
- FIGURA 3.10 – Aprendizado em redes neurais não supervisionadas.
- FIGURA 3.11 – Modelo simplificado de um elemento processador.
- FIGURA 3.12 – Funções de transferência. (a) degrau (*threshold*), (b) linear e (c) sigmóide.
- FIGURA 3.13 – Rede neural de cinco camadas.
- FIGURA 3.14 – Rede neural auto-associativa.
- FIGURA 3.15 – Rede neural hetero-associativa.
- FIGURA 3.16 – Perceptron multi-camadas.



FIGURA 3.17 – Camadas de uma rede neural.

FIGURA 3.18 – Exemplo de superfície de erro.

FIGURA 3.19 – Esquema de treinamento *backpropagation*.

FIGURA 3.20 – Superfície de erro e treinamento *backpropagation*.

FIGURA 3.21 – Utilização da rede PMC.

FIGURA 4.1 – Componentes de um sistema de bombeamento de água de aquífero.

FIGURA 4.2 – Rede PMC utilizada para determinação da vazão.

FIGURA 5.1 – Vista geral da área do poço piloto.

FIGURA 5.2 – Corte esquemático do poço piloto, com seus principais componentes e dimensões.

FIGURA 5.3 – Instalação do medidor de grandezas elétricas.

FIGURA 5.4 – Medidor de nível de água no interior do poço.

FIGURA 5.5 – Desenho esquemático de um medidor eletromagnético de vazão.

FIGURA 5.6 – Instalação do sensor eletromagnético de vazão.

FIGURA 5.7 – Manômetro utilizado para medição da pressão na saída do poço.

FIGURA 5.8 – Curva de recuperação do nível da água no interior do poço piloto após o desligamento da motobomba.

FIGURA 5.9 – Curva de rebaixamento do nível da água no interior do poço piloto após um início de bombeamento.

FIGURA 5.10 – Curva de rebaixamento do nível da água no interior do poço piloto no período transitório.

FIGURA 5.11 – Curva da potência elétrica absorvida durante o período de bombeamento analisado.

FIGURA 5.12 – Curva da vazão de água extraída do aquífero durante o período de bombeamento analisado.

FIGURA 5.13 – Curva da pressão na saída do poço durante o período de bombeamento analisado.

FIGURA 6.1 – Principais componentes hidráulicos do poço piloto.

FIGURA 6.2 – Comportamento do $IEEG_{(t)}$ calculado por meio de parâmetros medidos, durante o tempo de operação da motobomba.

FIGURA 6.3 – Comportamento do $IEEG_{(t)}$ calculado por meio de parâmetros medidos, durante o período transitório.

FIGURA 6.4 – Topologia da rede neural utilizada.

FIGURA 6.5 – Variação do erro durante o treinamento da rede neural.



FIGURA 6.6 – Curvas comparativas entre as vazões medidas e fornecidas pela rede neural treinada.

FIGURA 6.7 – Comportamento do $I\dot{E}E\dot{G}_{(t)}$ calculado, utilizando-se de rede neural artificial.

FIGURA 6.8 – Comportamento do $I\dot{E}E\dot{G}_{(t)}$ calculado, utilizando-se de rede neural artificial, no período transitório.

FIGURA 6.9 – Comportamento dos $I\dot{E}E\dot{G}_{(t)}$ calculados segundo as duas sistemáticas analisadas.

FIGURA 6.10 – Comportamento dos $I\dot{E}E\dot{G}_{(t)}$ calculados segundo as duas sistemáticas analisadas, para o período transitório.

FIGURA 6.11 – Comportamento do erro do $I\dot{E}E\dot{G}_{(t)}$ calculado utilizando-se de rede neural artificial, considerando-se o $I\dot{E}E\dot{G}$ calculado com dados medidos como referência.

FIGURA 6.12 – Comportamento do erro do $I\dot{E}E\dot{G}_{(t)}$ calculado utilizando-se de rede neural artificial, considerando-se o $I\dot{E}E\dot{G}$ calculado com dados medidos como referência, após o período transitório.



LISTA DE TABELAS

- Tabela 2.1 – Valores médios para o coeficiente de Hazen-Willians
- Tabela 2.2 – Valores para o coeficiente de perdas localizadas por tipo de peça
- Tabela 6.1 – $IEEG_{(t)}$ calculado por meio de parâmetros medidos
- Tabela 6.2 – Comparativo entre as vazões fornecidas pela rede neural e medidas, para cada grupo de dados levantados
- Tabela 6.3 – $IEEG_{(t)}$ calculado utilizando-se de rede neural artificial
- Tabela 6.4 – $IEEG_{(t)}$ calculado segundo as duas sistemáticas apresentadas
- Tabela 6.5 – Erro do $IEEG_{(t)}$ calculado utilizando-se de rede neural artificial, considerando-se o IEEG calculado com dados medidos como referência



Abstract

The Systems of water distribution from groundwater wells use, in most of cases, electrical submersible pumps. All the electrical energy is applied into pumps; however, other components of these systems are responsible for higher or lower energy consumption, such as pipes, valves, and the aquifer level, etc. The supervisors and operators should have the knowledge the energetic global behavior of these systems.

This work suggests a 'Global Efficiency Energetic Indicator for Groundwater Wells', using mathematical equations and neural networks.

In the end of this work, the application results will be presented in order to demonstrate the validity of the proposed indicator.



Resumo

A quantidade de energia elétrica consumida por sistemas que exploram aquíferos subterrâneos através de poços profundos tem assumido proporções cada vez maiores. Considerando-se a necessidade de redução de custos operacionais, do controle do rebaixamento do nível dos aquíferos, e da otimização desses sistemas, torna-se mais importante a cada dia o gerenciamento global desta atividade.

Com base em equações matemáticas clássicas da potência absorvida por conjuntos motobomba submersíveis, utilizando-se de redes neurais artificiais e de parâmetros operacionais, desenvolveu-se uma metodologia para determinação do Índice de Eficiência Energética Global – IEEG de poços profundos, índice este que expressa o comportamento energético de todo o conjunto de captação de águas desses sistemas (aquífero, motobomba e circuito hidráulico).

Posteriormente foram efetuadas medições de campo dos parâmetros operacionais de um poço profundo piloto e determinado o IEEG segundo a metodologia proposta.

Como resultado observou-se a viabilidade da utilização da metodologia desenvolvida para determinação do IEEG, uma boa precisão na utilização de redes neurais artificiais, e a possibilidade de sua utilização na comparação da evolução temporal do comportamento da eficiência energética de um poço profundo.



Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1. MOTIVAÇÃO E RELEVÂNCIA

Praticamente todas as atividades humanas necessitam de água para sua realização. Em nosso país predomina a utilização de dois tipos de mananciais, os superficiais e os subterrâneos. Os sistemas de abastecimento oriundos de mananciais subterrâneos, normalmente operam na configuração poço-reservatório-distribuição. Nestes sistemas, um conjunto motor-bombeador do tipo submersível (também chamado motobomba), com acionamento elétrico, é instalado a uma certa profundidade no interior do aquífero e bombeia água para um reservatório próximo, posicionado no ponto mais elevado do setor a ser abastecido e, por gravidade a água é distribuída.

Para suprir a demanda crescente de água para abastecimento público, ocorreu nos últimos anos, um aumento na extração de água dos aquíferos, basicamente de duas maneiras:

- i-) aumentando-se o volume diário extraído em um determinado poço, quer através do aumento da vazão horária (obtido através da substituição do conjunto motor-bombeador submersível), quer através do aumento do período diário (número de horas) de operação do conjunto motor-bombeador original;
- ii-) perfurando-se novos poços intercalados aos já existentes.

As duas soluções anteriores representam um aumento no volume de água extraído do aquífero, fato que acarreta um rebaixamento em seu nível no interior do poço profundo.

O rebaixamento no nível do aquífero provoca redução no volume de água extraído, motivado pelo aumento da altura manométrica percebida pelo conjunto motobomba, pois este apresenta vazão (Q) inversamente proporcional à altura manométrica (H_m). Além desse fato, a altura manométrica total do sistema hidráulico é dependente das perdas de carga nas tubulações e acessórios hidráulicos, perdas estas, diretamente proporcionais à vazão. Todas estas variáveis provocam acréscimos na potência elétrica absorvida pelo conjunto motor-bombeador.

Considerando-se que a grande maioria dos sistemas de captação de água subterrânea em nosso país utiliza energia elétrica para o acionamento de motobombas, esta constitui-se em um dos principais insumos para a produção de água. Soma-se a este fato a diminuição dos subsídios nas tarifas para esta atividade no setor público, a dificuldade cada vez maior de obtenção de novas fontes produtoras, a necessidade de redução de custos operacionais e a atual situação energética de nosso país, que é extremamente grave, culminando com a adoção de medidas de racionamento de energia elétrica. Todos estes fatores impõem a necessidade do gerenciamento eficiente da utilização da energia elétrica. Assim, para o acompanhamento e a tomada de decisões operacionais quanto a poços profundos, é imprescindível a determinação de um parâmetro que expresse o comportamento energético de todo o conjunto de captação de água, o qual é aqui definido como Índice de Eficiência Energética Global - IEEG.

Uma metodologia será desenvolvida com base nas equações clássicas de potência absorvida por motobombas submersíveis e utilizando-se de redes neurais artificiais.



O Índice de Eficiência Energética Global - IEEG de um poço profundo será expresso em $Wh/m^3.m$. Mediante uma análise dimensional, observa-se que quanto menor for o valor numérico do IEEG, melhor será a eficiência energética do sistema de captação.

1.2. JUSTIFICATIVA E PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES

Com o objetivo de reduzirem-se os gastos com energia elétrica em conjuntos motor-bomba, vários trabalhos foram publicados. Entre as principais metodologias utilizadas, destacam-se: i) a abordagem tarifária, conforme trabalhos de Almeida Neto (1993)^[1], Cassiano Filho (1992)^[4], Pereto (1997)^[7], Polisel (1996)^[8]; ii) a utilização de equipamentos genericamente mais eficientes, de acordo com Cassiano Filho (1989)^[3], Tsutiya (1989)^[10]; iii) a abordagem de racionalização do uso da água, de acordo com Pompermayer (1996)^[9]; e iv) uma abordagem híbrida das anteriores, conforme trabalhos de Cagnon (1998)^[2], Haguida (1996)^[5], Kubota (1989)^[6]. Entretanto, estes trabalhos não consideram as variações de nível do aquífero e nem da vazão, bem como de nenhuma forma de verificação da eficiência energética global das unidades.

Conforme citado no item anterior, o comportamento da altura manométrica e da vazão são fundamentais para esta análise e poderiam ser obtidos utilizando-se equipamentos específicos. Ocorre que o custo de implantação destes equipamentos, especialmente em localidades onde existem inúmeras unidades de produção, é bastante elevado, inviabilizando por completo sua instalação. Por outro lado, equipamentos de medição de grandezas elétricas, tais como: potência elétrica, corrente, tensão, etc., são de uso mais freqüentes e apresentam custos menores.

A dificuldade prática está na determinação da vazão real extraída, uma vez que esta sofre variações ao longo do ciclo operacional de um poço profundo, variações estas motivadas pela alteração da altura manométrica real percebida pelo conjunto motor-bomba.

Para a solução deste problema propõe-se neste trabalho a utilização de redes neurais artificiais, que são modelos computacionais inspirados no cérebro humano e que possuem a capacidade de aquisição e manutenção de informações, de modo a se poder fazer uma previsão da vazão de exploração de um aquífero a partir da potência elétrica absorvida pela motobomba e de parâmetros rotineiros de poços, tais como: nível do aquífero e pressão de saída do poço.

Redes neurais artificiais apresentam as seguintes características que justificam sua utilização:

- capacidade de generalização, não sendo necessário treinar a rede para todas as situações possíveis;
- capacidade de previsão ou estimação de valores para novas situações;
- facilidade de implementação em hardware;
- exploração de arquiteturas de processamento inerentemente paralelas e adaptativas;
- habilidade em identificar mapeamentos não-lineares entre as entradas e saídas do processo.

Inicialmente, os parâmetros operacionais de um poço, obtidos através de medições, são apresentados a uma rede neural para seu treinamento. Depois de treinada a rede neural, informando-se à mesma os valores medidos da potência elétrica requerida, do nível do aquífero no interior do poço e da pressão de saída, esta fornecerá a vazão de trabalho, evitando-se assim a necessidade de

medição de vazão, que normalmente apresenta-se como de difícil realização e custo elevado.

Então, de posse de alguns outros parâmetros medidos e da vazão fornecida pela rede neural, será possível determinar-se o IEEG para o poço profundo sob análise.

Resumindo, trata-se de um trabalho de grande interesse social, pois:

- irá propor um indicador da eficiência energética global para sistemas que exploram aquíferos subterrâneos, que permitirá, dentre outras, quantificar o resultado de ações gerenciais que objetivem a redução do consumo de energia elétrica;
- apresentará uma alternativa para determinação da vazão de exploração do aquífero, sem a utilização de medidores diretos, reduzindo custos na implantação de um sistema de gerenciamento energético.

Com base em um sistema de captação reconhecidamente eficiente do ponto de vista energético, com o circuito hidráulico bem projetado e com a bomba submersível operando em seu ponto de melhor rendimento, poderia ser determinado o IEEG teórico (ou ideal) para aquela tecnologia empregada. A constatação posterior de valor superior indicaria a possibilidade de ganho energético, e então, empregando-se métodos clássicos, poderia ser identificada a causa do mau desempenho energético do sistema de captação de água de aquíferos sob análise.

Este IEEG também poderá ser utilizado como parâmetro no monitoramento de resultados de experimentações de novas tecnologias



energeticamente eficientes, como por exemplo a utilização de inversores de frequência no acionamento das bombas, a substituição do material das tubulações, etc.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho apresenta a seguinte distribuição em capítulos:

O Capítulo 2 apresenta uma breve revisão bibliográfica sobre aquíferos subterrâneos e poços profundos, indicando os termos e equações clássicas sobre o assunto e utilizadas no transcorrer deste trabalho.

No Capítulo 3 são apresentados os fundamentos de redes neurais artificiais, um pequeno histórico de sua evolução e indicadas suas principais arquiteturas.

No Capítulo 4 é feito o desenvolvimento do Índice de Eficiência Energética Global – IEEG proposto, e apresentada uma rede neural artificial para a determinação da vazão a partir de parâmetros operacionais medidos.

O Capítulo 5 trata do levantamento dos dados de campo. Inicialmente, descreve o poço escolhido como unidade piloto, posteriormente, descreve os equipamentos e a metodologia empregada para a obtenção dos dados, e finalmente apresenta os dados obtidos.

No Capítulo 6 os dados de campo são utilizados para a determinação do IEEG e apresentados os resultados obtidos para várias situações. Posteriormente, os resultados são analisados e comentados.

O Capítulo 7 apresenta as conclusões deste trabalho e indica as possibilidades de trabalhos futuros.

As referências bibliográficas utilizadas durante o desenvolvimento deste trabalho são apresentadas no final de cada capítulo, com a pretensão de facilitar a consulta.

1.4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALMEIDA NETO, L. P. Alternativas de utilização de tarifa horo-sazonal para redução de custos com energia elétrica. In: 17º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1993, Natal. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES, 1993.
- [2] CAGNON, J. A.; AVÓLIO, E.; SAGGIORO, N. J. Auditoria energética em estações elevatórias de água. In: III CONGRESSO LATINO AMERICANO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 1998, São Paulo. *Anais...* São Paulo: IEEE, 1998. p.513-517.
- [3] CASSIANO FILHO, A.; FREITAS, F. V. *Redução de consumo de energia elétrica com utilização de inversor de frequência*. São Paulo, 1989. (Relatório interno da SABESP – COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO).
- [4] CASSIANO FILHO, A.; TSUTIYA, M. T. Economia nos custos de energia elétrica em obras sanitárias através da escolha adequada das tarifas. *Revista DAE*, v.168, p.8-20, 1992.
- [5] HAGUIDA, C.; SANTOS NETTO, L. F.; COURA, S. P. Gestão de energia elétrica da SABESP na região metropolitana de São Paulo. In: VII ENCONTRO TÉCNICO DA ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS DA SABESP, 1996, São Paulo. São Paulo: Revista Saneas, v.9, 1996.
- [6] KUBOTA, H.; TSUTIYA, M. T. Economia de energia elétrica: estudo comparativo de consumo de energia elétrica em diversos métodos de controle de vazão. In: 15º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1989, Belém. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES, 1989.



- [7] PERETO, A. S. Aplicação de grupo gerador diesel nos horários de ponta para economia nos gastos com energia elétrica. In: VIII ENCONTRO TÉCNICO DA ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS DA SABESP, 1997, São Paulo. *Anais...* São Paulo: SABESP, 1997.
- [8] POLISEL, K. C.; ORSI, R. Aplicação da tarifa horo-sazonal verde em projetos de reservatórios e conjuntos elevatórios. In: VII ENCONTRO TÉCNICO DA ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS DA SABESP, 1996, São Paulo. São Paulo: Revista Saneas, v. 9, 1996.
- [9] POMPERMAYER, M. L. *Conservação de energia elétrica através da racionalização do uso urbano de água: uma análise das possibilidades, baseando-se na cidade de campinas - SP*. Campinas, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas.
- [10] TSUTIYA, M. T. *Redução do custo de energia elétrica em estações elevatórias de sistemas de abastecimento de água de pequeno e médio portes*. São Paulo, 1989. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.



Capítulo 2

AQUÍFEROS SUBTERRÂNEOS E POÇOS PROFUNDOS

2.1. INTRODUÇÃO

Um aquífero subterrâneo pode ser definido como uma unidade geológica saturada, permeável, capaz de transmitir quantidades economicamente significativas de água para poços. Os aquíferos mais comuns são constituídos de areia não consolidada e cascalho. Rochas sedimentares permeáveis como arenito e calcário, rochas vulcânicas e cristalinas fraturadas, também podem ser classificadas como aquíferos.

Poços profundos são estruturas hidráulicas projetadas e construídas para a extração econômica de água de uma formação geológica. No interior dos poços são instalados equipamentos de bombeamento (motor e bomba) e dispositivos hidráulicos (tubos, válvulas, filtros, etc.) que conduzirão a água dos aquíferos até a superfície ou reservatório de distribuição.

2.2. TERMOS RELATIVOS A AQUÍFEROS E POÇOS

Durante este trabalho serão utilizados alguns termos que estão conceituados a seguir. Estas conceituações foram obtidas em ABAS (1997)^[1], Driscoll (1986)^[4], Sugahara (1996)^[8], para os termos relacionados à hidrogeologia.



AQUICLUDO:

É uma unidade geológica impermeável, incapaz de transmitir água. Rochas ígneas e metamórficas não fraturadas são típicos aquícludos. Na natureza, unidades geológicas totalmente impermeáveis quase não ocorrem. Na prática, classificam-se como aquícludos as unidades que apresentam permeabilidade com várias ordens de magnitude inferiores às unidades subjacentes ou sobrejacentes.

AQUITARD:

São leitos menos permeáveis numa seqüência estratigráfica. Tais leitos podem apresentar permeabilidade suficiente para transmitir água em quantidades significativas no estudo regional do fluxo das águas subterrâneas. Porém, não justificam que a perfuração de poços seja feita e concluída em seu interior. Normalmente, a perfuração ultrapassa seus limites.

De acordo com os autores citados, as definições de aquífero e aquitard são propositadamente imprecisas com respeito a condutividade hidráulica. Tais definições podem, portanto, ser utilizadas em termos relativos. Por exemplo, numa seqüência intercalada de silte e areia, o silte pode ser considerado um aquitard, entretanto, numa seqüência silte e argila, o silte pode ser considerado aquífero.

PIEZÔMETRO:

São perfurações auxiliares que atingem o aquífero e que possuem a finalidade de avaliar o comportamento de sua superfície a distâncias conhecidas do poço.

AQÜÍFEROS CONFINADOS:

São aqueles limitados superiormente e inferiormente por aquícludos. Neste tipo de aquífero, a pressão da água é, usualmente, maior que a



pressão atmosférica, ou seja, o nível d'água estático em um poço será superior ao topo do aquífero (poço semi-artesiano) e, em alguns casos, superior à superfície do solo, quando o poço é denominado artesiano.

A Figura 2.1, conforme Domenico (1972)^[3], apresenta um desenho esquemático com alguns dos termos já definidos, relativos a aquíferos e poços.

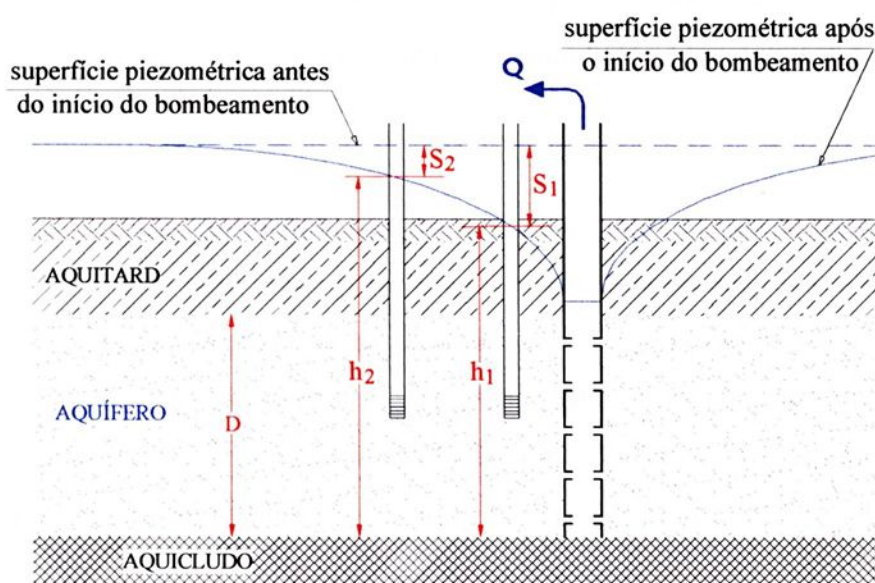


FIGURA 2.1- Formações geológicas, poço e piezômetro em aquífero confinado.

onde:

- D – espessura do aquífero (m)
- S₁ – rebaixamento do nível da água no interior do piezômetro 1
- h₁ – diferença entre o nível da água no interior do piezômetro 1 e a base do aquífero
- S₁ – rebaixamento do nível da água no interior do piezômetro 2
- h₁ – diferença entre o nível da água no interior do piezômetro 2 e a base do aquífero

AQÜÍFEROS NÃO CONFINADOS:

Também conhecidos como aquíferos livres ou freáticos, são limitados inferiormente por um aquícludo e não apresentam nenhuma camada confinante superior. O contorno superior é o nível d'água livre, que se apresenta à pressão atmosférica.

AQÜÍFEROS DRENANTES:

Também conhecidos como semi-confinados são os aquíferos cujos limites superior e inferior são aquítards, ou um limite é um aquínard e o outro é um aquícludo.

Em seu interior, a água é livre para se mover através dos aquítards, tanto para cima como para baixo. Em bacias sedimentares profundas, é comum um sistema intercalado de níveis mais ou menos permeáveis, formando um sistema de aquífero multi-camadas. Neste caso é mais comum que um aquífero se apresente como uma sucessão de aquíferos drenantes, separados por aquítards, que um só tipo principal de aquífero.

SUPERFÍCIE PIEZOMÉTRICA:

A superfície de um aquífero confinado é uma superfície imaginária que coincide com o nível da pressão hidrostática da água. O nível d'água em um poço, que penetra um aquífero confinado, define a elevação da superfície piezométrica naquele ponto.

NÍVEL ESTÁTICO:

Nível no qual a água mantém-se em repouso em um poço quando não se está retirando água deste poço. É expresso pela distância entre a superfície da terra e o nível de água no poço.



NÍVEL DINÂMICO:

Nível no qual a água se mantém estável quando um bombeamento está sendo feito no poço. Também é expresso pela distância da superfície da terra ao nível de água no poço. Esta distância varia de acordo com as características do aquífero, com aspectos construtivos dos poços, com a vazão extraída, com o tempo de operação, etc.

REBAIXAMENTO:

É a diferença, medida na unidade de comprimento (geralmente metros), entre o nível estático e o nível dinâmico.

REBAIXAMENTO RESIDUAL:

Após a paralisação do bombeamento, o nível de água eleva-se até o nível estático. Durante este período de recuperação do nível de água, a distância entre o nível de água e o nível estático é chamada de rebaixamento residual.

PRODUÇÃO DO POÇO:

É o volume de água extraído do poço por unidade de tempo, também chamado de vazão volumétrica. Neste trabalho utilizar-se-á a unidade de metros cúbicos por hora (m^3/h).

VAZÃO ESPECÍFICA:

Produção do poço por unidade de rebaixamento. Neste estudo utilizar-se-á a unidade de metros cúbicos por hora por metro de rebaixamento. A vazão específica varia com a duração do bombeamento – quando a duração do bombeamento aumenta, a vazão específica diminui.

A Figura 2.2, conforme Domenico (1972)^[3], mostra os termos relacionados ao nível de água no interior de um poço.



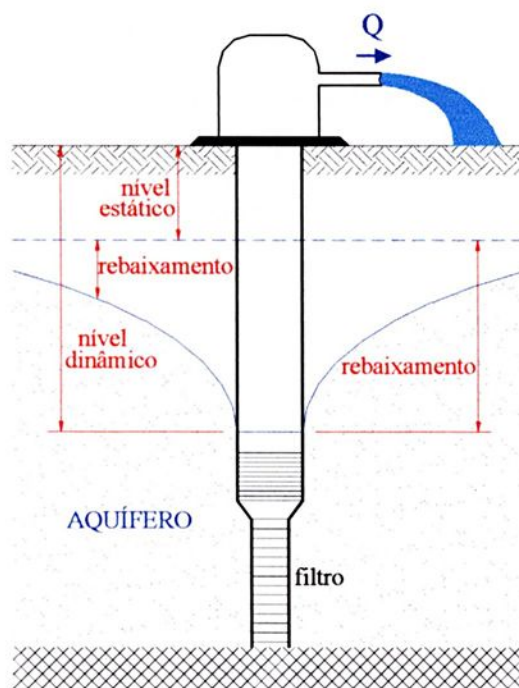


FIGURA 2.2 - Termos relativos a um poço.

COLAPSO DO POÇO:

Situação na qual a vazão extraída é maior que a permitida pelo aquífero, provocando um rápido, contínuo e crescente rebaixamento do nível dinâmico.

RECARGA DO AQUÍFERO:

É a reposição natural de água do aquífero, normalmente através de infiltração pelo solo. A partir da superfície do solo, a água percorre caminhos preferenciais determinados pelas características de impermeabilidade do terreno, até atingir o aquífero.

2.3. PROPRIEDADES DOS AQUÍFEROS

A seguir serão apresentadas algumas propriedades dos aquíferos, de acordo com Domenico (1972)^[3], Driscoll (1986)^[4] e Sugahara (1996)^[8].

FLUXO PERMANENTE:

O fluxo permanente é independente do tempo, ou seja, o nível d'água no interior do poço bombeado e em piezômetros próximos não varia com o tempo. O fluxo permanente pode ocorrer quando alguma fonte externa recarrega o aquífero bombeado em proporção equivalente.

Tais fontes podem ser a chuva, a drenagem através de aquitards, de aquíferos superiores e/ou inferiores, rios, lagos, mares ou oceanos que estejam em contato hidráulico direto com o aquífero bombeado.

Na prática, considera-se fluxo permanente quando as variações do nível d'água, com o tempo, forem tão pequenas que possam ser desprezadas.

FLUXO TRANSIENTE:

O fluxo transiente ocorre a partir do início do bombeamento até que o fluxo permanente seja atingido. Teoricamente, um aquífero horizontal, infinito em área, com espessura constante, confinado e bombeado a vazão constante, apresentará sempre fluxo transiente.

Também neste caso, na prática, considera-se o fluxo transiente enquanto as variações do nível d'água no poço ou em piezômetros sejam mensuráveis.

POROSIDADE (ϕ):

A porosidade de uma rocha é a sua propriedade de conter poros ou vazios, então:

$$\phi = \frac{V_V}{V_T} \quad \text{eq. (2.1)}$$



onde:

V_V - volume de vazios

V_T - volume total de uma dada massa de material

A porosidade é usualmente expressa como uma fração decimal ou uma porcentagem.

COMPRESSIBILIDADE (α E β):

A compressibilidade α do aquífero (ou aquitard) é definida por:

$$\alpha = -\frac{1}{V_T} \frac{dV_T}{d\sigma_e} \quad \text{eq. (2.2)}$$

onde:

V_T - volume total de uma dada massa de material

dV_T - variação de volume dessa massa de material

$d\sigma_e$ - variação na tensão efetiva

Analogamente, a compressibilidade da água β é definida como:

$$\beta = -\frac{1}{V_A} \frac{dV_A}{dp} \quad \text{eq. (2.3)}$$

onde:

V_A - volume total de uma dada massa de água

dV_A - variação de volume dessa massa de água

dp - variação na pressão da água que induz uma mudança do Volume V_A

CONDUTIVIDADE (K) E TRANSMISSIVIDADE (T):

Para um aquífero confinado, a transmissividade T é definida como:

$$T = K \cdot b \quad \text{eq. (2.4)}$$

onde:

K - condutividade hidráulica do aquífero, dependente das características físicas do mesmo e possui dimensão $[LT^{-1}]$

b - espessura do aquífero de dimensão $[L]$

T - transmissividade, possui dimensão $[L^2T^{-1}]$

A Figura 2.3, conforme Driscoll (1986)^[4], ilustra a transmissividade (T) e a condutividade hidráulica (K).

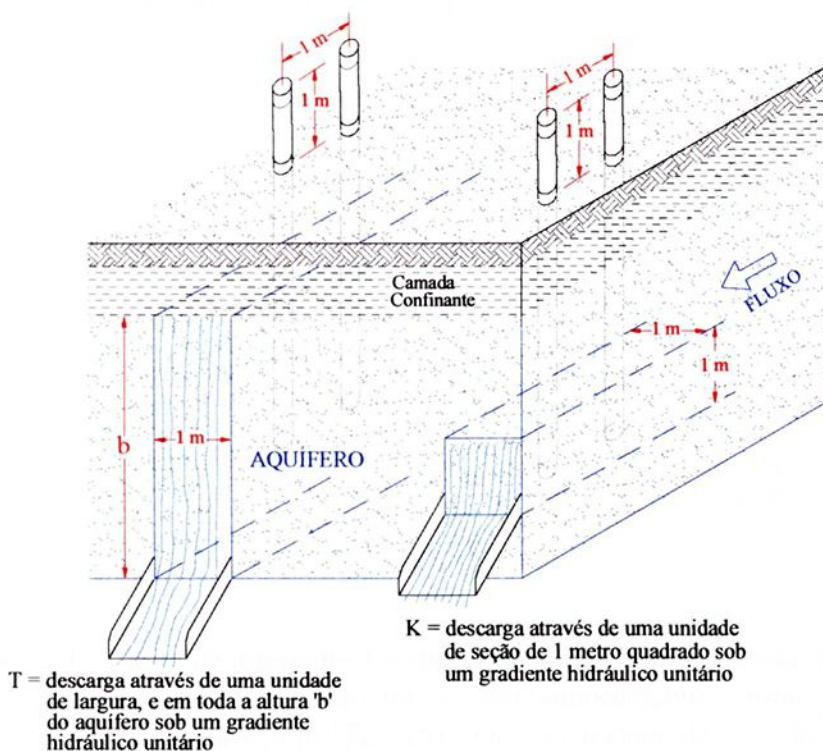


FIGURA 2.3 - Ilustração da condutividade hidráulica e transmissividade.

A condutividade hidráulica (K) é igual a transmissividade dividida pela espessura do aquífero.

Transmissividades maiores que $0,015 \text{ m}^2/\text{s}$ representam bons aquíferos para exploração de poços d'água.

A partir das definições das propriedades já apresentadas pode-se inferir que as características próprias dos aquíferos estão diretamente relacionadas com o tipo e grau de rebaixamento de um aquífero no interior de um poço profundo e também em suas proximidades.

A superfície piezométrica observada através de piezômetros apresenta um formato chamado de 'cone de depressão' e a influência da transmissividade em sua forma e dimensões poderá ser observada nos exemplos numéricos a e b da Figura 2.4, apresentada por Driscoll (1986)^[4].

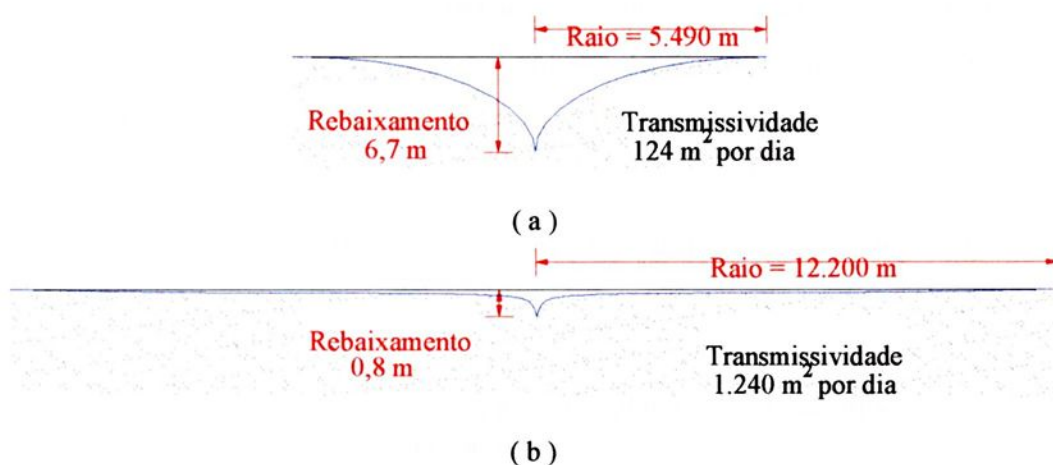


FIGURA 2.4 - Efeito de diferentes transmissividades na forma, rebaixamento e extensão do cone de depressão durante um bombeamento constante. (a) Transmissividade de $124 \text{ m}^2/\text{dia}$ e (b) Transmissividade de $1.240 \text{ m}^2/\text{dia}$.

ARMAZENAMENTO ESPECÍFICO (S_s):

O armazenamento específico de um aquífero saturado é definido como o volume de água que um volume unitário de aquífero produz, sob um declínio unitário da carga hidráulica.

A diminuição da carga hidráulica causa uma diminuição na pressão (p) e um acréscimo na tensão efetiva (σ_e). O decréscimo da carga (h) produz a água por dois mecanismos:

- (1) a compactação do aquífero causada pelo aumento da tensão efetiva e;
- (2) a expansão da água causada pela diminuição da pressão.

O primeiro mecanismo é controlado pela compressibilidade do aquífero (α) e o segundo pela compressibilidade da água (β).

Para apresentar a expressão que define o armazenamento específico, considera-se inicialmente o mecanismo (1). Neste mecanismo o volume de água produzido é igual à redução do volume do aquífero. A redução volumétrica será negativa (dV_T), mas o volume de água produzido será positivo (dV_{A1}), daí:

$$dV_{A1} = -dV_T = \alpha \cdot V_T \cdot d\sigma_e \quad \text{eq. (2.5)}$$

onde:

dV_{A1} – variação do volume de água produzido pelo mecanismo (1)

dV_T - variação volumétrica do aquífero

α - compressibilidade do aquífero

V_T - volume total da parte considerada do aquífero

$d\sigma_e$ - variação da tensão efetiva

Tem-se ainda que:

$$d\sigma_e = -\rho \cdot g \cdot dh \quad \text{eq. (2.6)}$$

onde:

$d\sigma_e$ - variação da tensão efetiva

ρ - massa específica da água

g - aceleração da gravidade

dh - decréscimo de carga hidráulica

Para um volume unitário de aquífero (V_T) e para uma queda unitária de carga hidráulica ($dh = -1$), das equações 2.5 e 2.6 vem:

$$dV_{A1} = \alpha \cdot \rho \cdot g \quad \text{eq. (2.7)}$$

Considerando o volume produzido pela expansão da água, mecanismo (2), tem-se:

$$dV_{A2} = -\beta \cdot V_{A1} \cdot dp \quad \text{eq. (2.8)}$$

onde:

dV_{A2} - variação do volume de água produzido pelo mecanismo (2)

β - compressibilidade da água

V_{A1} - volume total de água produzido pelo mecanismo (1)

dp - variação (diminuição) da pressão

Tem-se também que:

$$V_{A1} = \phi \cdot V_T \quad \text{eq. (2.9)}$$



onde:

V_{A1} - volume total de água produzido pelo mecanismo (1)

ϕ - porosidade do aquífero

V_T - volume total da parte considerada do aquífero

Admitindo-se $V_T = 1$, $dh = -1$ e $dp = d\sigma_e$, e aplicando-se estes valores nas equações 2.6 e 2.8 vem:

$$dV_{A2} = -\beta \cdot \phi \cdot \rho \cdot g \quad \text{eq. (2.10)}$$

Somando-se as equações (2.7) e (2.10) resulta que o volume de água produzido por volume unitário do aquífero, sob um declínio unitário da carga hidráulica, definido como sendo o armazenamento específico (S_s) será:

$$S_s = \rho \cdot g \cdot (\alpha - \phi \cdot \beta) \quad \text{eq. (2.11)}$$

Uma análise dimensional desta equação mostra que S_s tem a dimensão $[L^{-1}]$.

COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO (S):

O coeficiente de armazenamento (S) é definido como:

$$S = S_s \cdot b \quad \text{eq. (2.12)}$$

onde:

S_s - armazenamento específico e possui dimensão $[L^{-1}]$

b - espessura do aquífero de dimensão $[L]$

Substituindo-se o valor de S_s dado pela equação 2.11 na equação 2.12 vem:



$$S = \rho \cdot g \cdot b \cdot (\alpha - \phi \cdot \beta) \quad \text{eq. (2.13)}$$

Pode-se dizer que o coeficiente de armazenamento é o volume de água que um aquífero produz por unidade de sua área superficial por declínio unitário da carga hidráulica normal a esta superfície.

A carga hidráulica para um aquífero confinado é, normalmente, apresentada na forma de uma superfície piezométrica.

O coeficiente de armazenamento é adimensional. Em aquíferos confinados seu valor varia entre 0,005 e 0,00005.

2.4. MODELO MATEMÁTICO DE THEIS

Existem vários modelos matemáticos desenvolvidos para representar os sistemas de aquíferos encontrados na natureza.

De acordo com Sugahara (1996)^[8], os aquíferos podem ser classificados como confinados, não confinados, drenantes, horizontalmente limitados, multi-camadas, fraturados, com poços parcialmente penetrantes, com poços de grande diâmetro, etc.

Ainda segundo este autor, Theis (1935)^[9], foi o primeiro a propor um equacionamento matemático para expressar o rebaixamento da superfície piezométrica devido a ação de um bombeamento de água no interior de um poço.

O modelo de Theis considera as hipóteses de aquífero artesian, homogêneo, de espessura constante, de área horizontal infinita, produzindo a



vazão constante e poço totalmente penetrante. É o modelo mais simples para o equacionamento de aquífero com solução para fluxo transiente.

O modelamento matemático de Theis apresentado por Sugahara (1996)^[8] possui o seguinte sistema de equações:

$$\frac{\partial^2 s}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial s}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial s}{\partial t} \quad \text{eq. (2.14)}$$

$$s(r, 0) = 0 \quad \text{eq. (2.15)}$$

$$s(\infty, t) = 0 \quad \text{eq. (2.16)}$$

$$\lim_{r \rightarrow 0} \left(r \frac{\partial s}{\partial r} \right) = - \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot T} \quad \text{eq. (2.17)}$$

onde:

s - rebaixamento da superfície piezométrica [L]

r - distância entre o ponto de rebaixamento e o poço [L]

S - coeficiente de armazenamento do aquífero (adimensional)

T - transmissividade do aquífero [$L^2 T^{-1}$]

t - tempo transcorrido após o início do bombeamento [T]

Q - vazão de extração do bombeamento [$L^3 T^{-1}$]

Aplicando-se a transformada de Laplace tem-se:

$$\frac{d^2 \bar{s}}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\bar{s}}{dr} = \frac{S}{T} w\bar{s} \quad \text{eq. (2.18)}$$

$$\bar{s}(r, w) = AK_0 \left(r \sqrt{\frac{S}{T}} w \right) \quad \text{eq. (2.19)}$$

$$\lim_{r \rightarrow 0} \left(r \frac{d\bar{s}}{dr} \right) = - \frac{Q}{2\pi T} \frac{1}{w} \quad \text{eq. (2.20)}$$

onde:

w - parâmetro de Laplace (adimensional)

A - área do aquífero [L^2]

K_0 - condutividade hidráulica unitária do aquífero [$L T^{-1}$]

Daí a solução para o rebaixamento no espaço de Laplace fica:

$$\bar{s}(r, w) = \frac{q}{2\pi T} \frac{K_0 \left(r \sqrt{\frac{S}{T}} w \right)}{w} \quad \text{eq. 2.21}$$

cujas expressão no espaço real é:

$$h_0 - h(r, t) = s(r, t) = \frac{Q}{2\pi T} L^{-1} \left\{ \frac{K_0 \left(r \sqrt{\frac{S}{T}} w \right)}{w} \right\} \quad \text{eq. 2.22}$$

onde:

h - distância entre a superfície piezométrica e a base do aquífero [L]

Neste modelo os parâmetros que variam no ajuste são S e T .

As derivadas das soluções dos modelos em relação aos parâmetros podem ser encontradas nos apêndices de Sugahara (1996)^[8].



2.5. COMPONENTES DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO POR MEIO DE POÇOS PROFUNDOS

A Figura 2.5 apresenta o esquema de um sistema clássico de bombeamento de água de aquíferos através de poço profundo.

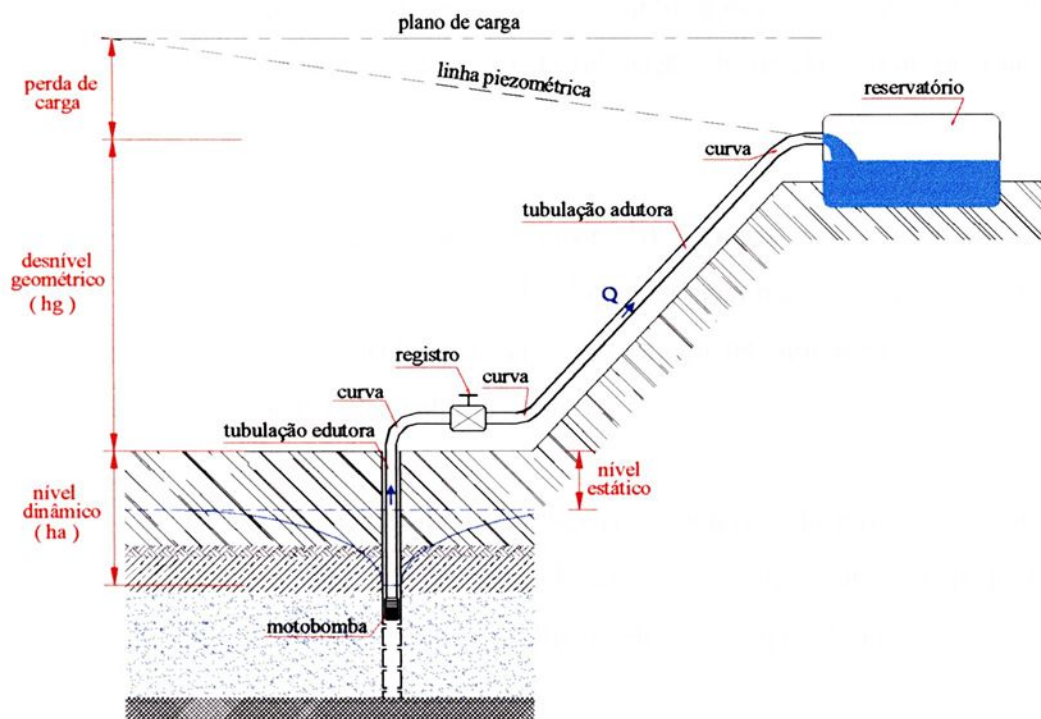


FIGURA 2.5 – Esquema dos componentes de um sistema de bombeamento de água de aquífero.

Um conjunto motor e bombeador (também conhecido como motobomba) é instalado no interior do poço, submerso na água oriunda do aquífero. Através de uma tubulação edutora, que também sustenta fisicamente a motobomba, a água é transportada até a superfície do solo e daí, através de uma tubulação adutora, até o reservatório, normalmente localizado em uma posição mais elevada em relação ao poço e ao setor a ser abastecido por gravidade. Inserido neste circuito hidráulico, para o transporte da água, existem diversos acessórios necessários a sua construção ou operação do sistema, tais como curvas e registros.

MOTOBOMBAS SUBMERSÍVEIS:

Conforme descrito por Macintyre (1997)^[5], as motobombas submersíveis, também chamadas bombas com motor imerso ou bombas submersas, possuem um motor de forma alongada, acha-se ligado diretamente ao conjunto da bomba e fica imerso no poço. A descida do conjunto motor-bomba, à medida que se realiza, é acompanhada de adaptação da tubulação de recalque (edutora) que, no final, sustenta o conjunto.

Existem dois tipos, a saber: (i) Bombas com motor seco – Protegido por um encamisamento, em volta do qual a água passa, refrigerando-o; e (ii) Bombas com motor molhado – A água pode atingir os enrolamentos, os quais recebem então isolamento especial.

Nas bombas submersas “secas”, o interior do motor com rotor em curto-circuito trabalha sob pressão de ar, que é fornecido por pequeno compressor, ou é blindado e resfriado externamente com a água do poço.

As bombas submersas “molhadas” possuem o motor ligado diretamente à bomba, e a parte interna do motor é envolvida e resfriada com água. A tecnologia de fabricação de motores elétricos com isolamento por materiais plásticos, permitiu chegar-se a um motor que é enchido de água limpa antes de ser acionado. Quando a água do poço é adequada, a refrigeração do motor se faz com a mesma, dispensando-se recursos especiais.

Para analisar o funcionamento das motobombas submersíveis são utilizadas curvas características do bombeador, como apresentado no Anexo E. Estas curvas relacionam a vazão de exploração do aquífero com a altura manométrica total, determinando assim o ponto trabalho do conjunto. Uma melhor discussão sobre estas curvas características está apresentada nos Capítulos 5 e 6.



TUBULAÇÕES:

Como pode ser observado na Figura 2.5, são necessárias tubulações para o transporte da água do aquífero até o reservatório.

As tubulações deverão possuir características compatíveis com a pressão e vazão de trabalho, sendo esta última ligada diretamente ao diâmetro da tubulação. Conforme Azevedo Neto (1998)^[2], a relação entre o diâmetro da tubulação e a vazão é dada pela Equação da Continuidade, que é expressa por:

$$Q = v \cdot A \quad \text{eq. (2.23)}$$

onde:

Q - vazão [L^3T^{-1}]

v - velocidade do fluido [LT^{-1}]

A - área transversal da tubulação [L^2]

Neste trabalho será importante o fenômeno da resistência que as tubulações oferecem ao escoamento da água. Ainda segundo Azevedo Neto (1998)^[2], esta resistência é o efeito combinado das forças devidas à viscosidade e à inércia, que estão diretamente relacionadas com as condições das paredes internas das tubulações. Um tubo com paredes rugosas provoca maior resistência. Esta resistência poderá ser indicada pelo fator de atrito ' f ' "... entre o líquido e a parede da tubulação, refletindo o processo irreversível de transformação de parte da energia do escoamento em calor ...", conforme descreve Porto (1999)^[7].

Ainda de acordo com este autor, "... este processo de conversão pode ocorrer através de três caminhos:



1. Desenvolvimento de tensões de cisalhamento entre camadas adjacentes de líquido, em um escoamento caracterizado por valores pequenos do número de Reynolds e definido como *escoamento laminar*.
2. Geração de um processo vorticoso turbulento, no qual parte da energia do escoamento é utilizada para criação, desenvolvimento e colapso dos vórtices, e conseqüente dissipação por atrito viscoso entre partículas adjacentes. Tal vorticidade é resultado do contato entre regiões do escoamento com líquido em movimento rápido e regiões com líquido em movimento lento ou estagnado na camada limite laminar, ou mesmo em zonas de separação do escoamento. Tal escoamento, em que a perda de carga ocorre dessa maneira, é classificado como *escoamento turbulento*.
3. Uma combinação entre os processos laminar e turbulento, anteriormente definidos, de dissipação de energia é chamada de *escoamento transicional*. Este tipo de escoamento é instável, limitado a uma faixa estreita de baixos números de Reynolds, sem interesse prático, principalmente em se tratando da água cuja viscosidade é baixa, o que leva a maioria dos escoamentos nas tubulações comuns a serem turbulentos.”

Uma melhor discussão sobre esta classificação de escoamentos e número de Reynolds poderá ser observada em Azevedo Neto (1998)^[2] e Porto (1999)^[7]. Neste trabalho, os escoamentos analisados serão do tipo turbulento.

A resistência à passagem da água, devido o estado das paredes do tubo, são contínuas ao longo de toda a tubulação, e será admitida uniforme em qualquer trecho de uma tubulação de diâmetro constante, independente da posição desta tubulação. Esta resistência provoca a necessidade da motobomba fornecer uma pressão (ou carga) adicional para que a água atinja o reservatório. Assim, o efeito desta resistência também é chamado de perda de carga distribuída ao longo da tubulação.

Conforme citação de Azevedo Neto (1998)^[2], as perdas de carga em tubos com seção circular são:

- a) diretamente proporcionais ao comprimento da canalização (πDL)
- b) inversamente proporcionais a uma potência do diâmetro ($1/D^m$)
- c) função de uma potência da velocidade média (v^n)
- d) variáveis com a natureza das paredes dos tubos (rugosidade)
- e) independentes da posição da tubulação
- f) independentes da pressão interna sob a qual o líquido escoar
- g) função de uma potência da relação entre a viscosidade e a densidade do fluido $(\mu/\rho)^r$

Assim, a perda de carga é dada pela seguinte equação conhecida como 'fórmula universal':

$$h_f = f \frac{L \cdot v^2}{D \cdot 2 \cdot g} \quad \text{eq. (2.24)}$$

onde:

h_f - perda de carga ao longo da tubulação (m)

f - fator de atrito (adimensional)

L - comprimento da tubulação (m)

v - velocidade do fluido (m/s)

D - diâmetro da tubulação (m)

g - aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$)

O fator de atrito ' f ' é função da rugosidade e diâmetro do tubo, da viscosidade, da densidade e velocidade do líquido. Normalmente é obtido através de tabelas e gráficos elaborados através de experiências e interpolados para valores intermediários.



Conforme Porto (1999)^[7], o engenheiro americano Lewis Ferry Moody, apresentou em 1944 um gráfico que relaciona o fator de atrito 'f', a rugosidade relativa, o número de Reynolds e o tipo de escoamento. A Figura 2.6 apresenta este gráfico, denominado Diagrama de Moody.

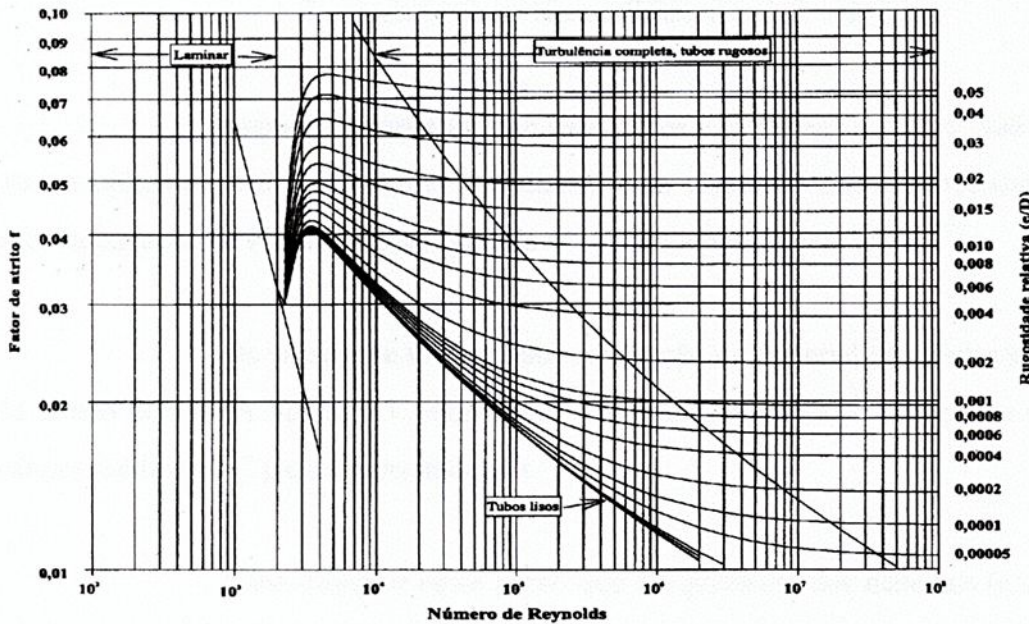


FIGURA 2.6 – Diagrama de Moody.

Assim, para simplificação prática, conforme Azevedo Neto (1998)^[2], os pesquisadores Hazen e Willians propuseram a seguinte expressão para a determinação da perda de carga distribuída ao longo de tubulações, aplicáveis para diâmetros maiores ou iguais a 50 mm, que constituem a maioria dos casos em sistemas do tipo ora analisados:

$$h_{fd} = L \cdot \frac{10,643}{C^{1,85}} \frac{Q^{1,85}}{D^{4,87}} \quad \text{eq. (2.25)}$$

onde:

h_{fd} - perda de carga ao longo da tubulação (m)

L - comprimento da tubulação (m)

Q - vazão do líquido (m^3/s)

D - diâmetro interno da tubulação (m)

C - coeficiente de Hazen-Willians (adimensional)

Importante ressaltar que esta é uma aproximação prática, válida para a aplicação ora sob análise. Entretanto, uma discussão mais aprofundada sobre a equação de Hazen-Willians poderá ser observada em Porto (1999)^[7].

Os valores de C são dados em função do material da tubulação e do tempo de uso. A Tabela 2.1, retirada de Azevedo Neto (1998)^[2], apresenta os valores médios de C para alguns materiais.

Cabe observar neste ponto que a rugosidade dos materiais (e do correspondente coeficiente C) sofre variação ao longo do tempo de utilização das tubulações, provocando normalmente um acréscimo na perda de carga em virtude de incrustações formadas nas paredes internas dos tubos.

Tabela 2.1 - Valores médios para o coeficiente de Hazen-Willians

<i>Material</i>	<i>Valor de C</i>
Ferro dúctil	100
Ferro dúctil revestido de cimento	120
Alumínio	130
Aço zincado ou galvanizado	130
PVC rígido e poliéster	150
Fibrocimento	140

ACESSÓRIOS:

O circuito hidráulico contém além dos tubos, outros elementos importantes, tais como: curvas, registros, válvulas, reduções, tês, etc.

De modo similar às tubulações, estes elementos oferecem uma resistência ao escoamento do fluido, e portanto, perdas de carga. Essas perdas são denominadas locais, localizadas, acidentais ou singulares, pelo fato de decorrerem especificamente de pontos ou partes bem determinadas da tubulação, ao contrário do que acontece com as perdas em consequência do escoamento ao longo de tubulações.

As perdas localizadas podem ser expressas pela equação:

$$h_{fL} = K \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad \text{eq. (2.26)}$$

onde:

h_{fL} - perda de carga localizada (m)

v - velocidade do líquido (m/s)

g - aceleração da gravidade (9,81 m/s²)

K - coeficiente de perdas localizadas e é adimensional

Os valores de K são dados em função do tipo de peça acessória e são obtidos experimentalmente.

A Tabela 2.2, também retirada de Azevedo Neto (1998)^[2], apresenta os valores de K para algumas peças do circuito hidráulico.



Tabela 2.2 - Valores para o coeficiente de perdas localizadas por tipo de peça

<i>Peça</i>	<i>Valor de K</i>
Cotovelo de 90°	0,90
Crivo	0,75
Curva de 90°	0,40
Curva de 45°	0,20
Registro de gaveta aberto	0,20
Saída de canalização	1,00
Tê, passagem direta	0,60
Tê, saída de lado	1,30
Tê, saída bilateral	1,80
Válvula-de-pé	1,75
Válvula de retenção	2,50

2.6. CONCLUSÕES PARCIAIS

O modelo matemático apresentado foi elaborado a partir de algumas hipóteses, a saber: aquífero confinado, homogêneo, de espessura constante, não limitado horizontalmente, com poço penetrando toda sua espessura e produzindo a vazão constante. Além disso, considera que outros parâmetros do aquífero em exploração são conhecidos, tais como: coeficiente de transmissividade, coeficiente de armazenamento e condutividade hidráulica. Todos esses parâmetros e hipóteses são conhecidos e considerados por geólogos logo após a perfuração do poço e, via de regra, não são de domínio do gestor operacional do sistema.

Observando a equação 2.22 e analisando a conceituação dos parâmetros Coeficiente de Armazenamento (S) e Transmissividade (T), é possível inferir que estes possam sofrer variações temporais, devendo os mesmos serem reavaliados, sob pena de perda de precisão do modelo apresentado.

Quanto ao circuito hidráulico, observa-se que perda de carga (distribuída e localizada) é um parâmetro importante, e que esta varia com o tipo e estado do material. Assim, uma tubulação antiga, com incrustações agregadas ao longo do tempo de operação, apresenta uma perda de carga diferente daquela presente em uma tubulação nova; um registro com duas voltas fechadas introduz uma perda de carga também maior que aquela com ele totalmente aberto; uma variação na vazão de extração também provoca variações na perda de carga; entre outras observações que podem ser feitas.

Neste ponto, entende-se que possam ser feitas três afirmações:

- a) quando utilizados modelos matemáticos para o estudo do rebaixamento da superfície piezométrica, estes deverão ser reavaliados com certa periodicidade;
- b) a vazão de exploração do aquífero assume papel fundamental no estudo do circuito hidráulico, devendo ser objeto de cuidadosa análise;
- c) as alterações na vazão de exploração e na altura manométrica ‘percebida’ pelo conjunto motobomba provocam alterações em seu ponto de trabalho, ocasionando alterações em seu rendimento global.

2.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABAS - CADERNO TÉCNICO. São Paulo: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, v. 4, 1997.
- [2] AZEVEDO NETO, J. M. et al. *Manual de hidráulica*. 8.ed. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda., 1998.



- [3] DOMENICO, P. A. *Concepts and models in groundwater hidrology*. Mc Graw-Hill, 1972.
- [4] DRISCOLL, F. G. *Groundwater and wells*. Jonhson Division, 1986.
- [5] MACINTYRE, A. J. *Bombas e instalações de bombeamento*. 2.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., p.414-415, 1997.
- [6] MACINTYRE, A. J. *Equipamentos industriais e de processos*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1997.
- [7] PORTO, R. M. *Hidráulica básica*. São Carlos: EESC-USP, 1999.
- [8] SUGAHARA, L. A. N. *Análise automatizada de testes de bombeamento*. Campinas, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Petróleo) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas.
- [9] THEIS, C. V. *The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage*. Trans. Amer. Geophys. Union, v. 16, p.519-524, 1935.
- [10] VELLOSO, P. P. C. *Teoria e prática de rebaixamento do lençol d'água*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1988.



Capítulo 3

FUNDAMENTOS DE REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS

3.1. INTRODUÇÃO

Redes Neurais Artificiais são técnicas computacionais que apresentam um modelo matemático inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes e que adquirem conhecimento através da experiência. Uma grande rede neural artificial pode ter centenas ou milhares de unidades de processamento; já o cérebro de um mamífero pode ter muitos bilhões de neurônios.

3.2. O NEURÔNIO BIOLÓGICO

O sistema nervoso humano é formado por um conjunto extremamente complexo de células, os neurônios. Eles têm um papel essencial na determinação do funcionamento e comportamento do corpo humano e do raciocínio. Os neurônios são formados pelos dendritos, que são um conjunto de terminais de entrada, pelo corpo central, e pelos axônios, que são longos terminais de saída. A Figura 3.1 apresenta o esquema dos constituintes de uma célula.

Os neurônios se comunicam através de sinapses. Sinapse é a região onde dois neurônios entram em contato e através da qual os impulsos nervosos são transmitidos entre eles. Os impulsos recebidos por um neurônio 'A', em um determinado momento, são processados, e atingindo um dado limiar de ação, este neurônio 'A' dispara, produzindo uma substância neurotransmissora que flui do corpo celular para o axônio, que pode estar conectado a um dendrito de um



outro neurônio 'B'. O neurotransmissor pode diminuir ou aumentar a polaridade da membrana pós-sináptica, inibindo ou excitando a geração dos pulsos no neurônio 'B'. Este processo depende de vários fatores, como a geometria da sinapse e o tipo de neurotransmissor.

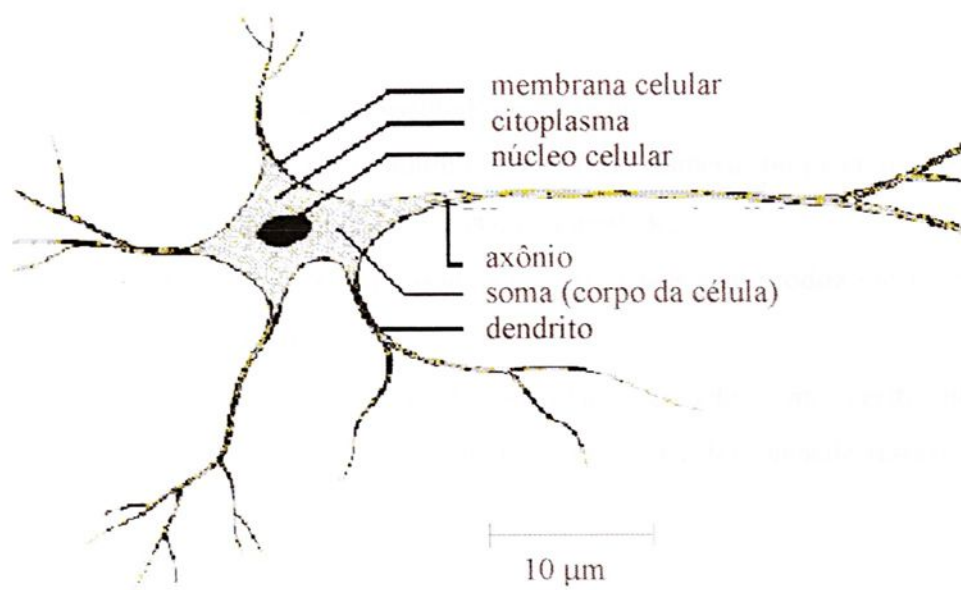


FIGURA 3.1 – Esquema dos constituintes da célula neuronal.

Em média, cada neurônio forma entre mil e dez mil sinapses. O cérebro humano possui cerca de 10^{11} neurônios, e o número de sinapses é de mais de 10^{14} , possibilitando a formação de redes muito complexas.

3.3. O NEURÔNIO ARTIFICIAL

O neurônio artificial é uma unidade de processamento conectada por canais de comunicação que estão associados a determinado peso. A unidade faz operações apenas sobre seus dados locais, que são entradas recebidas pelas

suas conexões. O comportamento inteligente de uma rede neural artificial vem das interações entre as unidades de processamento da rede.

A operação de uma unidade de processamento, de acordo com Mendes Filho (1999)^[7], proposta por McCulloch em 1943, com base na Figura 3.2, pode ser resumida da seguinte maneira:

- sinais são apresentados à entrada;
- cada sinal é multiplicado por um número, ou peso, que indica a sua influência na saída da unidade;
- é feita a soma ponderada dos sinais que produz um nível de atividade;
- se este nível de atividade exceder um certo limite ("threshold") a unidade produz uma determinada resposta de saída.

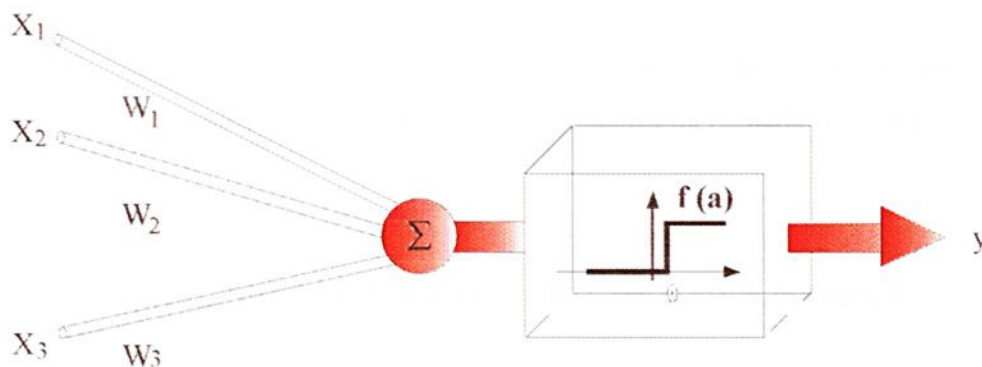


FIGURA 3.2 - Esquema da unidade de McCulloch.

Seja a existência de um número 'p' de sinais de entrada na unidade de McCulloch apresentada na Figura 3.2, onde as entradas são X_1 , X_2 , ...,

X_p , os pesos são $W_1, W_2, \dots, W_p$ possuindo valores reais e, a existência de um limitador 't' com sinais assumindo valores *booleanos* (0 ou 1).

Neste modelo, o nível de atividade 'a' será dado por:

$$a = W_1 \cdot X_1 + W_2 \cdot X_2 + \dots + W_p \cdot X_p \quad \text{eq. (3.1)}$$

A saída 'y' será dada por:

$$\begin{aligned} y &= 1, & \text{se } a \geq t \\ y &= 0, & \text{se } a < t \end{aligned} \quad \text{eq. (3.2)}$$

A maioria dos modelos de redes neurais possui alguma regra de treinamento, onde os pesos de suas conexões são ajustados de acordo com os padrões apresentados. Em outras palavras, elas aprendem através de exemplos.

Arquiteturas neurais são tipicamente organizadas em camadas, com unidades que podem estar conectadas às unidades da camada posterior.

3.4. BREVE HISTÓRICO E ARQUITETURAS DE REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS

Um histórico resumido sobre redes neurais artificiais, apresentado por Mendes Filho (1999)^[7] e Martino (1999)^[5], afirma que o assunto inicia-se com três importantes publicações, desenvolvidas por: McCulloch e Pitts (1943), Hebb (1949), e Roseblatt (1958). Estas publicações introduziram o primeiro modelo de redes neurais simulando 'máquinas', o modelo básico de rede

de auto-organização, e o modelo 'Perceptron' de aprendizado supervisionado, respectivamente.

Alguns historiadores consideram que houve uma lacuna no desenvolvimento deste assunto durante as décadas de 1960 e 1970, e um reinício de publicações nesta área com os trabalhos de Hopfield (1982) relatando a utilização de redes simétricas para otimização, e de Rumelhart, Hinton e Williams que introduziram o poderoso método de treinamento chamado *backpropagation*. Entretanto, para se ter um histórico completo, devem ser citados alguns pesquisadores que realizaram importantes trabalhos nestes períodos, especialmente sobre modelos de redes neurais em visão, memória, controle e auto-organização, dentre eles, Amari, Anderson, Cooper, Cowan, Fukushima, Grossberg, Kohonen, Von der Malsburg, Werbos e Widrow.

O modelo matemático simplificado de McCulloch (1943), com apenas um neurônio, pode ser observado na Figura 3.2. Nele, o neurônio possuía apenas uma saída (s), que era uma função degrau (*threshold*) da soma de suas diversas entradas (e). Em 1947, McCulloch e Pitts criaram redes interligando vários elementos processadores (neurônios de McCulloch) e demonstraram que estes eram capazes de executar ações complexas quando conectados a outros elementos semelhantes.

Em 1949, Hebb sugere que a alteração da eficiência sináptica é a base do aprendizado, através do seguinte postulado: "Quando uma célula 'A' está suficientemente próxima para excitar uma célula 'B' e, repetida ou persistentemente toma parte no disparo desta, algum processo de crescimento ou mudança metabólica ocorre em uma ou ambas as células, de modo que a eficiência de 'A' em excitar 'B' é aumentada". Então, segundo Hebb, uma determinada conexão somente é reforçada se tanto as células pré-sinápticas quanto as pós-sinápticas estiverem excitadas.



Em 1957, Roseblatt mostra o modelo dos 'Perceptrons'. Nele, os elementos processadores (neurônios) estão organizados em duas camadas (uma para entrada e outra para saída) totalmente conectadas entre si (ver Figura 3.3).

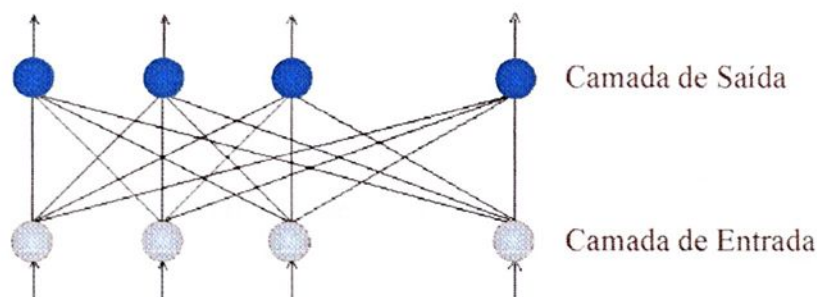


FIGURA 3.3 - Perceptrons, de Roseblatt.

Estas conexões eram direcionadas da camada de entrada para a de saída. Roseblatt observou que o problema era como achar os pesos apropriados das conexões entre cada elemento processador (eficiência sináptica estabelecida entre o neurônio pré-sináptico e o pós-sináptico). Para solucioná-lo, ele criou um algoritmo que alterava estes pesos, de modo a realizar a computação desejada, que foi denominado 'algoritmo de aprendizado'.

Assim, cada um dos elementos processadores possui uma função degrau de ativação, e calcula sua saída a partir de uma soma ponderada de suas entradas. Ou seja, a saída s_j representa o resultado da soma das n entradas de um elemento processador j .

$$s_j = \sum_{i=0}^n u_i \cdot W_{ji} \quad \text{eq. (3.3)}$$

onde:

u_i - estado de ativação do elemento processador i

W_{ji} - peso da conexão entre i e j

Cada u_j é dado por :

$$\begin{aligned} u(j) &= 0, \quad \text{se } s(j) \leq 0 \\ u(j) &= 1, \quad \text{se } s(j) > 0 \end{aligned} \quad \text{eq. (3.4)}$$

Os *perceptrons* funcionam como classificadores de padrões binários (0/1). A atualização dos pesos da única camada ajustável de conexões pode ser feita por diferentes regras de aprendizado, porém, todas utilizando o mesmo princípio, conforme mostra a equação 3.5.

$$W_{ji} = W_{ji} + \eta \cdot (t_j - u_j) \cdot u_i \quad \text{eq. (3.5)}$$

onde:

W_{ji} - peso da conexão entre i e j

u_i - valor da saída do elemento i

u_j - saída do elemento j

t_j - saída desejada do elemento j

η - constante denominada 'taxa de aprendizado'

De acordo com este princípio, quando a saída desejada for maior do que a saída real, a taxa de aprendizado é adicionada ao peso, caso contrário, é subtraída. Se a saída real for igual à desejada, não há mudanças no peso.

Em 1959/60, Widrow & Hoff criam o *adaline* (abreviação de ‘advaptive linear neurone’), composto de elementos processadores similares aos *perceptrons*. Logo em seguida criam também o *madaline* (abreviação de ‘multilayer adaline’), que possui uma arquitetura onde dois ou mais elementos processadores tipo *adaline* são utilizados como entrada para um outro elemento tipo *madaline*, cuja saída nada mais é do que a resposta de maior incidência entre os *adalines*, criando a primeira arquitetura de três camadas (ver Figura 3.4).

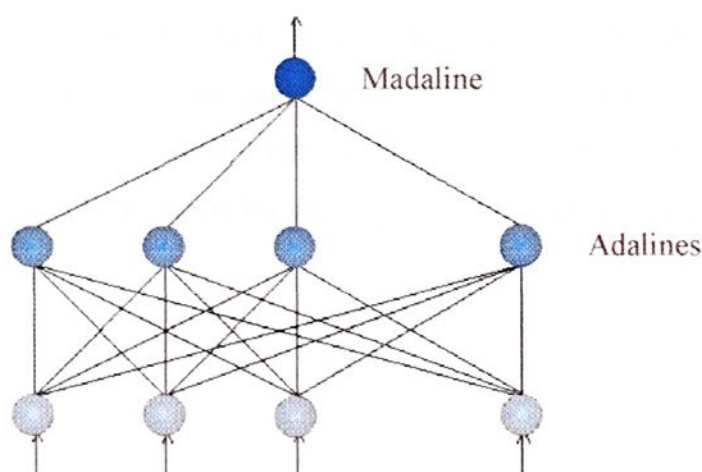


FIGURA 3.4 - Madaline, de Widrow & Hoff.

O modelo *adaline* é similar ao *perceptron*. Os elementos processadores também são binários, porém, variam em $\{-1,1\}$, ou seja, embora o *adaline* funcione como uma soma ponderada de suas entradas, sua saída é dada por:

$$\begin{aligned} u(j) &= -1, \text{ se } s(j) < 0 \\ u(j) &= 1, \text{ se } s(j) \geq 0 \end{aligned} \quad \text{eq. (3.6)}$$

Em 1966, Minsky publica seu livro "Perceptrons", divulgando as limitações dos *perceptrons*. Cada unidade de saída só poderia classificar entradas linearmente separáveis e não conseguiria nem mesmo aprender a resolver problemas simples como a função XOR (ou-exclusivo). Poucos pesquisadores, como Werbos, Anderson e Grossberg, continuaram as pesquisas na área, porém, sem o interesse outrora legado pelos demais pesquisadores da comunidade científica internacional.

Em 1982, a partir da publicação dos trabalhos de Hopfield, que aplicava redes neurais em otimização, o interesse na área tornou a crescer. Ele apresentou um novo modelo de rede no qual todos os elementos processadores estavam totalmente interconectados entre si, como mostrado na Figura 3.5.

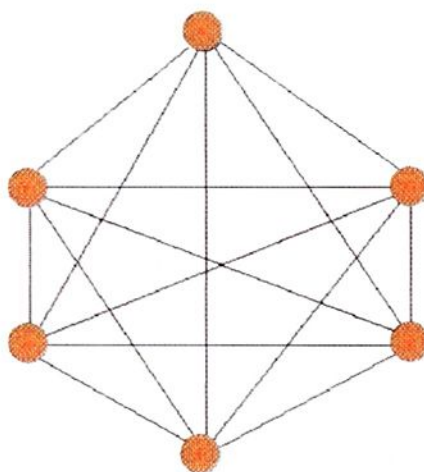


FIGURA 3.5 - Rede de Hopfield.

O modelo desenvolvido por Hopfield era essencialmente distinto de seus predecessores. Este tipo de topologia tornava a rede recursiva pois a saída de cada elemento servia como entrada para todas as demais unidades. Era necessário, então, garantir que a rede chegasse à estabilidade na ausência de entradas externas. Para tanto, Hopfield associou o estado da rede a uma 'função de energia' definida por:

$$E = -\frac{1}{2} \sum_j \sum_{i(i \neq j)} T_{ji} \cdot u_j \cdot u_i \quad \text{eq. (3.7)}$$

Demonstra-se que a rede de Hopfield funciona de modo a minimizar esta função de energia, até alcançar um estado onde ela seja mínima (estável). Isto é possível desde que o procedimento de atualização somente reduza (ou mantenha) o valor desta função. Este, no entanto, não garante achar o mínimo global de energia, pois, avançar em direção a um estado de menor energia que o anterior, pode levar a um mínimo local da mesma (ver Figura 3.6).

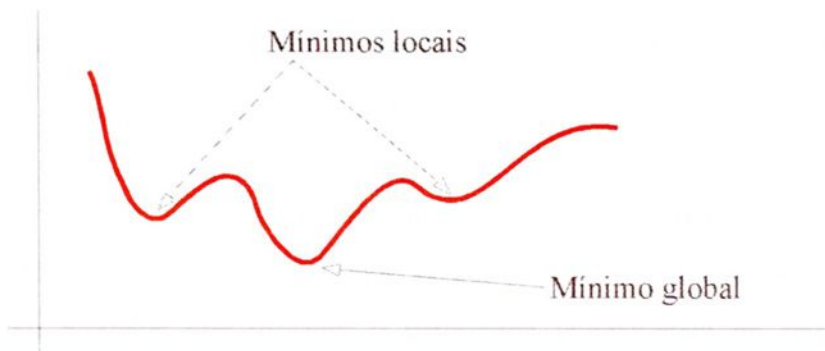


FIGURA 3.6 - Mínimos locais de uma função genérica.

As redes de Hopfield funcionam como uma memória associativa, onde cada padrão a ser memorizado deve ser escolhido à priori e associado a um mínimo da função de energia da rede. Porém, na prática, o efeito dos mínimos locais faz com que o padrão retornado não necessariamente seja o mesmo do padrão desejado e sim outro qualquer (correspondente a um mínimo local). Um outro efeito colateral ainda pior é que este mínimo local pode não corresponder a nenhum padrão desejado de memória.

3.5. PROCESSOS DE APRENDIZAGEM E ALGORITMOS DE TREINAMENTO

3.5.1. CONCEITOS

Existem muitas referências sobre a aplicação de redes neurais na resolução de diversos problemas, porém, a maioria refere-se à aplicação de um único tipo de rede (*backpropagation*) cujo desempenho já foi testado e aprovado em determinadas aplicações. Ao contrário do que se imagina, cada modelo de rede possui diferentes propriedades que, devido a características inerentes, as tornam adequadas à resolução de determinada classe de problemas. Estes conceitos são de grande valia para a compreensão dos paradigmas que serão apresentados, além de uniformizar os jargões utilizados na área.

O ‘paradigma conexionista’ procura entender e emular as propriedades decorrentes do alto grau de paralelismo e conectividade. As redes neurais são modelos que utilizam o paradigma conexionista na resolução de determinados tipos de problemas.

Uma rede neural é composta por um elevado número de elementos processadores, também denominados unidades de processamento,



amplamente conectados entre si. Cada uma das conexões interliga somente dois elementos processadores, geralmente em um único sentido, e possui um valor que determina o grau de conectividade entre estes, denominado peso da conexão.

Deste modo, todo o processamento é realizado distribuídamente entre os elementos processadores da rede, onde cada qual o realiza isolada e paralelamente, enviando seu resultado para outras unidades através das conexões entre eles. Por isso, as redes neurais também são conhecidas como sistemas de ‘processamento distribuído e paralelo’ (PDP).

A forma pela qual os elementos processadores estão interligados é denominada ‘topologia’ ou ‘padrão de interconexão’. Uma rede é dita ‘rígida’ ou fixa quando sua topologia não pode variar; caso contrário, é denominada flexível ou ‘plástica’, uma vez que poderá crescer e diminuir de acordo com a necessidade do sistema. As redes rígidas são mais simples e, conseqüentemente, as mais utilizadas. Um dos maiores problemas em sua utilização é determinar o número de elementos processadores a serem utilizados e a topologia das conexões entre eles. Apesar dos inúmeros artigos sobre este assunto, o método mais utilizado continua sendo o de tentativa e erro. Existem poucas redes plásticas conhecidas. Estas são particularmente úteis quando o problema não é conhecido ou quando ele varia no tempo.

Normalmente, uma rede é dita ‘estática’ quando o peso das conexões entre os elementos processadores não pode variar, caso contrário é denominada ‘dinâmica’. As redes estáticas são utilizadas na resolução de problemas conhecidos e equacionados. As redes dinâmicas possuem mecanismos de ‘aprendizado’, que possibilitam a modificação dos pesos de suas conexões de modo a melhorar seu desempenho. Geralmente, quando se quer implementar uma rede neural em hardware, utilizam-se redes estáticas. Porém, até chegar ao modelo estático ideal, utiliza-se uma rede dinâmica em software.

A dinâmica ou plasticidade da rede neural pode ser feita de dois modos distintos: (i) criação (ou remoção) de novos elementos e/ou conexões, e (ii) modificação nos elementos e/ou conexões existentes. Normalmente, modificam-se os pesos das conexões sem criar ou remover novos elementos. Porém, a modificação dos pesos pode ser considerada como um caso especial do modo (i), pois alterar o valor de uma conexão de zero para qualquer outro valor, equivale a criar uma nova conexão, e zerá-la equivale a eliminá-la. Embora isto não represente um grande problema do ponto de vista matemático, pode representar um sério problema na prática, pois os recursos computacionais são limitados e o tempo de processamento é proporcional à quantidade de recursos necessários.

A capacidade das redes neurais em resolver um determinado problema encontra-se embutida na topologia (padrão de interconexão) da rede. Ou seja, o modo pelo qual os elementos processadores estão interconectados e os pesos destas conexões determinam o problema que uma rede neural é capaz de resolver.

O processo de *síntese* de uma rede neural consiste em ‘inicializá-la’ de modo a ser capaz de resolver o problema ao qual se destina. A idéia dos métodos de síntese é gerar, de uma única vez, o padrão de interconexão capaz de resolvê-lo. Caso contrário, ela deve possuir algum processo de treinamento capaz de modificar gradualmente um padrão de interconexão inicial, de modo a adaptá-lo à resolução deste problema. A síntese de redes neurais é muito aplicada em problemas de otimização, cuja equação de resolução seja bem conhecida, enquanto o treinamento se aplica aos demais problemas. É importante ressaltar que as redes treináveis não estão livres do problema de síntese. A ‘inicialização’ dos pesos das conexões (síntese) pode ser um fator determinante do sucesso ou fracasso do treinamento destas na resolução de um problema.



Os mecanismos de aprendizado possibilitam a modificação do padrão de interconexão de uma rede neural, capacitando-a a resolver um determinado problema. Para treinar uma rede neural podem ser utilizados três mecanismos distintos de aprendizado: (a) o 'aprendizado supervisionado', quando são fornecidos integralmente os resultados desejados; (b) o 'aprendizado por reforço', quando apenas um parâmetro externo de comparação (ou medida relativa da adequação) é fornecido para saber se estão agindo corretamente ou erroneamente; e, (c) o 'aprendizado não-supervisionado', quando a própria rede é capaz de ajustar o seu funcionamento.

A maioria absoluta das aplicações existentes compõe-se de redes neurais com aprendizado supervisionado, que pode ser considerado como a capacidade que a rede possui de modificar o seu desempenho a partir da comparação entre a resposta obtida e a resposta desejada, conforme apresentado na Figura 3.7.

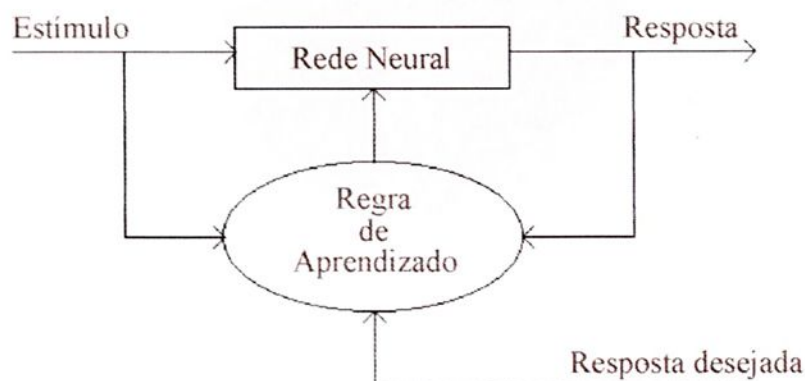


FIGURA 3.7 - Aprendizado em redes neurais supervisionadas.

O treinamento supervisionado do modelo de rede 'Perceptron', consiste em ajustar os pesos e a função degrau (*threshold*) de suas unidades para que a classificação desejada seja obtida. Para a adaptação da função degrau juntamente com os pesos, pode-se considerar o peso como sendo associado a uma conexão, cuja entrada é sempre igual a -1 , e adaptar o peso relativo a essa entrada.

Quando um padrão é inicialmente apresentado à rede, ela produz uma saída. Após medir a distância entre a resposta atual e a desejada, são realizados os ajustes apropriados nos pesos das conexões de modo a reduzir esta distância. Este procedimento é conhecido como 'Regra Delta' (ver Figura 3.8).

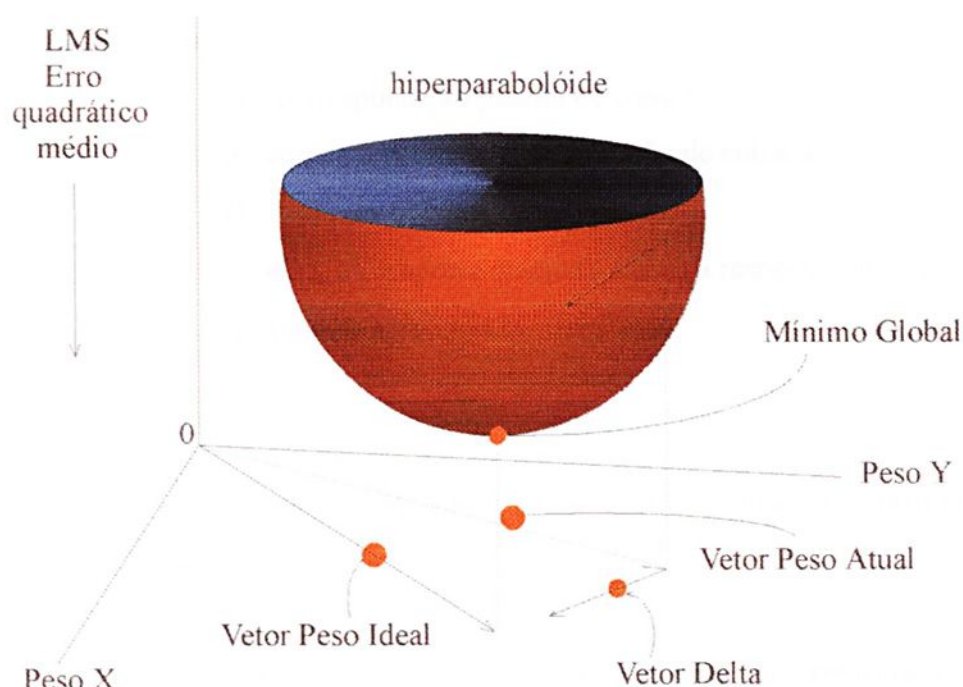


FIGURA 3.8 - Regra Delta.

Deste modo, tem-se o seguinte algoritmo básico de treinamento:

Iniciar todas as conexões com pesos aleatórios;

Repita até que o erro ϵ seja satisfatoriamente pequeno ($\epsilon = e$).

Para cada par de treinamento (X,d) , faça:

Calcular a resposta obtida O ;

Se o erro não for satisfatoriamente pequeno $\epsilon > e$,
então:

Atualizar pesos:

$$W_{\text{novo}} = W_{\text{anterior}} + \eta \cdot \epsilon \cdot X \quad \text{eq. (3.8)}$$

onde:

X - corresponde ao padrão de entrada

d - resposta desejada para o padrão de entrada X

O - resposta obtida

ϵ - erro, ou resposta desejada menos a resposta obtida ($d - O$)

η - taxa de aprendizado

A taxa de aprendizado η é uma constante positiva e corresponde à velocidade do aprendizado.

A Figura 3.9 apresenta um esquema do treinamento do *Perceptron*.

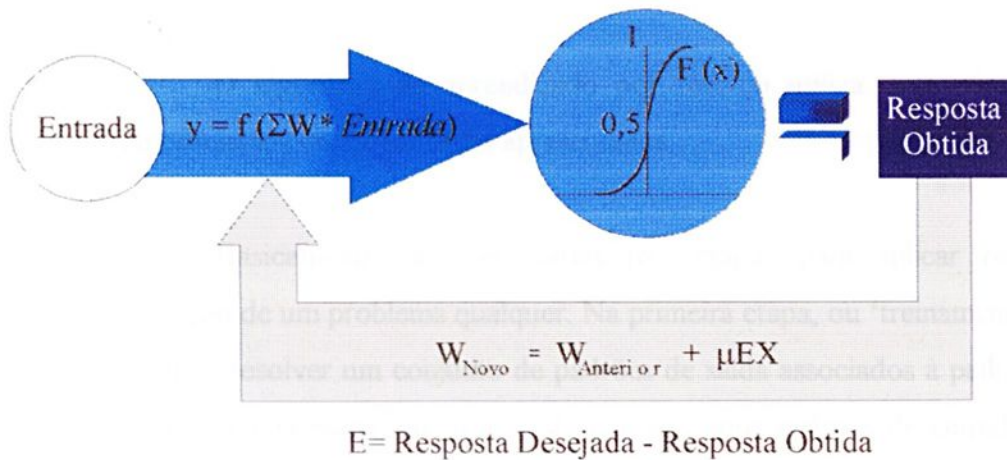


FIGURA 3.9 - Esquema de treinamento do *Perceptron*.

As respostas geradas pelas unidades são calculadas através de uma função de ativação. Existem vários tipos de funções de ativação, as mais comuns são a função rampa, a função degrau, a função degrau bipolar, a função sinal, entre outras.

As redes que utilizam o treinamento não-supervisionado, por sua vez, têm a capacidade de determinar uma correlação entre os possíveis padrões de entrada e são particularmente úteis nos problemas em que as entradas variam com o tempo de forma conhecida. Podemos considerar este mecanismo de aprendizado como sendo a capacidade que a rede possui de abstrair correlações entre os estímulos de modo a obter as respostas desejadas, conforme a Figura 3.10.

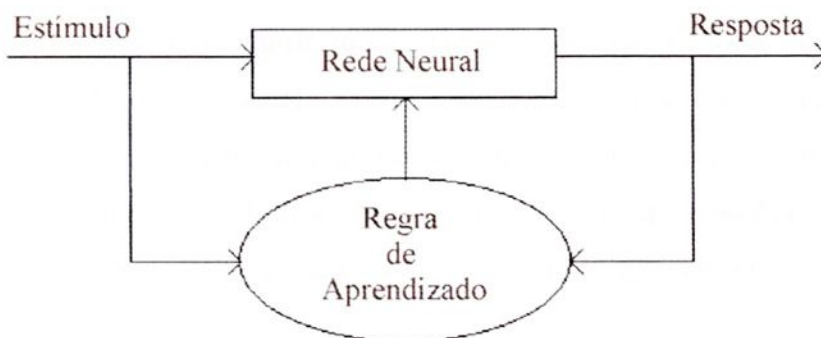


FIGURA 3.10 - Aprendizado em redes neurais não-supervisionadas.

O algoritmo de aprendizado por reforço utiliza uma mistura desses dois mecanismos de aprendizado apresentados.

Basicamente são necessárias três etapas para aplicar redes neurais à resolução de um problema qualquer. Na primeira etapa, ou ‘treinamento’, ensina-se a rede a resolver um conjunto de padrões de saída associados à padrões de entrada. Na segunda etapa, ou ‘teste’, são apresentados padrões de entrada à rede, e as saídas obtidas são comparadas às saídas desejadas. Na terceira etapa, ou ‘aplicação’, a rede aprovada é utilizada na resolução do problema. A primeira etapa é a única em que há aprendizado e o processo como um todo pode se repetir até que a rede obtenha resultados satisfatórios. Normalmente, as etapas mencionadas compõem o ‘ciclo de vida’ de uma rede neural, porém, nem todos os tipos de redes utilizam este ‘ciclo de vida’.

Teoricamente, o processo de ‘inicialização’ de uma rede neural pode ser ignorado, ou seja, a determinação da topologia e os valores iniciais dos pesos das conexões podem ser adotados aleatoriamente. Porém, a prática tem mostrado que estes aspectos são fundamentais para seu desempenho. Assim, prefere-se chamar a resolução destes problemas de etapa zero, ou ‘síntese’.

Note-se que a interação entre as etapas é sempre controlada empiricamente, não existindo uma metodologia de desenvolvimento de redes neurais. Existe também um outro tipo de ‘ciclo de vida’ que pode ser comparado à prototipação. Isto ocorre quando a rede é capaz de aprender mesmo durante sua etapa de aplicação, situação na qual a rede é dita ‘evolutiva’, pois o aprendizado continua indefinidamente. Porém esta mesma denominação também pode ser aplicada às redes que modificam sua topologia durante o aprendizado.



O modelo de elemento processador normalmente possui n entradas e uma única saída (ver Figura 3.11) e seu processamento consiste em transferir para sua saída um valor calculado a partir de outros valores presentes em suas entradas, através de uma função denominada ‘função de transferência’.

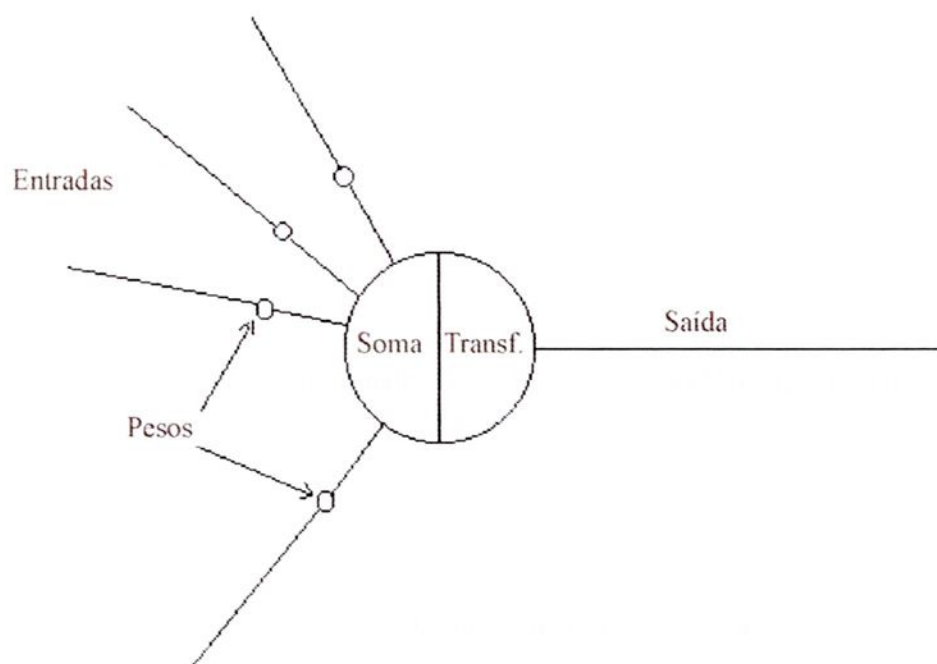


FIGURA 3.11 - Modelo simplificado de um elemento processador.

Usualmente, as entradas são combinadas por uma simples soma ponderada e transferidas para a saída através de uma função degrau :

$$\text{saída} = \text{degrau}(\sum \text{entradas} * \text{peso}) \quad \text{eq. (3.9)}$$

Existem outras funções de transferência além da função degrau (*threshold*), como a função 'linear' e a função 'sigmóide', todas apresentadas na figura 3.12.

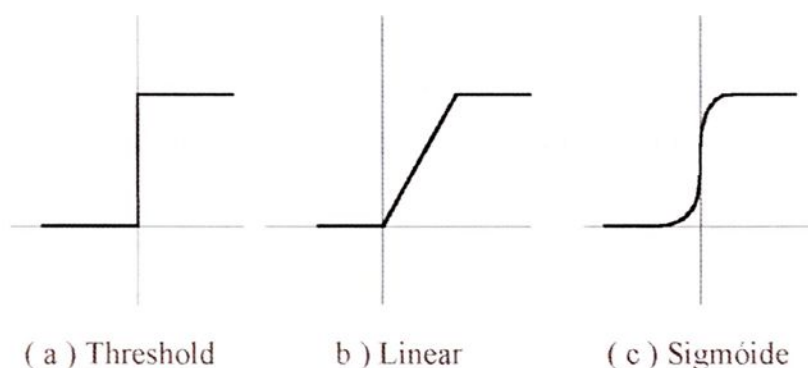


FIGURA 3.12 - Funções de transferência. (a) degrau (*threshold*), (b) linear e (c) sigmóide.

O valor da saída de um elemento processador em um instante de tempo é denominado 'estado de ativação do elemento processador'. O conjunto dos estados de ativação de cada um dos elementos processadores de uma rede neural é denominado 'função de ativação da rede neural' ou 'estado de ativação da rede neural'.

Os elementos processadores são, geralmente, agrupados em pelo menos duas camadas. Uma camada para apresentação dos dados à rede (camada de entrada) e outra para obtenção dos resultados (camada de saída). A maior parte dos modelos possui, além destas, uma ou mais camadas intermediárias, também denominadas camadas escondidas.

As camadas são processadas no sentido da camada de entrada para a de saída, de modo que à cada padrão de entrada corresponderá um padrão

de saída. Normalmente, não existe conexão entre os elementos de uma mesma camada. Esses elementos se conectam com os elementos das camadas imediatamente anterior e posterior (ver Figura 3.13). Porém, em alguns modelos, os elementos se conectam internamente na camada, ou com camadas não adjacentes.

O número de elementos em uma camada pode variar de um único até todos os elementos processadores de uma rede neural (como na rede de Hopfield).

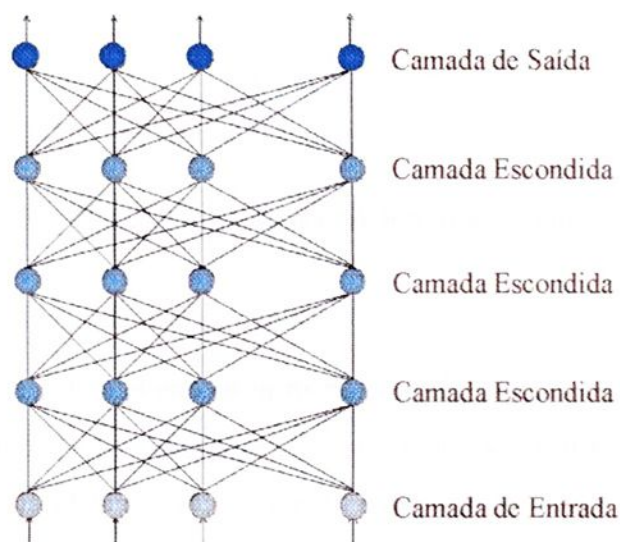


FIGURA 3.13 - Rede neural de cinco camadas.

Uma rede neural pode ser considerada basicamente como uma associadora de padrões. Se os padrões de entrada forem iguais aos padrões de saída desejados, a rede é denominada 'auto-associativa' (ver Figura 3.14), caso contrário, é denominada 'hetero-associativa' (ver Figura 3.15).

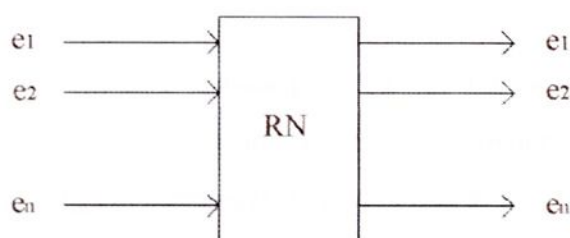


FIGURA 3.14 - Rede neural auto-associativa.

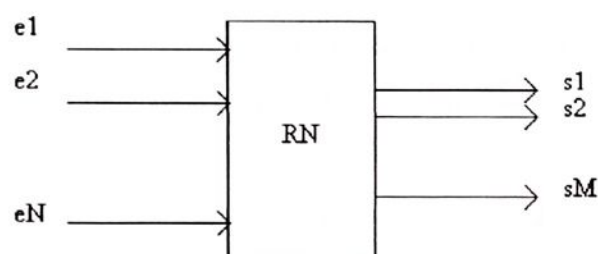


FIGURA 3.15 - Rede neural hetero-associativa.

É possível encontrar na bibliografia outras classificações de redes neurais tais como ‘auto-associador’, ‘associador de padrões’, ‘classificador’, ‘detetor de regularidades’, etc., porém, este trabalho será restrito às duas classificações acima, que representam os dois extremos possíveis.

Os padrões são processados de acordo com a topologia das redes neurais, que dividem-se em dois tipos distintos: ‘redes sem realimentação’ (*feed-forward*, não-recursivas, direcionadas) e ‘redes com realimentação’ (realimentadas, recursivas). Nas redes sem realimentação, a informação flui em algum sentido, de modo que ao ser processada por um elemento, não mais retorne a ele. Já nas redes com realimentação, a informação processada por um elemento, poderá ser novamente utilizada por este. Esta nomenclatura é análoga àquela utilizada em circuitos elétricos e eletrônicos.

A representação gráfica proporciona um meio de saber se uma rede neural possui ou não realimentação. As redes sem realimentação podem ser representadas graficamente por um diagrama acíclico, já as redes realimentadas são representadas por diagramas que possuem ciclos.

As redes sem realimentação só possuem uma memória de curtíssimo prazo, sendo as únicas informações armazenadas, aquelas relativas ao processamento imediatamente anterior de cada elemento. Nelas, os padrões de entrada são processados até originarem os padrões de saída, e pode-se garantir que a rede chegará ao estado final após o processamento de seus elementos.

Em uma rede realimentada é necessário algum mecanismo capaz de garantir que ela oscilará até atingir um estado estável nas suas saídas em um determinado intervalo de tempo.

Observa-se que existe uma certa confusão entre redes realimentadas ou não-realimentadas e, redes auto-associativas ou hetero-associativas. Isto deve-se ao fato de que, normalmente, as redes hetero-associativas utilizam uma topologia sem realimentação (e.g. *back-propagation*), enquanto que as auto-associativas utilizam topologia com realimentação (e.g. Hopfield).

3.5.2. ALGORITMO 'BACK-PROPAGATION'

Em 1986 Rumelhart e McClelland publicam dois volumes do mais utilizado livro no assunto: *Parallel Distributed Processing*. Nele, foi divulgado por Rumelhart um modelo desenvolvido por Werbos (1974), e reinventado independentemente por Parker (1982), denominado *Back-*



Propagation. Apesar de parecer, em muito, com seu antecessor *Perceptrons*, difere deste por permitir a utilização de mais de duas camadas de elementos processadores (ver Figura 3.16) sendo, por isso, conhecido também como ‘Perceptron Multi-Camadas’, ou seja, além das camadas de entrada e saída, podem ser acrescentadas uma ou mais camadas intermediárias (ou escondidas).

Neste modelo, os elementos processadores estão organizados em camadas, estando cada elemento de uma camada amplamente conectado à camada subsequente. O padrão apresentado é propagado até a camada de saída (*forward-propagation*), onde é calculado o erro entre a saída obtida e a saída desejada de cada elemento processador da camada de saída, como mostra a equação 3.10.

$$\epsilon_j = t_j - u_j \quad \text{eq. (3.10)}$$

onde:

ϵ_j - erro de um elemento j

t_j - saída desejada

u_j - saída obtida

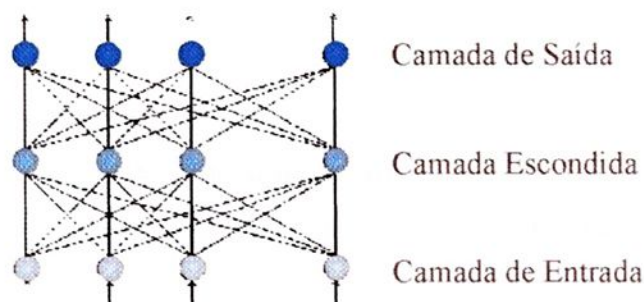


FIGURA 3.16 - Perceptron multi-camadas.

Este erro é então propagado de volta (*backward*) para os elementos conectados a j através dos respectivos pesos das conexões. Assim, o erro para cada elemento j (que não pertença à última camada) pode ser calculado através da soma ponderada de cada um dos k erros ϵ_k propagados através da conexão W_{kj} .

$$\epsilon_j = \sum_k \epsilon_k \cdot W_{kj} \quad \text{eq. (3.11)}$$

onde:

ϵ_j - erro de um elemento j

ϵ_k - erro de um elemento k

W_{kj} - peso da conexão entre k e j

k - número de elementos conectados a j

A variação dos pesos é dada por:

$$\Delta W_{ji} = \eta \cdot \epsilon_j \cdot u_i \quad \text{eq. (3.12)}$$

onde:

ΔW_{ji} - variação do erro

η - coeficiente (ou taxa) de aprendizado

A utilização deste algoritmo denominado *backward-error-propagation*, permitiu treinar redes neurais que possuem camadas intermediárias,

resolvendo a principal limitação dos 'Perceptrons'. Este é o paradigma de redes neurais mais utilizado em todo o mundo, e têm sido aplicado com sucesso nas mais diversas áreas.

Desde então, a maior parte das pesquisas na área tem se dedicado a utilizar variações dos modelos existentes em diversas aplicações. Esta tarefa foi facilitada com o advento de ferramentas (principalmente simuladores) para a experimentação destes modelos. Dentre os principais modelos que surgiram neste período podem ser destacados o *Brain-State-in-a-Box (BSB)* de Anderson, o *Self-Organization-Map (SOM)* de Kohonen e a *Adaptive Resonance Theory (ART)* de Grossberg.

3.6. A REDE PERCEPTRON MULTI-CAMADAS (PMC)

Quando redes neurais artificiais de uma só camada são utilizadas, os padrões de treinamento apresentados à entrada são mapeados diretamente em um conjunto de padrões de saída da rede, ou seja, não é possível a formação de uma representação interna. Neste caso, a codificação proveniente do mundo exterior deve ser suficiente para implementar esse mapeamento.

Tal restrição implica que padrões de entrada similares resultem em padrões de saída similares, o que leva o sistema à incapacidade de aprender importantes mapeamentos. Como resultado, padrões de entrada com estruturas similares, fornecidos do mundo externo, que levem a saídas diferentes, não são possíveis de serem mapeados por redes sem representações internas, isto é, sem camadas intermediárias. Um exemplo clássico deste caso é a função ou-exclusivo (XOR).



Minsky e Papert analisaram matematicamente o 'Perceptron' e demonstraram que redes de uma camada não são capazes de solucionar problemas que não sejam linearmente separáveis. Como não acreditavam na possibilidade de se construir um método de treinamento para redes com mais de uma camada, eles concluíram que as redes neurais seriam sempre suscetíveis a essa limitação.

Contudo, o desenvolvimento do algoritmo de treinamento *backpropagation*, por Rumelhart, Hinton e Williams (1986), precedido por propostas semelhantes ocorridas nas décadas de 1970 e 1980, mostrou que é possível treinar eficientemente redes com camadas intermediárias, resultando no modelo de redes neurais artificiais mais utilizado atualmente, as redes Perceptron Multi-Camadas (PMC) treinadas com o algoritmo *backpropagation*.

Nessas redes, cada camada tem uma função específica. A camada de saída recebe os estímulos da camada intermediária e constrói o padrão que será a resposta. As camadas intermediárias funcionam como extratoras de características, seus pesos são uma codificação de características apresentadas nos padrões de entrada, e permitem que a rede crie sua própria representação, mais rica e complexa do problema.

Se existirem as conexões certas entre as unidades de entrada e um conjunto suficientemente grande de unidades intermediárias, pode-se sempre encontrar a representação que irá produzir o mapeamento correto da entrada para a saída através das unidades intermediárias (ver Figura 3.17).

Como provou Cybenko, a partir de extensões do Teorema de Kolmogoroff, são necessárias no máximo duas camadas intermediárias, com um número suficiente de unidades por camada, para se produzir quaisquer mapeamentos. Também foi provado que apenas uma camada intermediária é suficiente para aproximar qualquer função contínua.



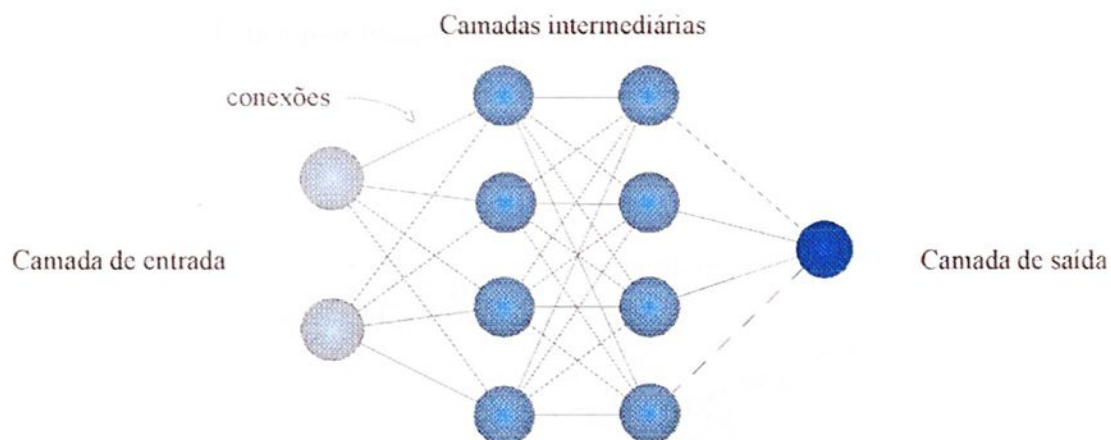


FIGURA 3.17 - Camadas de uma rede neural.

Durante o treinamento com o algoritmo *backpropagation* a rede opera em uma sequência de dois passos. Primeiro, um padrão é apresentado à camada de entrada da rede. A atividade resultante flui através da rede, camada por camada, até que a resposta seja produzida pela camada de saída. No segundo passo, a saída obtida é comparada à saída desejada para esse padrão particular. Se esta não estiver correta, o erro é calculado. O erro é propagado a partir da camada de saída até a camada de entrada, e os pesos das conexões das unidades das camadas internas vão sendo modificados conforme o erro é retropropagado.

As redes que utilizam *backpropagation* trabalham com uma variação da regra delta, apropriada para redes multi-camadas, qual seja, a regra delta generalizada. A regra delta padrão essencialmente implementa um gradiente descendente no quadrado da soma do erro para funções de ativação lineares. Redes sem camadas intermediárias, podem resolver problemas onde a superfície de erro tem a forma de um parabolóide com apenas um mínimo. Entretanto, a superfície do erro pode não ser tão simples, como a ilustrada na Figura 3.18, e suas derivadas serem mais difíceis de serem calculadas. Nestes casos devem ser utilizadas redes

com camadas intermediárias. Ainda assim, as redes ficam sujeitas aos problemas de procedimentos de mínimos locais (*hill-climbing*).

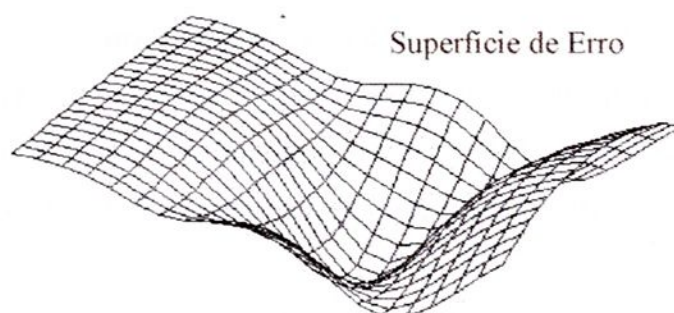


FIGURA 3.18 - Exemplo de superfície de erro.

A regra delta generalizada funciona quando são utilizadas na rede unidades com uma função de ativação semi-linear, que é uma função diferenciável e não decrescente. Note que a função degrau (*threshold*) não se enquadra nesse requisito. Uma função de ativação amplamente utilizada nestes casos é a função sigmóide.

A taxa de aprendizado é uma constante de proporcionalidade no intervalo $[0,1]$, pois este procedimento de aprendizado requer apenas que a mudança no peso seja proporcional à η .

Entretanto, o verdadeiro gradiente descendente requer que sejam tomados passos infinitesimais. Assim, quanto maior for essa constante, maior será a mudança nos pesos, aumentando a velocidade do aprendizado, o que pode levar a uma oscilação do modelo na superfície de erro. O ideal seria utilizar a maior taxa de aprendizado possível que não levasse a uma oscilação, resultando em um aprendizado mais rápido.

O treinamento das redes PMC com *backpropagation* (ver Figura 3.19) pode demandar muitos passos no conjunto de treinamento, resultando um tempo de treinamento consideravelmente longo. Se for encontrado um mínimo local, o erro para o conjunto de treinamento pára de diminuir e estaciona em um valor maior que o aceitável. Uma maneira de aumentar a taxa de aprendizado, sem levar à oscilação, é modificar a regra delta generalizada para incluir o termo 'momentum', que é uma constante que determina o efeito das mudanças passadas dos pesos na direção atual do movimento no espaço de pesos.

Desta forma, o termo 'momentum' leva em consideração o efeito de mudanças anteriores de pesos na direção do movimento atual no espaço de pesos. O termo 'momentum' torna-se útil em espaços de erro que contenham longas gargantas, com curvas acentuadas ou vales com descidas suaves, como o apresentado na Figura 3.18.

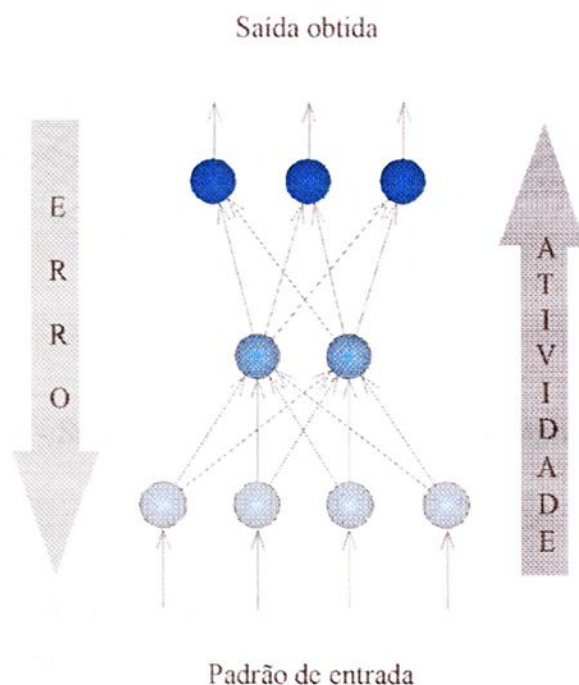


FIGURA 3.19 - Esquema de treinamento *backpropagation*.

Reiterando, o treinamento supervisionado da rede PMC utilizando *backpropagation* ocorre com a apresentação inicial de um padrão às unidades da camada de entrada e a partir desta camada, as unidades calculam sua resposta que é produzida na camada de saída, e o erro é calculado. Em seguida, este erro é propagado a partir da camada de saída até a camada de entrada, e os pesos das conexões das unidades das camadas internas vão sendo modificados utilizando a regra delta generalizada.

Estes procedimentos podem ser visualizados na Figura 3.19, que apresenta o esquema básico do treinamento de uma rede do tipo Perceptron Multi-Camadas (PMC) através do algoritmo *backpropagation*.

Com isso o erro vai sendo progressivamente diminuído, como pode ser observado na Figura 3.20.

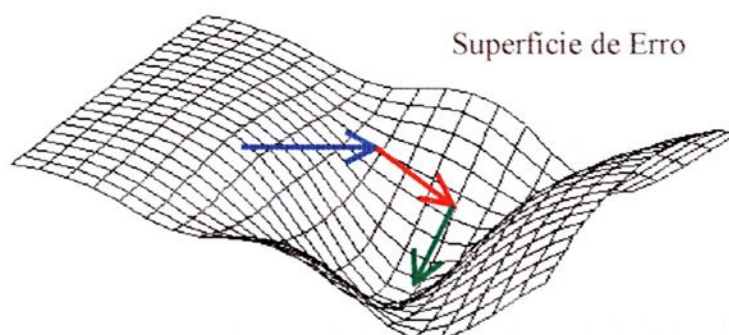


FIGURA 3.20 - Superfície de erro e treinamento *backpropagation*.

Depois que a rede estiver treinada e o erro estiver em um nível satisfatório, ela poderá ser utilizada como uma ferramenta para classificação de novos dados. Para isto, a rede deverá ser utilizada apenas no modo progressivo (*feed-forward*), ou seja, novas entradas são apresentadas à camada de entrada, são

processadas nas camadas intermediárias e os resultados são apresentados na camada de saída, como no treinamento, mas sem a retropropagação do erro. A saída apresentada é o modelo dos dados, na interpretação da rede (ver Figura 3.21).

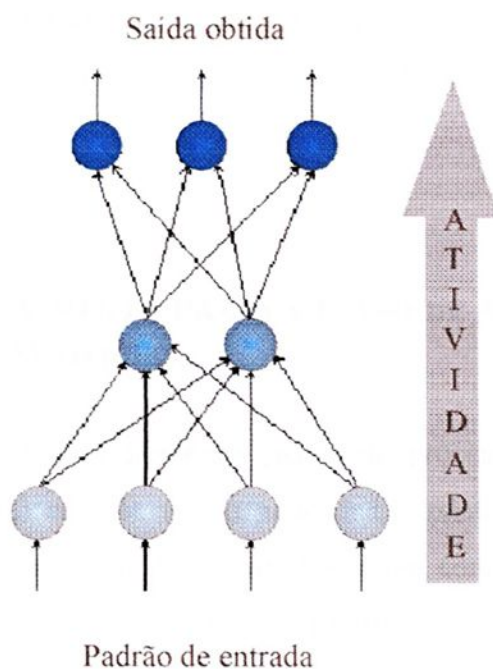


FIGURA 3.21 - Utilização da rede PMC.

Uma outra limitação refere-se ao tempo de treinamento de redes neurais utilizando *backpropagation*, que tende a ser muito lento. Algumas vezes são necessários milhares de ciclos para se chegar à níveis de erros aceitáveis, principalmente se estiver sendo simulado em computadores seriais, pois a CPU deve calcular as funções para cada unidade e suas conexões separadamente, o que pode ser problemático em redes muito grandes, ou com grande quantidade de dados. Muitos estudos estão sendo realizados para implementação de redes neurais em computadores paralelos.

É muito difícil definir a arquitetura ideal da rede, de forma que ela seja tão grande quanto o necessário para conseguir obter as representações necessárias, ao mesmo tempo pequena o suficiente para se ter um treinamento mais rápido. Não existem regras claras para se definir quantas unidades devem existir nas camadas intermediárias, quantas camadas, ou como devem ser as conexões entre essas unidades. Para resolver este tipo de problema, Algoritmos Genéticos poderiam ser utilizados para encontrar automaticamente boas arquiteturas de redes neurais, eliminando muitas armadilhas associadas às abordagens de engenharia humana.

3.7. DESENVOLVIMENTO PASSO A PASSO DE APLICAÇÕES DE REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS

Os dois primeiros passos do processo de desenvolvimento de redes neurais artificiais são a coleta de dados relativos ao problema e a sua separação em um conjunto de treinamento e um conjunto de testes. Esta tarefa requer uma análise cuidadosa sobre o problema, para minimizar ambigüidades e erros nos dados. Além disso, os dados coletados devem ser significativos e cobrir amplamente o domínio do problema; não devem cobrir apenas as operações normais ou rotineiras, mas também as exceções e as condições nos limites do domínio do problema.

Normalmente, os dados coletados são separados em duas categorias: (a) dados de treinamento, que serão utilizados para o treinamento da rede e (b) dados de teste, que serão utilizados para verificar sua performance sob condições reais de utilização. Além dessa divisão, pode-se usar também uma subdivisão do conjunto de treinamento, criando um conjunto de validação, utilizado para verificar a eficiência da rede quanto a sua capacidade de



generalização durante o treinamento, e podendo ser empregado como critério de parada do treinamento.

Depois de determinados estes conjuntos, eles são, geralmente, colocados em ordem aleatória para prevenção de tendências associadas à ordem de apresentação dos dados. Além disso, pode ser necessário pré-processar estes dados, através de normalizações, escalonamentos e conversões de formato para torná-los mais apropriados à sua utilização na rede.

O terceiro passo é a definição da configuração da rede, que pode ser dividido em três etapas:

- 1) Seleção do paradigma neural apropriado à aplicação.
- 2) Determinação da topologia da rede a ser utilizada - o número de camadas, o número de unidades em cada camada, etc.
- 3) Determinação de parâmetros do algoritmo de treinamento e funções de ativação. Este passo tem um grande impacto na performance do sistema resultante.

Existem metodologias, dicas e truques na condução destas tarefas. Frequentemente estas escolhas são feitas de forma empírica. A definição da configuração de redes neurais é ainda considerada uma arte, que requer grande experiência dos projetistas.

O quarto passo é o treinamento da rede. Nesta etapa, seguindo o algoritmo de treinamento escolhido, serão ajustados os pesos das conexões. É importante considerar alguns aspectos tais como a inicialização da rede, o modo de treinamento e o tempo de treinamento.



Uma boa escolha dos valores iniciais dos pesos da rede pode diminuir o tempo necessário para o treinamento. Habitualmente, os valores iniciais dos pesos da rede são números aleatórios, uniformemente distribuídos em um intervalo definido. A escolha errada destes pesos pode levar a uma saturação prematura. Nguyen e Widrow encontraram uma função que pode ser utilizada para determinar valores iniciais melhores que valores puramente aleatórios.

Quanto ao tempo de treinamento, vários fatores podem influenciar a sua duração, porém sempre será necessário utilizar algum critério de parada. O critério de parada do algoritmo *backpropagation* não é bem definido, e geralmente é utilizado um número máximo de ciclos. Mas, deve ser considerada a taxa de erro médio por ciclo e a capacidade de generalização da rede. Pode ocorrer que em um determinado instante do treinamento, a generalização comece a degenerar, causando o problema de *over-training*, ou seja, a rede se especializa no conjunto de dados do treinamento e perde a capacidade de generalização.

O treinamento deve ser interrompido quando a rede apresentar uma boa capacidade de generalização e quando a taxa de erro for suficientemente pequena, ou seja, menor que um erro admissível. Assim, deve-se encontrar um ponto ótimo de parada com erro mínimo e capacidade de generalização máxima.

O quinto passo é o teste da rede. Durante esta etapa o conjunto de teste é utilizado para determinar a performance da rede com dados que não foram previamente utilizados. A performance da rede, medida nesta fase, é uma boa indicação de sua performance real.

Finalmente, com a rede treinada e avaliada, poderá ser integrada em um sistema do ambiente operacional da aplicação. Para maior eficiência da solução, este sistema deverá conter facilidades de utilização como: interface conveniente e facilidades de aquisição de dados através de planilhas eletrônicas,

interfaces com unidades de processamento de sinais, ou arquivos padronizados. Uma boa documentação do sistema e o treinamento de usuários são necessários para o sucesso do mesmo.

Além disso, o sistema deve periodicamente monitorar sua performance e fazer a manutenção da rede quando for necessário ou indicar aos projetistas a necessidade de retreinamento. Outras melhorias poderão ainda ser sugeridas quando os usuários forem se tornando mais familiares com o sistema, e estas sugestões poderão ser muito úteis em novas versões ou em novos produtos.

3.8. CONCLUSÕES PARCIAIS

Redes neurais artificiais apresentam desenvolvimento recente e um incremento significativo nos últimos anos, especialmente na modelagem computacional de fenômenos físicos que apresentam dificuldades para sua modelagem clássica. A arquitetura do Perceptron Multi-Camadas (PMC) tem se mostrado bastante útil para este tipo de utilização.

Inicialmente, quando se trabalha com redes neurais artificiais é importante efetuar seu desenvolvimento e implementação passo a passo, afim de compreender-se com exatidão o seu funcionamento, adquirindo assim a capacidade necessária para interpretação dos resultados, para efetuar os ajustes necessários à rede. Entretanto, este é um processo por demais demorado e trabalhoso, exigindo disponibilidade de tempo e meios computacionais.

Após a compreensão do *modus operandi* das redes neurais, torna-se muito mais prático e eficiente, a utilização de subrotinas já existentes e disponíveis para implementação de redes neurais e, dentre elas, destaca-se o *toolbox* de redes neurais artificiais existentes no software MATLAB versão



5.2.0.3084. Portanto, os passos seguintes no desenvolvimento deste trabalho deverão ser dados, já utilizando esta nova ferramenta, propiciando uma considerável redução no tempo de implementação e de treinamento da rede neural. Porém, todos os conceitos aqui explanados deverão ser utilizados, sejam eles relativos ao tipo de rede ou ao tipo de treinamento.

3.9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FREEMAN, W. J., YAO, Y. Chaos in the byodynamics of the pattern recognition by neural networks. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS, 1990, Washington. *Anais...* v. 1, pp. 243-246.
- [2] GOMIDE, F. A. C., GUDWIN, R. R. Modelagem, controle, sistemas e lógica nebulosa. *Revista Controle & Automação*, v. 4, n. 3, p. 97-115, 1994.
- [3] HAYKIN, S. *Neural networks - a comprehensive foundation*. New Jersey: Mc Millan Incorporation, 1994.
- [4] KOVÁCS, Z. L. *Redes neurais artificiais: fundamentos e aplicações*. São Paulo: Editora Collegium Cognitio e Edição Acadêmica, 1996.
- [5] MARTINO, M. B. *Redes Neurais*. Internet: <http://www.cepel.br/~martino/rn.htm>, pesquisado em 14/03/1999 a 01 h 30 min.
- [6] MENDES Fº, E. F. *Projeto Evolucionário de Arquiteturas Neurais*. Internet: <http://www.icmc.sc.usp.br/~prico/neural1.html>, pesquisado em 08/03/1999 as 22 h 30 min.
- [7] MENDES Fº, E. F. *Redes Neurais Artificiais*. Internet: <http://www.icmc.sc.usp.br/~prico/neural1.html>, pesquisado em 07/03/1999 as 17 h.
- [8] SILVA, I. N. *Fundamentos e Aplicações de Redes Neurais Artificiais*. Notas de aulas do curso de pós-graduação em engenharia industrial. UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, Campus de Bauru – SP, 2º semestre 1998.
- [9] TAGLIARINI, G. A., CHRIST, J. F., PAGE, E. W. Optimization using neural networks. *IEEE Trans. on Computers*, v. 12, p. 115-133, 1991.



Capítulo 4

ÍNDICE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA GLOBAL - IEEG

4.1. INTRODUÇÃO

De acordo com Ferreira (1994)^[4], “*Eficiência Energética* é um conceito generalizado para referir às medidas a implementar (ou implementadas), bem como os resultados alcançados na redução do crescimento da procura de energia ou, mais genericamente, na melhor utilização da energia”.

Também segundo este autor, “os indicadores de eficiência energética são estabelecidos através de relações e de variáveis que podem ser usadas com o objetivo de monitorar as variações e desvios na eficiência energética dos sistemas”.

Ainda de acordo com Ferreira (1994)^[4], os *Indicadores Descritivos* são “aqueles que caracterizam a situação energética sem procurar a justificação para as suas alterações ou desvios”.

Neste capítulo são feitas algumas considerações teóricas sobre sistemas de bombeamento de água de aquíferos e proposto o Índice de Eficiência Energética Global - IEEG para motobombas submersíveis aplicadas em aquíferos subterrâneos. Pretende-se que o índice ora apresentado seja um indicador descritivo da eficiência energética deste tipo de sistema de bombeamento.



4.2. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

A conceituação teórica para o Índice de Eficiência Energética Global proposto será apresentada a partir das equações clássicas que relacionam a potência absorvida da rede elétrica e os demais parâmetros envolvidos, a saber, vazão, altura manométrica e rendimentos.

A Figura 4.1 apresenta os componentes típicos de um sistema de captação de água através de poços profundos com a finalidade de abastecimento público, permitindo a identificação de seus componentes.

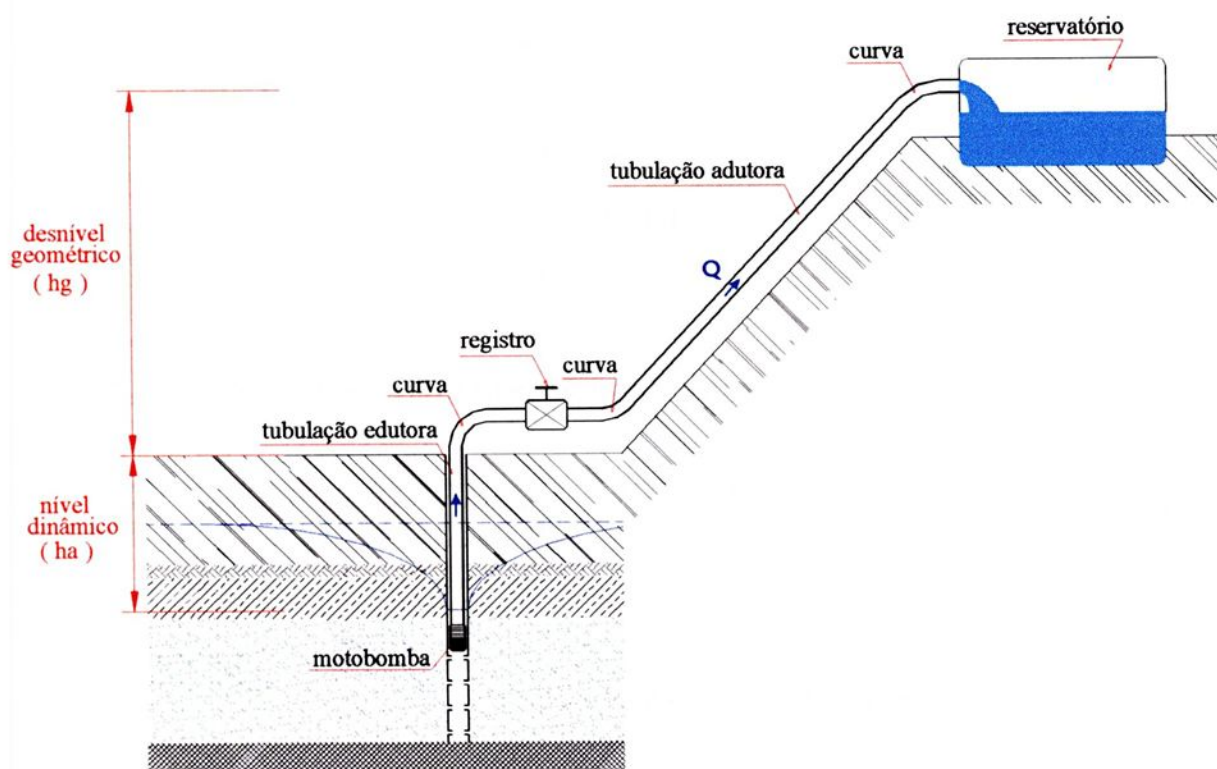


FIGURA 4.1 - Componentes de um sistema de bombeamento de água de aquífero.

Conforme apresentado por Azevedo Neto (1998)^[1], a potência de um conjunto elevatório motor-bomba é dado por:

$$P_{mb} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_T}{75 \cdot \eta_{mb}} \quad \text{eq. (4.1)}$$

onde:

P_{mb} - potência do conjunto motor-bomba (CV)

γ - peso específico da água (1000 kgf/m³)

Q - vazão (m³/s)

H_T - altura manométrica total (m)

η_{mb} - rendimento global do conjunto motor-bomba -
 $\eta_{motor} \cdot \eta_{bomba}$ (adimensional)

Sabendo-se que:

$$1 \text{ CV} \cong 736 \text{ watts}$$

$$1 \text{ m}^3/\text{s} = 1/3600 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\gamma = 1000 \text{ kgf/m}^3$$

e aplicando-se estes valores na equação 4.1, tem-se:

$$P_{mb} = \frac{2,726 \cdot Q \cdot H_T}{\eta_{mb}} \quad \text{eq. (4.2)}$$

onde:

P_{mb} - potência do conjunto motor-bomba (W)

Q - vazão (m³/h)

H_T - altura manométrica total (m)

η_{mb} - rendimento global do conjunto motor-bomba -
 $\eta_{motor} \cdot \eta_{bomba}$ (adimensional)

Conforme discutido no Capítulo 2 e apresentado na Figura 4.1, a altura manométrica total (H_T) em conjuntos elevatórios para extração de água de aquíferos subterrâneos é constituída por:

$$H_T = H_a + H_g + \Delta hf_t \quad \text{eq. (4.3)}$$

onde:

H_T - altura manométrica total (m)

H_a - nível dinâmico do aquífero no poço (m)

H_g - desnível geométrico entre a superfície do poço e o reservatório (m)

Δhf_t - perda de carga total no circuito hidráulico (m)

Analisando os componentes da altura manométrica total, nota-se que apenas a parcela correspondente ao desnível geométrico (H_g) poderá ser considerada constante, enquanto as outras duas serão variáveis ao longo do período de operação do poço.

O nível dinâmico (H_a) irá variar (rebaixar) desde o início do bombeamento até o momento de sua estabilização, caso a observação seja limitada a períodos relativamente curtos, como um mês por exemplo. Além desta variação, que poderá apresentar comportamento cíclico, é possível ocorrer outro tipo de variação devido a interferências de outros poços vizinhos ou alterações nas características do aquífero produtor.

A perda de carga total (Δhf_t) também irá variar durante o bombeamento, e esta é dependente das características do circuito hidráulico (diâmetro e comprimento da tubulação e acessórios hidráulicos, tais como curvas e

registros). Estas características poderão ser consideradas constantes, uma vez que normalmente não sofrem alterações depois de instaladas. Entretanto, a perda de carga total também é dependente de outras características do circuito hidráulico, que normalmente variam ao longo do período de vida útil de um poço profundo. Estas características variáveis são: (i) rugosidade da tubulação; (ii) vazão e (iii) problemas operacionais, tais como registros semi fechados, vazamentos, etc.

Observando-se novamente a Figura 4.1, conclui-se que toda a energia necessária para transportar a água do aquífero até o reservatório, superando todas perdas de cargas inerentes, é fornecida ao conjunto motor-bomba pela rede elétrica alimentadora.

Assim, aplicando estas considerações e a equação 4.3 na equação 4.2 tem-se:

$$P_{el} = \frac{2,726 \cdot Q \cdot (H_a + H_g + \Delta hf_t)}{\eta_{mb}} \quad \text{eq. (4.4)}$$

onde:

P_{el} - potência elétrica absorvida da rede (W)

Q - vazão (m^3 / h)

H_a - nível dinâmico do aquífero no poço (m)

H_g - desnível geométrico entre a superfície do poço e o reservatório (m)

Δhf_t - perda de carga total no circuito hidráulico (m)

η_{mb} - rendimento global do conjunto motor-bomba - $\eta_{motor} \cdot \eta_{bomba}$ (adimensional)

A partir da equação 4.4 e considerando que um índice de eficiência energética deve ser um indicador descritivo genérico, propõe-se o Índice de Eficiência Energética Global – IEEG, como:

$$IEEG = \frac{P_{el}}{Q \cdot (H_a + H_g + \Delta hf_t)} \quad \text{eq. (4.5)}$$

onde:

IEEG - índice de eficiência energética global proposto
(Wh/m³.m)

P_{el} - potência elétrica absorvida da rede (W)

Q - vazão (m³/h)

H_a - nível dinâmico do aquífero no poço (m)

H_g - desnível geométrico entre a superfície do poço e o
reservatório (m)

Δhf_t - perda de carga total no circuito hidráulico (m)

Observando-se a equação 4.5, nota-se que o IEEG irá depender da potência elétrica, da vazão, do nível dinâmico, do desnível geométrico e da perda de carga total do circuito hidráulico.

O rendimento do conjunto motobomba não faz parte do índice proposto porque seu comportamento será refletido inversamente pelo IEEG. Assim, quanto maior for o rendimento do conjunto motobomba (η_{mb}) menor será o número indicador do IEEG e vice-versa. Portanto, IEEG melhores serão aqueles que apresentarem menores valores numéricos.

Outra razão da não utilização do rendimento do conjunto motobomba para o cálculo do IEEG é a dificuldade que se apresenta para a obtenção prática deste valor, pois o mesmo é uma grandeza fictícia, não sendo passível de medição direta, mas sim, mediante uma relação entre outras grandezas.

Sua variação é notória durante seu ciclo de operação, pois como apresentado no Capítulo 2, após o início do bombeamento ocorre o rebaixamento do nível de água no interior do poço, a altura manométrica varia e, conseqüentemente também a vazão. Também ao longo da vida útil de um conjunto motobomba seu rendimento irá variar, seja em virtude do desgaste do equipamento, de incrustações na tubulação, vazamentos no circuito hidráulico, obstrução de filtros no interior do poço, registros fechados ou semi-fechados, etc.

Voltando à equação 4.5, e agrupando-se todos os termos com unidade em metros, tem-se a forma mais genérica do IEEG, qual seja:

$$\text{IEEG} = \frac{P_{el}}{Q \cdot H_T} \quad \text{eq. (4.6)}$$

onde:

IEEG - índice de eficiência energética global proposto
(Wh/m³.m)

P_{el} - potência elétrica absorvida da rede (W)

Q - vazão (m³/h)

H_T - altura manométrica total (m)

Definido desta forma unitária, poderá ser utilizado para a análise temporal de um mesmo poço profundo.



4.3. DETERMINAÇÃO DO IEEG

Para a determinação prática do Índice de Eficiência Energética Global – IEEG, será considerado inicialmente a possibilidade de realizar-se medições práticas de todas as grandezas possíveis e necessárias para seu cálculo a partir da equação 4.6.

Assim, a potência elétrica absorvida da rede de alimentação e a vazão extraída do aquífero são passíveis de medições práticas com certa facilidade, bastando para isso instalar-se medidores apropriados, podendo ser utilizados equipamentos portáteis.

A altura manométrica total, como apresentado na equação 4.3, é constituída das seguintes parcelas: H_a , que é o nível dinâmico do aquífero no poço; H_g , que é o desnível geométrico entre a superfície do solo junto ao poço e o reservatório; e Δhf_t , que é a perda de carga total no circuito hidráulico. O nível dinâmico é facilmente obtido na prática através de um equipamento portátil de medição, enquanto que o desnível geométrico é um dado de projeto do sistema de captação de água, e será constante para um determinado poço. Resta assim determinar-se a perda de carga total.

Esta perda de carga total, conforme discutido no Capítulo 2, pode ser dividida em duas partes, quais sejam, perda de carga distribuída e perda de carga localizada, conforme apresentado na equação 4.7.

$$\Delta hf_t = hf_d + \sum hf_L \quad \text{eq. (4.7)}$$



onde:

Δhf_i - perda de carga total no circuito hidráulico (m)

hf_d - perda de carga distribuída ao longo da tubulação (m)

Σhf_L - somatório das perdas de carga localizadas nos acessórios do circuito hidráulico (m)

A perda de carga distribuída ao longo de uma tubulação está representada na equação 2.25 e está transcrita na equação 4.8.

$$hf_d = L \cdot \frac{10,643}{C^{1,85}} \frac{Q^{1,85}}{D^{4,87}} \quad \text{eq. (4.8)}$$

onde:

hf_d - perda de carga ao longo da tubulação (m)

L - comprimento da tubulação (m)

Q - vazão do líquido (m^3/s)

D - diâmetro interno da tubulação (m)

C - coeficiente de Hazen-Williams e é adimensional

A Tabela 2.1 apresenta os valores médios para o coeficiente C de Hazen-Williams.

A perda de carga localizada em um dado acessório do circuito hidráulico está representada na equação 2.26 e em razão de sua importância para este momento, está transcrita na equação 4.9.

$$hf_L = K \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad \text{eq. (4.9)}$$



onde:

h_{fL} - a perda de carga localizada (m)

v - velocidade do líquido (m/s)

g - aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$)

K - coeficiente de perdas localizadas e é adimensional

Os valores de K são dados em função do tipo de peça acessória (curvas, registros, etc.) e são obtidos experimentalmente. A Tabela 2.2 apresenta os valores de K para peças típicas do circuito hidráulico.

A relação existente entre a velocidade, vazão e área de uma tubulação está apresentada na equação 2.23 (Equação da Continuidade) e em razão de sua utilidade neste ponto, está transcrita na equação 4.10.

$$Q = v \cdot A \quad \text{eq. (4.10)}$$

onde:

Q - vazão (m^3/s)

v - velocidade do fluido (no caso água) (m/s)

A - área transversal da tubulação (m^2)

Considerando que normalmente as tubulação são cilíndricas, a relação entre a área transversal e o diâmetro é dada pela equação 4.11.

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad \text{eq.(4.11)}$$



onde:

A - área transversal da tubulação (m^2)

π - constante e vale 3,1416

D - diâmetro da tubulação (m)

Aplicando-se a equação 4.11 na equação 4.10, tem-se:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \quad \text{eq. (4.12)}$$

onde:

v - velocidade do fluido (m/s)

Q - vazão de água (m^3/s)

D - diâmetro da tubulação (m)

Substituindo-se a equação 4.12 na equação 4.9, tem-se:

$$hf_L = K \frac{8 \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2 \cdot D^4} \quad \text{eq. (4.13)}$$

onde:

hf_L - perda de carga localizada (m)

K - coeficiente de perdas localizadas (adimensional)

Q - vazão de água (m^3/s)

g - aceleração da gravidade ($9,81 m/s^2$)

π - constante e vale 3,1416

D - diâmetro da tubulação (m)

Aplicando-se as equações 4.8 e 4.13 na equação 4.7, tem-se:



$$\Delta hf_t = L \cdot \frac{10,643}{C^{1,85}} \frac{Q^{1,85}}{D^{4,87}} + \sum_1^n K_n \frac{8 \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2 \cdot D^4} \quad \text{eq. (4.14)}$$

onde:

Δhf_t - perda de carga total no circuito hidráulico (m)

L - comprimento da tubulação (m)

Q - vazão de água (m³/s)

C - coeficiente de Hazen-Williams (adimensional)

D - diâmetro interno da tubulação (m)

K_n é o coeficiente de perdas localizadas do acessório n

g - aceleração da gravidade (9,81 m/s²)

π - constante e vale 3,1416

n - número de acessórios hidráulicos existentes

Alterando-se a unidade da vazão Q para m³/h, considerando-se a aceleração da gravidade constante e substituindo-se o valor de π na equação 4.14, tem-se:

$$\Delta hf_t = L \cdot \frac{2,8 \cdot 10^{-6}}{C^{1,85}} \frac{Q^{1,85}}{D^{4,87}} + \sum_1^n K_n \frac{6,4 \cdot 10^{-9} \cdot Q^2}{D^4} \quad \text{eq. (4.15)}$$

onde:

Δhf_t - perda de carga total no circuito hidráulico (m)

L - comprimento da tubulação (m)

Q - vazão de água (m³/h)

C - coeficiente de Hazen-Williams (adimensional)

D - diâmetro interno da tubulação (m)

K_n - coeficiente de perdas localizadas do acessório n

n - número de acessórios hidráulicos existentes

Substituindo-se na primeira igualdade da equação 4.5 o valor de Δh_f dado pela equação 4.15, tem-se:

$$IEEG = \frac{P_{el}}{Q \cdot \left(H_a + H_g + L \cdot \frac{2,8 \cdot 10^{-6}}{C^{1,85}} \frac{Q^{1,85}}{D^{4,87}} + \sum_1^n K_n \frac{6,4 \cdot 10^{-9} \cdot Q^2}{D^4} \right)}$$

eq. (4.16)

onde:

IEEG - índice de eficiência energética global proposto
(Wh/m³.m)

P_{el} - potência absorvida da rede elétrica (W)

Q - vazão de água (m³/h)

H_a - nível dinâmico do aquífero no poço (m)

H_g - desnível geométrico entre a superfície do poço e o reservatório (m)

L - comprimento da tubulação (m)

C - coeficiente de Hazen-Williams (adimensional)

D - diâmetro interno da tubulação (m)

K_n - coeficiente de perdas localizadas do acessório n

n - número de acessórios hidráulicos existentes

Observando que os valores a serem determinados através de medições são a potência elétrica (P_{el}), a vazão (Q) e o nível dinâmico do aquífero (H_a).

Alguns dos parâmetros da equação 4.16 são definidos pelo projeto do poço e do circuito hidráulico e, portanto, invariáveis no tempo. Esses

parâmetros são o desnível geométrico (H_g), o comprimento da tubulação (L), o diâmetro da tubulação (D) e o número (e tipo) de acessórios hidráulicos (n).

Os parâmetros que faltam são definidos através de experimentos, e apresentam valores tabelados, em função do tipo de material ou do tipo de acessório hidráulico. Assim, alguns valores de C podem ser observados na Tabela 2.1, enquanto que alguns valores de K podem ser observados na Tabela 2.2, apresentadas no Capítulo 2. Normalmente estes valores são amplamente divulgados em catálogos de fabricantes de tubos e acessórios, e também em literatura específica de hidráulica.

Conforme discutido no Capítulo 2, em condições normais, o nível da água no interior do poço sofre um rebaixamento a partir do início de operação da motobomba, do chamado nível estático para o nível dinâmico, que é quando o aquífero atinge uma estabilidade em seu nível.

Neste período transitório, a altura manométrica total irá variar, bem como a vazão extraída do aquífero, provocando uma variação no IEEG proposto, cabendo assim a definição de IEEG para um dado instante t a partir do início de operação da bomba, instante este considerado como estando o nível de água do poço em seu nível estático.

Assim, introduzindo-se a variação temporal na equação 4.16, tem-se:

$$IEEG(t) = \frac{P_{el(t)}}{Q(t) \cdot \left(H_{a(t)} + H_g + L \cdot \frac{2,8 \cdot 10^{-6}}{C^{1,85}} \frac{Q_{(t)}^{1,85}}{D^{4,87}} + \sum_1^n K_n \frac{6,4 \cdot 10^{-9} \cdot Q_{(t)}^2}{D^4} \right)}$$

eq. (4.17)

onde:

$IEEG_{(t)}$ - índice de eficiência energética global proposto no instante t ($Wh/m^3.m$)

$P_{el(t)}$ - potência absorvida da rede elétrica no instante t (W)

$Q(t)$ - vazão de água no instante t (m^3/h)

$H_{a(t)}$ - nível dinâmico do aquífero no poço no instante t (m)

H_g - desnível geométrico entre a superfície do poço e o reservatório (m)

L - comprimento da tubulação (m)

C - coeficiente de Hazen-Williams (adimensional)

D - diâmetro interno da tubulação (m)

K_n - coeficiente de perdas localizadas do acessório n

n - número de acessórios hidráulicos existentes

Cabe destacar neste momento a necessidade de determinar-se a potência elétrica absorvida da rede, a vazão de exploração do aquífero e o nível de água no interior do poço no mesmo instante t .

Pode-se observar neste ponto que, após atingido o nível dinâmico, em condições normais de operação, o IEEG proposto deverá manter-se praticamente constante para um dado sistema de captação de água de aquífero.

Fora deste período transitório, as variações no IEEG proposto deverão ocorrer apenas quando variar algum de seus parâmetros. Por exemplo, caso ocorra um rebaixamento no nível dinâmico devido a interferência de poços vizinhos, o IEEG irá apresentar uma variação, o mesmo ocorrendo nas hipóteses de aumento da perda de carga no circuito hidráulico em virtude de incrustações ou fechamento inadvertido de algum registro; ou ainda, vazamentos, desgastes do rotor do bombeador, etc.

4.4. OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DO IEEG

O Índice de Eficiência Energética Global, conforme apresentado nas equações 4.15 e 4.16, pressupõe o conhecimento de vários parâmetros de projeto do sistema de exploração do aquífero, tais como diâmetro e material da tubulação, acessórios hidráulicos, desnível geométrico, entre outros. Caso estejam disponíveis estes parâmetros, basta aplicá-los nas equações e determinar-se o IEEG.

Entretanto, em muitos casos práticos não se conhece todos esses parâmetros, ou se tem dúvidas quanto aos mesmos e, muitas vezes, torna-se quase impossível sua determinação, pois isto implicaria em descobrir-se todo o percurso de um circuito hidráulico que, via de regra, é construído de forma enterrada no solo.

Para tornar a determinação do IEEG proposto mais fácil e rápida, é possível substituir parte das equações 4.16 e/ou 4.17 por outra medição prática, qual seja, a medição da pressão da tubulação junto ao poço profundo na altura do solo. Esta medição poderia substituir o cálculo total das perdas de carga localizada e distribuída entre este ponto de medição e o reservatório (ver Figura 4.1) e também incluiria o desnível geométrico (H_g). Para esta medição será necessário apenas a instalação de um manômetro no ponto adequado. Assim, a medição do manômetro será equivalente aos valores apresentados na equação 4.18.

$$H_{m(t)} = H_g + L \cdot \frac{2,8 \cdot 10^{-6}}{C^{1,85}} \frac{Q_{(t)}^{1,85}}{D^{4,87}} + \sum_1^n K_n \frac{6,4 \cdot 10^{-9} \cdot Q_{(t)}^2}{D^4}$$

eq. (4.18)

onde:

$H_{m(t)}$ - leitura do manômetro no instante t (m)

H_g - desnível geométrico entre a superfície do poço e o reservatório (m)

L - comprimento da tubulação (m)

$Q(t)$ - vazão de água no instante t (m^3/h)

C - coeficiente de Hazen-Williams (adimensional)

D - diâmetro interno da tubulação (m)

K_n - coeficiente de perdas localizadas do acessório n

n - número de acessórios hidráulicos existentes

Reitera-se que a medição do manômetro determinará as parcelas da equação 4.18 do ponto de medição para jusante, devendo ainda ser determinados os valores das perdas de carga distribuída e localizadas a montante deste ponto. Apesar disso, este método constitui-se em uma importante simplificação prática.

Resta ainda a determinação da potência elétrica absorvida da rede ($P_{el(t)}$), do nível de água no interior do poço ($H_{a(t)}$) e da vazão de exploração ($Q(t)$). Todos estes parâmetros poderão ser obtidos através de equipamentos específicos e portáteis, uma vez que não existe a necessidade de medições permanentes, mas apenas durante a realização dos trabalhos de levantamento dos dados. Entretanto, o IEEG poderá ser determinado em tempo real mediante a utilização de sensores para todos os parâmetros necessários, e conectados a um computador que processará os cálculos requeridos.



4.5. DETERMINAÇÃO DA VAZÃO UTILIZANDO-SE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

De todos os parâmetros necessários para a determinação do IEEG proposto, a determinação da vazão de exploração apresenta a maior dificuldade prática, quer pelo custo elevado de medidores fixos, tais como os eletromagnéticos, quer pelo método trabalhoso exigido quando da utilização de medidores do tipo 'pitot', ou ainda pela imprecisão de métodos rudimentares, tais como a cronometragem do tempo de enchimento de um tambor de volume conhecido.

Para resolver este problema prático, propõe-se aqui a utilização de Redes Neurais Artificiais para determinar-se a vazão exploração a partir dos outros parâmetros medidos, previamente ao cálculo do IEEG.

Conforme discutido no Capítulo 3, Redes Neurais Artificiais (RNA) são sistemas dinâmicos que exploram arquiteturas de processamento paralelas e adaptativas. Consistem de vários elementos processadores simples que possuem alta conectividade entre si. Em cada um destes elementos está associado um conjunto de parâmetros que possuem a finalidade de sintonizar a rede neural para determinada aplicação. Estes parâmetros, conhecidos como pesos da rede, descrevem um modelo que permite o mapeamento de um conjunto de valores conhecidos (entradas da rede), para um conjunto de valores associados (saídas da rede). O processo de ajuste dos pesos para os valores adequados – treinamento da rede – é executado através da apresentação sucessiva de um conjunto de dados de treinamento, objetivando a minimização do erro entre a resposta produzida pela rede e a respectiva saída desejada. Após o processo de treinamento, a rede é capaz de estimar valores para um conjunto de entradas que não foram incluídas nos dados de treinamento.



Nesta aplicação, uma RNA será utilizada como aproximador de funções, uma vez que a vazão de exploração de um poço é uma variável dependente daquelas que serão utilizadas como variáveis de entrada. A tarefa de aproximação de funções consiste em mapear o relacionamento existente entre as diversas variáveis que descrevem o comportamento de um sistema físico real, conforme Tagliarini (1991)^[10].

A habilidade de redes neurais artificiais em mapear funções não-lineares complexas as tornam uma ferramenta atrativa para identificar e estimar modelos referentes ao comportamento dinâmico de processos de engenharia. Esta característica é particularmente importante quando o relacionamento entre as várias variáveis do processo é não-linear e/ou não bem definido, tornando assim difícil a sua modelagem por técnicas convencionais.

Uma rede PMC (Perceptron Multi-Camadas), conforme mostrado na Figura 4.2, treinada com o algoritmo *backpropagation*, foi utilizada como um veículo prático para realizar a determinação da vazão a partir dos parâmetros medidos.

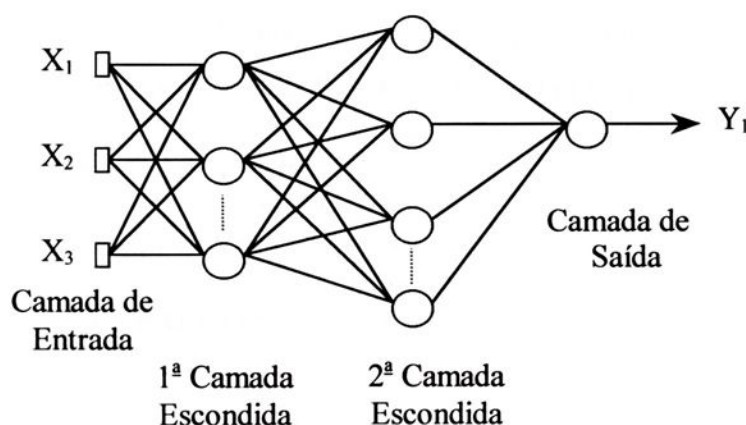


FIGURA 4.2 - Rede PMC utilizada para determinação da vazão.

As variáveis de entrada aplicada à rede neural proposta foram:

- Nível de água do aquífero no interior do poço no instante t ($H_{a(t)}$), expresso em metros
- Leitura do manômetro no instante t ($H_{m(t)}$), expresso em metros de coluna de água
- Potência elétrica absorvida da rede no instante t ($P_{el(t)}$), expresso em watts

A única variável de saída foi a vazão de exploração do aquífero ($Q_{(t)}$), expressa em metros cúbicos por hora. Observa-se que para cada conjunto de valores de entrada para um dado instante t , a rede neural oferecerá um resultado para a vazão neste mesmo instante t .

Trata-se de uma rede neural com três entradas, duas camadas escondidas e uma camada de saída com um neurônio apenas.

A implementação desta rede neural será feita através do software MATLAB versão 5.2.0.3084 e utilizadas ferramentas específicas deste software para esta aplicação. Mais detalhes sobre esta implementação, inclusive com a apresentação de valores numéricos, estão apresentados no Capítulo 6 deste trabalho.

4.6. CONCLUSÕES PARCIAIS

O desenvolvimento de índices de eficiência energética é de grande valia quando se deseja gerenciar um sistema consumidor de energia ou mensurar o resultado obtido com medidas que visem a redução do consumo energético.



O IEEG proposto apresenta-se bastante simples do ponto de vista teórico, porém, como pode ser observado pela equação 4.17, apresenta um certo grau de dificuldade em sua utilização prática.

Assim, procurou-se além do desenvolvimento teórico, elaborar uma metodologia simplificada para obtenção dos parâmetros necessários para a determinação do índice de eficiência global. Com este objetivo, além de medições simples, foi apresentada a possibilidade de utilização de redes neurais artificiais para a determinação da vazão de operação com base em medições rotineiras.

Reiterando a utilidade do IEEG proposto, o mesmo poderá indicar o estado geral quanto ao consumo de energia elétrica de todo o sistema de captação de água de aquíferos.

Vale ainda lembrar que quanto menor for o valor numérico do IEEG calculado, mais eficiente será o sistema de captação de água de aquíferos.

Afim de comprovar-se a validade do IEEG proposto e da utilização da rede neural apresentada para a determinação da vazão, será feita sua implementação com dados reais obtidos em poço piloto, conforme detalhado no Capítulo 6.

Quanto à rede neural, destaca-se que a mesma utiliza dados de campo para seu treinamento e os valores utilizados para este treinamento poderão sofrer variação ao longo dos anos. Assim, sugere-se que, pelo menos a cada cinco anos (recomenda-se anualmente), estes valores sejam reavaliados por medições e, caso haja variação significativa, a rede neural deverá ser novamente treinada.



4.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AZEVEDO NETO, J. M. et al. *Manual de hidráulica*. 8.ed. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda., 1998.
- [2] CAGNON, J. A.; AVÓLIO, E.; SAGGIORO, N. J. Auditoria energética em estações elevatórias de água. *Revista Eletricidade Moderna*, n. 313, abr. 2000.
- [3] CAGNON, J. A.; SAGGIORO, N. J.; SILVA, I. N.; Appliation of neural networks for analysis of the growndwater aquifer behavior. In: INDUSCON 2000, 2000, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: IEEE, 2000.
- [4] FERREIRA, J. J., FERREIRA, T. J. *Economia e gestão da energia*. Lisboa: Texto Editora Lda, 1994.
- [5] FONSECA, R. B.; GONDA, J. G.; POLIZER, M.; SOUZA, R. S. Critérios para substituição de bombas de poços tubulares profundos. In: 20º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1999, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES, 1999, p.1501 – 1508.
- [6] MACINTYRE, A. J. *Bombas e instalações de bombeamento*. 2.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1997.
- [7] SAGGIORO, N. J.; SILVA, I. N.; CAGNON, J. A.; Análise do comportamento de aquíferos em poços profundos utilizando-se de redes neurais artificiais. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: AIDIS, 2000.
- [8] SILVA, I. N.; SAGGIORO, N. J.; CAGNON, J. A. Um sistema inteligente aplicado na estimação do comportamento dinâmico de aquíferos subterrâneos. In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE, 1999, São Paulo. *Anais...* São Paulo: USP, 1999.
- [9] SILVA, I. N.; SAGGIORO, N. J.; CAGNON, J. A. Using neural networks for estimation of aquifer dynamical behavior. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS, 2000, Como. *Anais...* Como: IEEE, 2000.
- [10] TAGLIARINI, G. A., CHRIST, J. F., PAGE, E. W. Optimization using neural networks. *IEEE Trans. on Computers*, v. 12, p. 115-133, 1991.



Capítulo 5

LEVANTAMENTO DE DADOS DE CAMPO

5.1. INTRODUÇÃO

A obtenção dos parâmetros necessários para o cálculo do Índice de Eficiência Energética Global – IEEG de um sistema de captação de água de aquífero é parte importante na determinação e precisão do índice proposto, pois como discutido no Capítulo 4, não basta ter disponibilizados os parâmetros necessários de forma aleatória, mas antes é preciso conhecê-los para um mesmo instante t , que está relacionado ao tempo de operação do conjunto motor-bomba a partir do momento em que é atingido o nível estático.

Vale lembrar que para a determinação do IEEG proposto é necessária a determinação da potência elétrica absorvida da rede, do nível dinâmico do poço, da vazão extraída do aquífero e das características físicas do poço e do circuito hidráulico até o reservatório de água por ele abastecido. Alternativamente às características do circuito hidráulico da superfície do poço até o reservatório poderá ser determinada a pressão na tubulação junto à saída do poço.

5.2. O POÇO PILOTO

Como poço piloto foi escolhido o poço profundo utilizado para abastecimento público denominado PP6, perfurado e em operação desde Janeiro de 1979, localizado no município de Piratininga, Estado de São Paulo, e operado pela



SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, Unidade de Negócio do Baixo Tietê e Grande.

A Figura 5.1 mostra uma vista geral da área do poço profundo utilizado como poço piloto.



FIGURA 5.1 - Vista geral da área do poço piloto.

As medições de campo foram realizadas durante o mês de Fevereiro de 2000, tendo sido obtidas, do cadastro da empresa que opera o poço, as características principais e os equipamentos então instalados no mesmo. O resultado deste levantamento foi:

- ano de perfuração: 1979
- profundidade do poço: 140 m
- diâmetro útil do poço: 152 mm

- diâmetro da tubulação edutora: 100 mm
- comprimento da tubulação edutora: 36 m
- material da tubulação edutora: aço galvanizado
- nível estático esperado: 24,00 m
- nível dinâmico esperado: 33,25 m
- vazão máxima: 56,50 m³/h
- vazão esperada de operação: 55,0 m³/h
- marca do conjunto motobomba: EBARA
- modelo do conjunto motobomba: BHS517-9
- potência nominal da motobomba: 30 HP
- tensão de trabalho da motobomba: 220 V, trifásico
- diâmetro da tubulação adutora: 200 mm
- comprimento da tubulação adutora: 2538 m
- material da tubulação adutora: ferro fundido
- desnível geométrico entre o poço e o reservatório: 39,26 m
- acessórios hidráulicos da adutora: sem informação

Além desses dados, foram obtidas, junto ao fabricante as curvas características do motor e do bombeador, que estão apresentadas no Anexo E.

Também foram obtidos dados dimensionais do conjunto motobomba, sendo que o modelo instalado possui 2.712 mm de comprimento e 143 mm de diâmetro.

A Figura 5.2 apresenta um corte esquemático do poço piloto.

Observar que as medidas de nível do aquífero, de profundidade de instalação do conjunto motobomba e da profundidade total do poço, são feitas a partir do nível do solo, ou seja, de cima para baixo. Por exemplo, o nível estático



apresenta-se a 24 m do nível do solo (ou de profundidade), enquanto que o nível dinâmico está a 33,25 m (ou de profundidade).

Em outras palavras, a variação do nível estático para o nível dinâmico implica em um maior distanciamento deste nível em relação ao solo, impondo uma maior altura manométrica para o bombeamento.

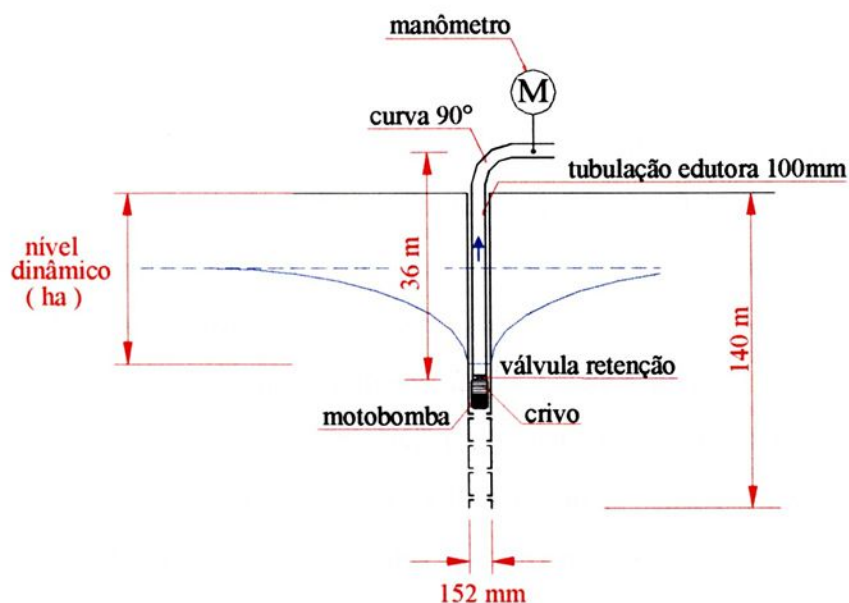


FIGURA 5.2 - Corte esquemático do poço piloto, com seus principais componentes e dimensões.

5.3. INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Os instrumentos utilizados para a obtenção dos dados de campo foram:

- medidor de potência elétrica
- medidor de nível
- medidor de vazão
- medidor de pressão

5.3.1. Medidor de Potência Elétrica

As medições da potência elétrica absorvida da rede foram efetuadas e registradas utilizando-se um Analisador de Redes modelo *AR-4 M*, fabricado pela *Circutor*, de procedência espanhola, com posterior utilização software apropriado para interpretação dos dados. Este equipamento apresenta valores para as seguintes grandezas elétricas com suas respectivas características:

- **TENSÃO:** apresenta o valor RMS da tensão para cada uma de suas fases em relação ao neutro, e também o valor médio entre estas tensões.
- **CORRENTE:** apresenta o valor RMS da corrente para cada uma de suas fases e também o valor médio entre estas correntes.
- **POTÊNCIA ATIVA:** apresenta a potência ativa demandada para cada uma de suas fases (monofásica) e também o valor total para as três fases (trifásica).
- **POTÊNCIA REATIVA:** apresenta a potência reativa indutiva (ou capacitiva) demandada para cada uma de suas fases (monofásica) e também o valor total para as três fases (trifásica).
- **FATOR DE POTÊNCIA:** apresenta o fator de potência para cada uma de suas fases (monofásico) e também o valor para as três fases (trifásico).
- **FREQÜÊNCIA:** apresenta a frequência média lida para as três fases.

Por meio deste analisador de redes foi realizada a aquisição de dados instantâneos de todas as grandezas acima e em intervalos programados de um minuto, registrou-se em cartão de memória esses dados, explicitando os valores máximos e mínimos observados para a corrente e a tensão, no intervalo de tempo sob análise.



O ponto das medições de grandezas elétricas foi a entrada da chave de partida da motobomba.

A Figura 5.3 apresenta a instalação deste equipamento.

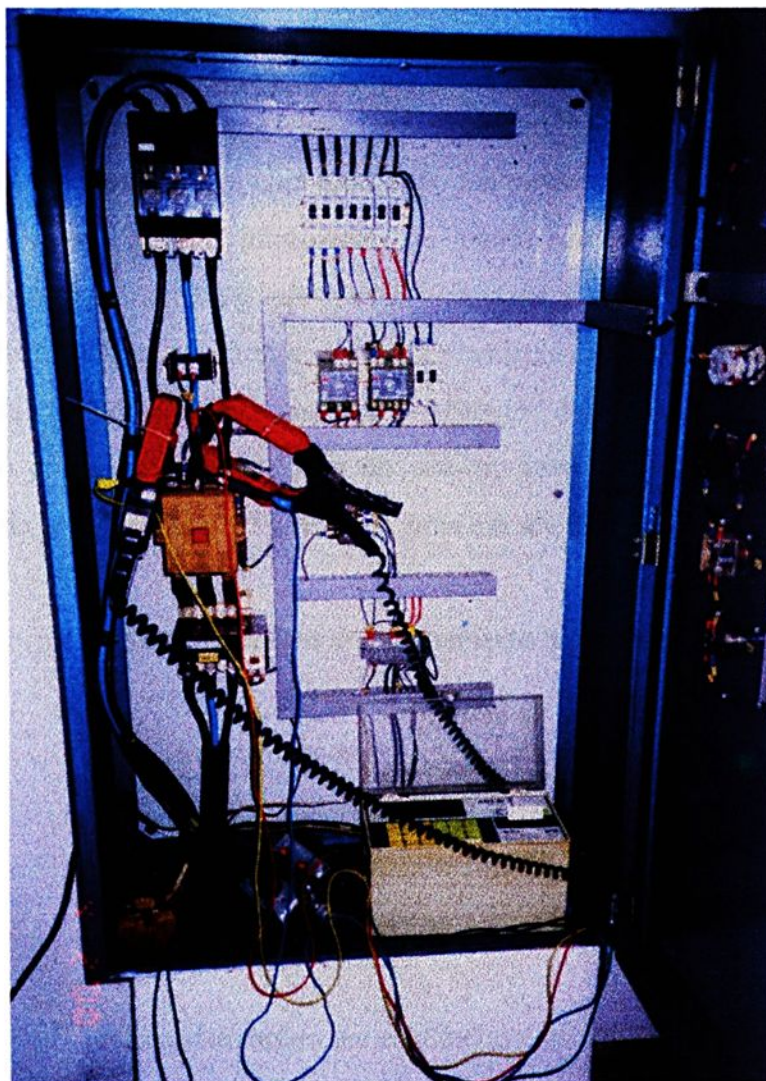


FIGURA 5.3 - Instalação do medidor de grandezas elétricas.

O Anexo A apresenta as características técnicas do analisador de redes utilizado.

O Anexo F apresenta o resultado numérico das medições efetuadas para todas as grandezas elétricas, porém, apenas a potência trifásica será utilizada neste trabalho.

5.3.2. Medidor de Nível

O equipamento utilizado foi um medidor sonoro. Este medidor é dotado de um sensor e de uma campainha. O sensor fica instalado na extremidade de um cabo elétrico isolado, com graduação em metros, que fica enrolado em um carretel. O sensor é então introduzido no interior do poço, entre a tubulação externa do poço e a tubulação que conduz a água até a superfície, até que o sensor atinja o nível da água no interior do poço, momento no qual é emitido um sinal sonoro pela campainha. Neste instante, o operador deverá observar a graduação métrica no corpo do cabo elétrico do sensor, sendo esta a distância entre a superfície da boca do poço até o nível de água em seu interior.

As características do equipamento utilizado são:

Marca: Altronic

Modelo: System MDN

Patrimônio SABESP: 145418

Escala: 1 em 1 metro

As aproximações em centímetros das medições em metros foram efetuadas utilizando-se de uma trena, com as seguintes características:

Marca: Stanley

Modelo: JobMaster 33-550

Comprimento: 5 metros

Escalas: milímetros e polegadas



A Figura 5.4 mostra o medidor de nível utilizado.



FIGURA 5.4 - Medidor de nível de água no interior do poço.

5.3.3. Medidor de Vazão

O equipamento utilizado foi um medidor eletromagnético de vazão.

De acordo com Delmée (1983)^[2], os medidores eletromagnéticos foram desenvolvidos como uma aplicação particular da Lei de Faraday referente à tensão provocada por um condutor em movimento num campo magnético: “Quando um condutor elétrico em movimento corta o fluxo magnético, gera-se uma força eletromotriz (f.e.m.) através deste condutor”.

O princípio básico desses medidores é semelhante ao de um gerador elétrico. Como pode ser observado no desenho esquemático da Figura 5.5, os elementos são arranjados de forma que a direção do fluxo seja normal ao campo magnético. De acordo com a Lei de Faraday, o movimento de um fluido atravessando um campo magnético induz uma força eletromagnética no fluido, numa direção normal à do campo magnético e à direção média das partículas do fluido. Colocando, então, um par de eletrodos em contato com o fluido no plano diametralmente normal ao do campo magnético e conectando-os a um voltímetro especial, o valor da *f.e.m.* poderá ser medido.

Considerando que a velocidade do fluxo é diretamente proporcional à vazão, a *f.e.m.* também é diretamente proporcional à velocidade do movimento do condutor, ou seja, do fluxo de fluido neste caso.

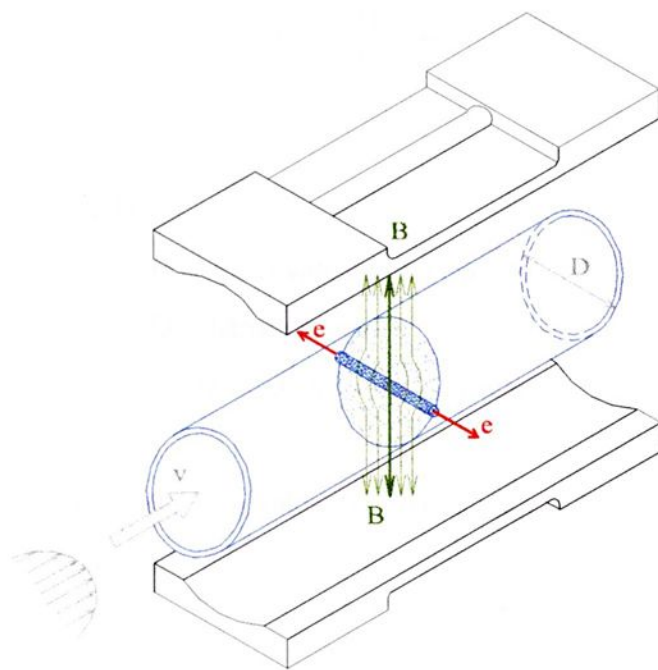


FIGURA 5.5 - Desenho esquemático de um medidor eletromagnético de vazão.

De acordo com a Lei de Faraday, a tensão induzida por um condutor em movimento em um campo magnético é dada pela seguinte fórmula:

$$e = B \cdot L \cdot v \quad \text{eq. (5.1)}$$

onde:

e - força eletromotriz induzida (V)

B - densidade de fluxo (weber/m²)

L - distância entre os eletrodos (m) – normalmente $L \approx D$

v - velocidade do fluido (m/s)

A vazão volumétrica é dada por:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v \quad \text{eq. (5.2)}$$

onde:

Q - vazão volumétrica (m³/s)

D - diâmetro (m)

v - velocidade do fluido (m/s)

Isolando-se o valor de v na equação 5.1 e aplicando o resultado na equação 5.2, tem-se:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot e}{4 \cdot B \cdot L} \quad \text{eq. (5.3)}$$

onde:

Q - vazão volumétrica (m^3/s)

D - diâmetro (m)

e - força eletromotriz induzida (V)

B - densidade de fluxo (weber/m^2)

L - distância entre os eletrodos (m) – normalmente $L \approx D$

Caso a densidade de fluxo B seja proveniente de um ímã permanente, esta será constante, e a *f.e.m.* será diretamente proporcional à vazão do fluido medido. A vazão poderá, então, ser avaliada por meio de um instrumento capaz de medir a *f.e.m.* nos bornes dos eletrodos.

No caso do medidor eletromagnético onde as bobinas são energizadas por corrente alternada, a densidade de fluxo B não é constante, e o instrumento de medição elétrico acoplado ao medidor magnético deverá medir a relação e/B .

O equipamento utilizado neste trabalho possui dois componentes principais, sendo um deles o sensor da relação e/B , semelhante ao desenho esquemático apresentado na Figura 5.5, instalado em uma seção da tubulação de água junto à saída do poço, e instalado no interior de uma caixa de tijolos para sua proteção, conforme pode ser visto na Figura 5.6, e um instrumento de medição elétrico instalado a uma certa distância do sensor, que converterá os sinais oriundos do sensor em uma indicação digital da vazão volumétrica expressa em metros cúbicos por hora.

As características do sensor do equipamento utilizado são:

Marca: Fisher Rosemount

Modelo: 8711 – Magnetic Flow Meter

Diâmetro: 6 polegadas



As características do medidor elétrico (transmissor) do equipamento utilizado são:

Marca: Fisher Rosemount

Modelo: 8732C – R12M4T1L1



FIGURA 5.6 - Instalação do sensor eletromagnético de vazão.

5.3.4. Medidor de Pressão

As medições da pressão na saída do poço foram realizadas através de um manômetro simples, com as seguintes características:

Marca: Excelsior

Escala: kgf/cm^2

Faixa de leitura: 0 a 10

Diâmetro da conexão: 1/2 polegada

O instrumento utilizado está apresentado na Figura 5.7.



FIGURA 5.7 - Manômetro utilizado para medição da pressão na saída do poço.

Cabe lembrar que 1 kgf/cm^2 equivale a 10 metros de coluna de água.

5.4. METODOLOGIA EMPREGADA

Apresenta-se na seqüência a metodologia utilizada para a obtenção dos parâmetros necessários para a determinação do Índice de Eficiência Energética Global – IEEG do poço piloto.

Esta metodologia desenvolvida servirá para a sistematização da coleta de dados, e foi determinada com base na experiência profissional do autor deste trabalho, notadamente na operação de poços profundos.

Considerando que o poço estava em produção normal, abastecendo a município de Piratininga – SP, operando em modo automático e não podendo sofrer ações que alterassem sua condição de trabalho, os períodos de medição foram limitados aos tempos requeridos de operação e repouso do mesmo.

A metodologia adotada constituiu-se das seguintes etapas:

- a) Mediu-se o Nível Estático do poço. Para isso certificou-se que o poço estava em repouso a mais de 4 horas. Este procedimento foi feito após um período ‘normal’ de parada do poço, ocorrido logo pela manhã (este poço pára normalmente durante a madrugada). Esta medição ocorreu anteriormente às medições utilizadas neste trabalho.
- b) A motobomba foi desligada após um período de 1h e 18min de funcionamento. Simultaneamente mediu-se o tempo de repouso, o nível do aquífero no interior do poço, a pressão na saída e a vazão, a cada 01 (um) minuto durante os primeiros 10 (dez) minutos de repouso; e depois a cada 05 (cinco) minutos por mais uma hora de repouso. Após este período, pretendia-se efetuar as medições a cada 30 (trinta) minutos até que o nível do poço retornasse ao nível estático. Entretanto, antes de transcorrer-se esse intervalo de tempo, a motobomba foi acionada novamente, tendo sido então mais uma vez colhidos os mesmos dados.
- c) A motobomba foi ligada automaticamente. Também de modo sincronizado mediu-se o tempo de operação, o nível do aquífero no interior do poço, a pressão na saída e a vazão, a cada 01 (um) minuto durante os primeiros 10

(dez) minutos de operação, a cada 02 (dois) minutos durante os 20 (vinte) minutos seguintes e depois a cada 05 (cinco) minutos até completar-se a primeira hora de operação. Após a primeira hora, as medições foram feitas a cada 15 (quinze) minutos por mais uma hora. A partir deste momento, as medições passaram a ser feitas a cada 30 (trinta) minutos até a parada do poço, tendo sido colhidos no instante do desligamento os valores dos mesmos parâmetros.

Durante todo este procedimento não se alterou de forma proposital a vazão do poço, tendo sido mantida na vazão 'normal' de operação. Em outras palavras, não foi fechado ou aberto nenhum registro para introduzir uma variação na perda de carga ou utilizado um inversor de frequência para alterar-se a rotação do conjunto motobomba e, através desses métodos, alterar-se a vazão, ou utilizado qualquer outro artifício que provocasse algum efeito anômalo na vazão de trabalho do poço piloto.

Ressalta-se ainda que foi efetuada a medição simultânea dos parâmetros, afim de obter-se informações sobre como eles se inter-relacionam.

5.5. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos por meio de medições para todos os parâmetros necessários ao cálculo do IEEG, em valores numéricos, estão apresentados no Anexo B.

Conforme discutido no Capítulo 2, o parâmetro medido que apresentou maior singularidade em seu comportamento foi o nível de água no interior do poço. Para visualizar seu comportamento no poço analisado



apresentam-se nas Figuras 5.8, 5.9 e 5.10 algumas curvas do nível de água em função do tempo, para períodos de repouso e de operação da motobomba.

Assim, a Figura 5.8 mostra a curva do nível da água em função do tempo de repouso, a partir do instante do desligamento da motobomba. Lembrar que o nível do solo está na posição 0 (zero) do eixo vertical (ou das ordenadas) nesta figura.

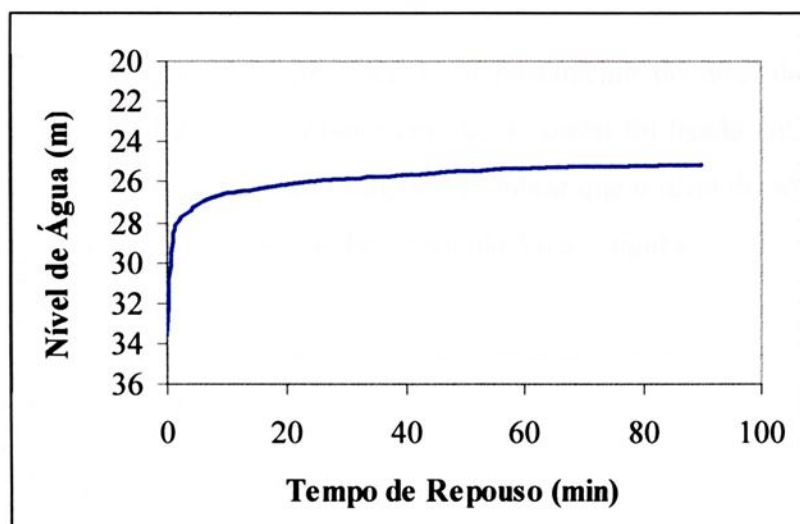


FIGURA 5.8 - Curva de recuperação do nível da água no interior do poço piloto após o desligamento da motobomba.

O nível de água é medido com base no nível do solo, ou seja, é medido de cima para baixo. No momento do desligamento da motobomba (tempo de repouso igual a zero), o nível estava a 33,60 m de profundidade. Após o desligamento da bomba iniciou-se sua recuperação, ou seja o nível de água começou a se aproximar do nível do solo. Nota-se na Figura 5.8 que nos primeiros minutos de repouso ocorre uma grande recuperação, e depois esta variação na recuperação vai diminuindo até praticamente estabilizar-se.

Sabendo-se que o nível estático é o ponto de estabilização do nível de água no interior de um poço, quando em períodos de repouso, a estabilização do nível para este poço deverá ocorrer em 24,00 m de profundidade.

Entretanto, durante as medições efetuadas neste poço, antes que o nível de água atingisse seu ponto de estabilidade de repouso (nível estático), houve um novo acionamento da motobomba, iniciando assim um novo período de rebaixamento do nível de água.

A Figura 5.9 apresenta o comportamento do nível da água no interior do poço piloto desde o instante em que a bomba foi ligada até seu novo desligamento, durante o período de medições. Lembrar que o nível do solo está na posição 0 (zero) do eixo vertical (ou das ordenadas) nesta figura.

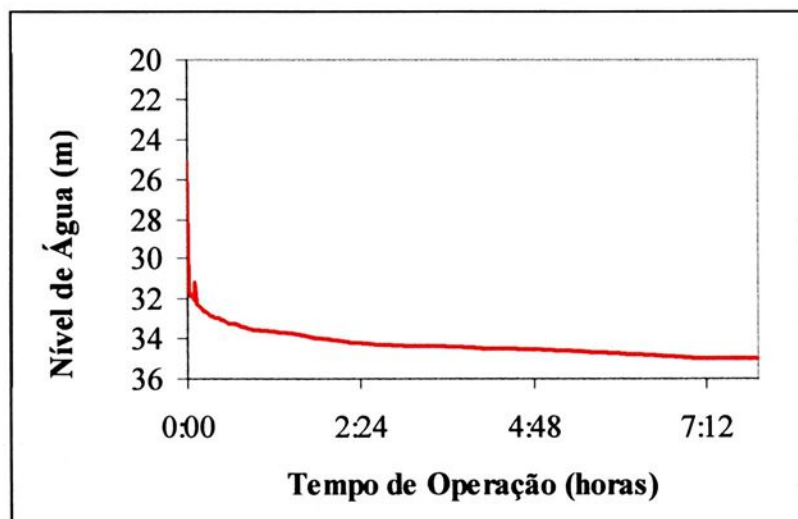


FIGURA 5.9 - Curva de rebaixamento do nível da água no interior do poço piloto após um início de bombeamento

Observando atentamente a Figura 5.9 nota-se que ocorre um acentuado rebaixamento do nível nos primeiros instantes após o início de bombeamento e posteriormente o grau de decrescimento vai diminuindo, até que o nível da água no interior do poço piloto praticamente se estabiliza, ponto este chamado de nível dinâmico do poço.

Outro ponto a destacar é que o nível dinâmico esperado para este poço era de 33,25 m, durante o período de medições ora apresentado, ocorreram valores maiores do que este (ver Figura 5.9 e Anexo B), significando que este poço apresenta uma certa variação operacional em relação às condições ideais de trabalho.

Afim de observar-se melhor o comportamento do nível nos instantes iniciais de bombeamento, quando ocorre sua maior variação, a Figura 5.10 apresenta a curva de rebaixamento durante os primeiros 20 (vinte) minutos após ligar-se a motobomba, também chamado de período transitório. Observando que o nível do solo está na posição 0 (zero) do eixo vertical (ou das ordenadas) nesta figura.

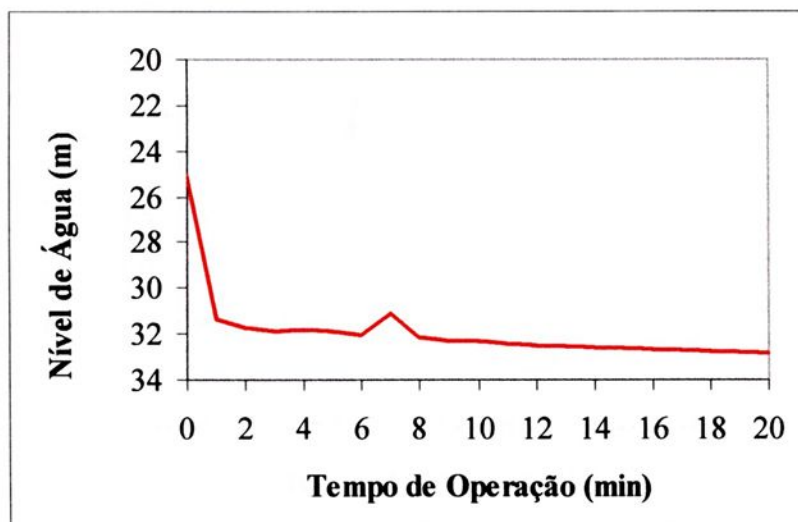


FIGURA 5.10 - Curva de rebaixamento do nível da água no interior do poço piloto no período transitório.

As Figuras 5.11, 5.12 e 5.13 apresentam a potência elétrica absorvida da rede, a vazão de água extraída do aquífero e a pressão na saída do poço, durante o período de bombeamento medido.

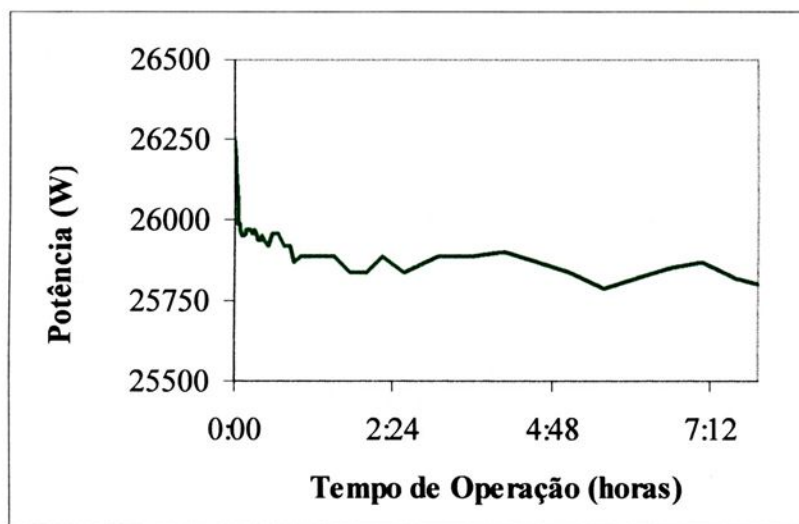


FIGURA 5.11 - Curva da potência elétrica absorvida durante o período de bombeamento analisado.

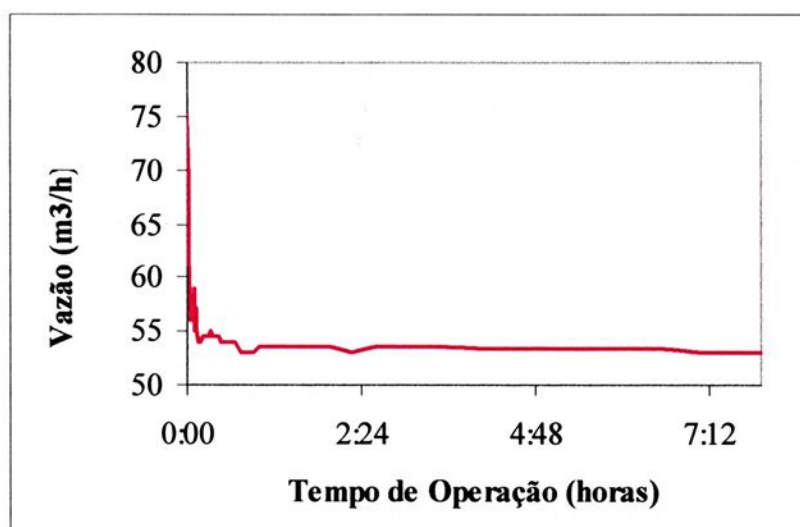


FIGURA 5.12 - Curva da vazão de água extraída do aquífero durante o período de bombeamento analisado.

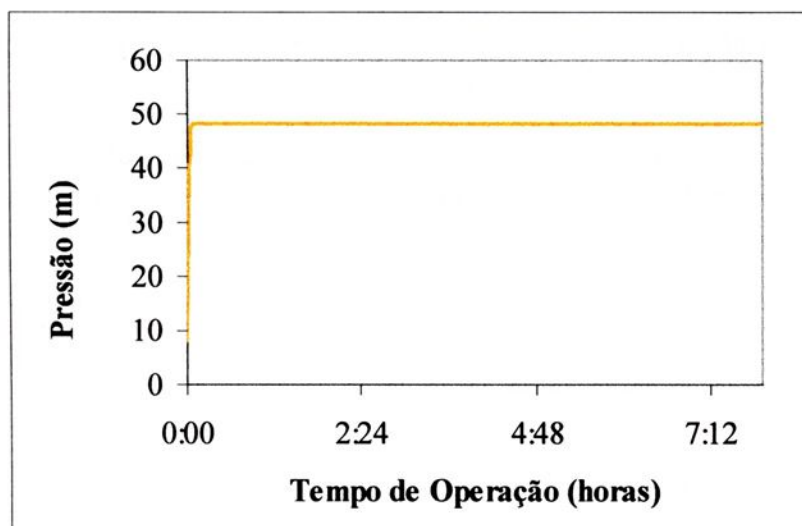


FIGURA 5.13 - Curva da pressão na saída do poço durante o período de bombeamento analisado.

5.6. CONCLUSÕES PARCIAIS

Concluindo esta etapa dos trabalhos, pode-se afirmar que a obtenção dos dados foi efetuada com certa facilidade, uma vez que se dispunha dos equipamentos adequados, e especialmente a medição de vazão foi facilitada pela existência de um medidor eletromagnético fixo. Entretanto, caso não exista este medidor fixo de vazão, durante o levantamento inicial poderão ser utilizadas técnicas de pitometria, ou através do emprego de equipamentos portáteis.

5.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AZEVEDO NETO, J. M. et al. *Manual de hidráulica*. 8.ed. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda., 1998.
- [2] DELMÉE, G. J. *Manual de medição de vazão*. 2.ed. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda., 1983.

- [3] FISHER-ROSEMOUNT. Medição eletromagnética de vazão. São Paulo, 1997. *Catálogos técnicos de especificações*.
- [4] SIGHIERI, L., NISHINARI, A. *Controle automático de processos industriais: instrumentação*. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda., 1968.



Capítulo 6

APLICAÇÃO DO IEEG PROPOSTO

6.1. INTRODUÇÃO

Após o desenvolvimento do Índice de Eficiência Energética Global e levantamento de dados de campo em um poço piloto, neste capítulo será efetuada a aplicação dos valores práticos para a determinação do IEEG .

Considerando que para o poço piloto não foi possível determinar com segurança todos os acessórios existentes no circuito hidráulico entre o poço e o reservatório, será utilizada a pressão medida na saída do poço para quantificar a parcela que representa o desnível geométrico, mais as perdas de carga distribuída e localizadas a jusante do ponto de medição de pressão, de acordo com a equação 4.18.

Então, de posse dos parâmetros medidos, será calculado o IEEG e observado seu comportamento ao longo do tempo de operação do conjunto motobomba.

Posteriormente será realizado o treinamento da rede neural artificial proposta no item 4.5, para a determinação da vazão de operação e recalculado o IEEG, agora utilizando-se a vazão fornecida pela rede neural artificial. Com a rede treinada, as determinações futuras do IEEG para este poço irão exigir apenas as medições de potência elétrica, nível dinâmico e pressão na saída do poço.



Também será realizado o cálculo do IEEG teórico, que será feito para a condição de estabilidade do sistema, qual seja, após atingir-se o nível dinâmico. Este cálculo será baseado na vazão esperada de operação do poço e utilizará curvas características do bombeador e do motor, fornecidas pelo fabricante do conjunto motobomba. O IEEG calculado desta forma foi chamado de teórico, pois considera que as condições nas quais foram realizados os ensaios no laboratório do fabricante da motobomba, estarão reproduzidas no poço piloto.

Finalizando, o IEEG calculado dessas três maneiras: i) por meio de parâmetros medidos apenas; ii) utilizando-se de rede neural artificial, e iii) por meio da vazão esperada e de curvas características fornecidas pelo fabricante da motobomba; será analisado de forma comparativa e tiradas algumas conclusões.

6.2. CÁLCULO DO IEEG PARA O POÇO PILOTO POR MEIO DE PARÂMETROS MEDIDOS

Tomando-se por base apenas os valores medidos para todos os parâmetros necessários para o cálculo do IEEG, foram determinados os diversos valores do IEEG para todo o período de operação analisado, de acordo com a equação 4.17.

Lembrando que o valor da pressão medida na saída do poço através do manômetro corresponde ao desnível geométrico, mais toda perda de carga a jusante do ponto de medição, conforme apresentado na equação 4.18, as parcelas da equação 4.17 referentes às perdas de carga distribuídas e localizadas, limitar-se-ão ao trecho de montante do ponto onde foi efetuada a medição de pressão, ou seja, o trecho compreendido entre o aquífero e a saída do poço, conforme apresentado na equação 6.1.



$$IEEG_{(t)} = \frac{P_{el(t)}}{Q(t) \cdot \left(H_{a(t)} + H_{m(t)} + L \cdot \frac{2,8 \cdot 10^{-6}}{C^{1,85}} \frac{Q_{(t)}^{1,85}}{D^{4,87}} + \sum_1^n K_n \frac{6,4 \cdot 10^{-9} \cdot Q_{(t)}^2}{D^4} \right)}$$

eq. (6.1)

onde:

$IEEG_{(t)}$ - índice de eficiência energética global proposto no instante t (Wh/m³.m)

$P_{el(t)}$ - potência absorvida da rede elétrica no instante t (W)

$Q(t)$ - vazão de água no instante t (m³/h)

$H_{a(t)}$ - nível dinâmico do aquífero no poço no instante t (m)

$H_{m(t)}$ - leitura do manômetro no instante t (m)

L - comprimento da tubulação (m)

C - coeficiente de Hazen-Williams (adimensional)

D - diâmetro interno da tubulação (m)

K_n - coeficiente de perdas localizadas do acessório n

n - número de acessórios hidráulicos existentes

A Figura 6.1 apresenta os principais componentes do circuito hidráulico do poço piloto, onde poderá ser observado um trecho de tubulação de diâmetro 100 mm em aço galvanizado, de comprimento total entre o ponto de medição de pressão e a bomba de 36 m, precedido de um crivo e uma válvula de retenção junto à bomba, e seguido de uma curva de 90° também em aço galvanizado.

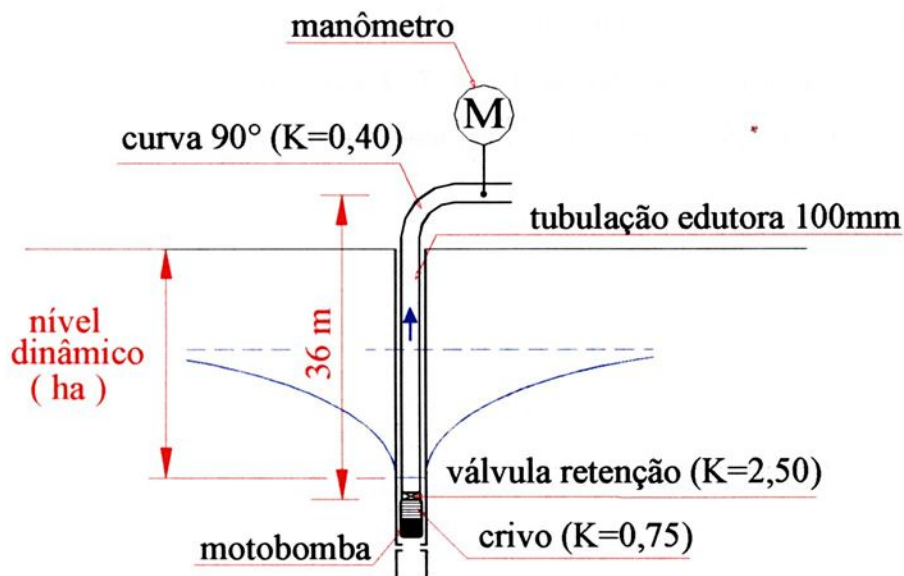


FIGURA 6.1 - Principais componentes hidráulicos do poço piloto.

Observa-se que n será igual a três, pois existem três acessórios hidráulicos no trecho considerado, a saber: crivo da bomba, válvula de retenção da bomba e curva de 90°.

De acordo com a Tabela 2.2, os valores de K para os acessórios existentes no trecho a montante do ponto de medição de pressão são:

$$K_{\text{crivo}} = 0,75$$

$$K_{\text{válvula retenção}} = 2,50$$

$$K_{\text{curva } 90^\circ} = 0,40$$

De acordo com a Tabela 2.1, o valor de C para o aço galvanizado da tubulação edutora é equivalente a 130.

Assim, considerando-se que o comprimento total da tubulação edutora é de 36 metros e que seu diâmetro é de 100 mm ou 0,1 m, aplicando-se estes valores numéricos na equação 6.1, e mantendo-se os parâmetros medidos como variáveis, o IEEG_(t) característico para o poço piloto será o apresentado na equação 6.2.

$$IEEG_{(t)} = \frac{P_{el(t)}}{Q_{(t)} \cdot (H_{a(t)} + H_{m(t)} + 9,18 \cdot 10^{-4} \cdot Q_{(t)}^{1,85} + 2,33 \cdot 10^{-4} \cdot Q_{(t)}^2)}$$

eq.(6.2)

onde:

IEEG_(t) - índice de eficiência energética global proposto no instante t (Wh/m³.m)

$P_{el(t)}$ - potência absorvida da rede elétrica no instante t (W)

$Q(t)$ - vazão de água no instante t (m³/h)

$H_{a(t)}$ - nível dinâmico do aquífero no poço no instante t (m)

$H_{m(t)}$ - leitura do manômetro no instante t (m)

Aplicando-se os valores medidos para as variáveis da equação 6.2, valores estes apresentados no Anexo B, para o período de operação da bomba, serão obtidos os seguintes valores de IEEG_(t), apresentados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1: IEEG_(t) calculado por meio de parâmetros medidos

Tempo Transcorrido após a Partida (min)	IEEG(t) (Wh/m ³ .m)	Tempo Transcorrido após a Partida (min)	IEEG(t) (Wh/m ³ .m)
0	7,419*	40	5,054
1	4,456*	45	5,139
2	4,905*	50	5,134
3	5,245*	55	5,116
4	4,895*	60	5,073
5	4,951*	75	5,066
6	4,688*	90	5,059
7	5,078*	105	5,042
8	4,843*	120	5,037
9	5,014*	135	5,090
10	5,103*	155	5,026
11	5,103*	185	5,031
12	5,099*	215	5,029
14	5,048*	245	5,044
16	5,039*	275	5,035
18	5,040*	305	5,027
20	4,984*	335	5,012
22	5,025	365	5,012
24	5,023	395	5,016
26	5,063	425	5,045
28	5,057	455	5,034
30	5,057	485	5,029
35	5,055		

* IEEG no período transitório (de 0 a 20 min de bombeamento)

Cabe ressaltar neste momento, que quanto menor for o valor numérico do IEEG obtido, mais eficiente será o sistema de bombeamento.

Observa-se também que após o período transitório, o IEEG praticamente se mantém constante.

A Figura 6.2 apresenta o mesmo resultado em forma de gráfico.

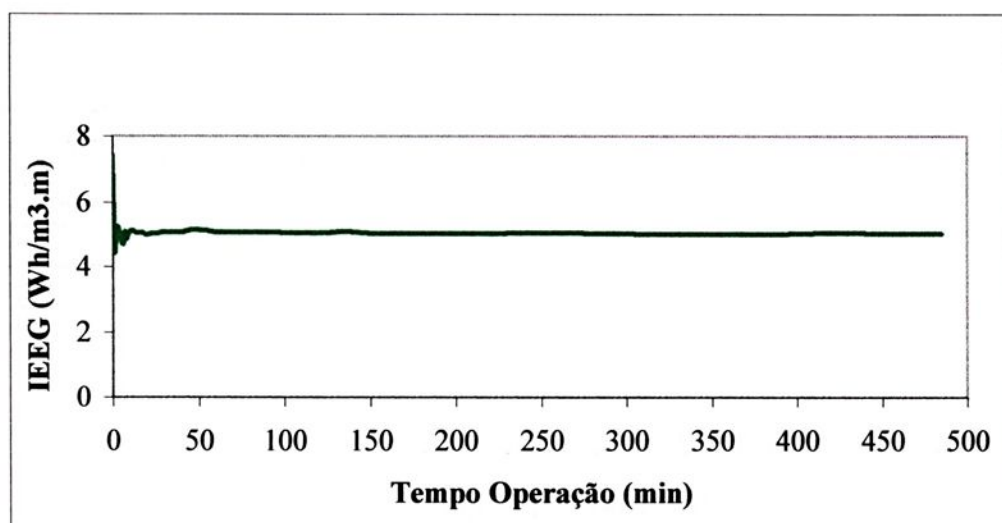


FIGURA 6.2 - Comportamento do $IEEG_{(t)}$ calculado por meio de parâmetros medidos, durante o tempo de operação da motobomba.

Observa-se na Figura 6.2 que o IEEG sofre uma variação no início do bombeamento, estabilizando-se a partir de aproximadamente 20 (vinte) minutos de operação da motobomba.

Para melhor visualizar o comportamento transitório do IEEG no início do bombeamento, a Figura 6.3 apresenta a mesma curva da Figura 6.2, porém apenas para os 20 (vinte) minutos iniciais de operação da motobomba.

A variação do início do bombeamento pode ser explicada pela variação do nível de água no interior do poço neste período, alterando a altura manométrica total, ocasionando uma alteração na vazão extraída do aquífero e na potência elétrica fornecida ao sistema pela rede alimentadora de energia elétrica.

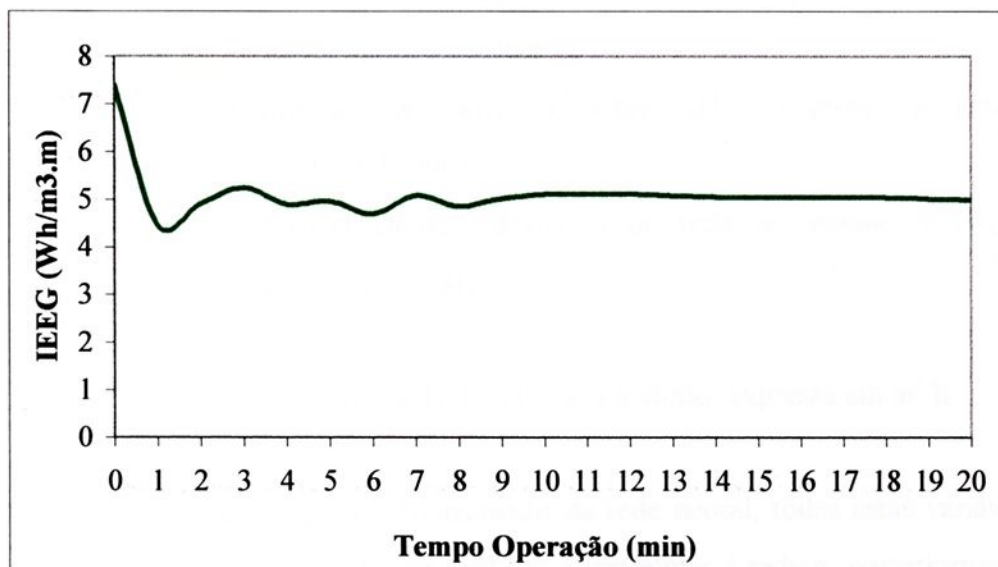


FIGURA 6.3 - Comportamento do $IEEG_{(t)}$ calculado por meio de parâmetros medidos, durante o período transitório.

6.3. CÁLCULO DO IEEG PARA O POÇO PILOTO UTILIZANDO-SE DE REDE NEURAL ARTIFICIAL

A determinação do IEEG utilizando a rede neural proposta também será feita a partir da equação 6.2, porém os valores de vazão serão aqueles obtidos da rede neural, e não mais aqueles medidos diretamente. Os demais parâmetros continuarão sendo aqueles originados das medições de campo.

Assim, para a determinação da vazão de exploração do aquífero utilizando-se da rede neural proposta, será necessário inicialmente o treinamento da mesma.

6.3.1. Treinamento da Rede Neural

As variáveis de entrada, conforme detalhado no Capítulo 4 são:

- Nível de água do aquífero no interior do poço no instante t ($H_{a(t)}$), expresso em metros
- Leitura do manômetro no instante t ($H_{m(t)}$), expresso em metros de coluna de água
- Potência elétrica absorvida da rede no instante t ($P_{el(t)}$), expresso em watts

A variável de saída da rede será a vazão, expressa em m^3/h .

Assim, para o treinamento da rede neural, todas estas variáveis (de entrada e de saída) deverão ser medidas e fornecidas à rede e, posteriormente ao treinamento, fornecendo-se apenas as variáveis de entrada, a rede será capaz de fornecer a variável de saída correspondente, sejam estes valores, agora apresentados, pertencentes ou não ao conjunto de valores utilizados para o treinamento.

Os valores das variáveis de entrada e a saída correspondente para um período de bombeamento, utilizados para o treinamento da rede, estão apresentados no Anexo C, e constituem um conjunto de 40 padrões (ou vetores) de treinamento.

Estes padrões foram aplicados a uma rede neural do tipo PMC (Perceptron Multi-Camadas) com duas camadas escondidas, e utilizando-se do algoritmo *backpropagation* foi efetuado seu treinamento.

A topologia da rede utilizada está apresentada na Figura 6.4.

O erro objetivado durante o treinamento e o número de épocas de treinamento, foram adotados considerando-se os trabalhos de autores como Silva (1999)^[4] e outros mencionados nas referências bibliográficas.



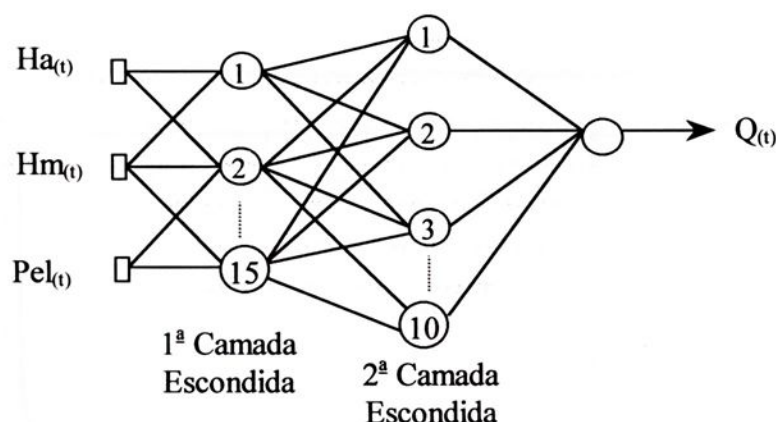


FIGURA 6.4 - Topologia da rede neural utilizada.

O número de camadas escondidas e o número de neurônios em cada camada foi determinado através do método de tentativa e erro, comparando-se os valores fornecidos pela saída da rede neural com as vazões efetivamente medidas e utilizadas como padrão de treinamento, até que a diferença (ou erro) apresentada ficasse limitada a valores pré-estabelecidos.

Assim, após a utilização de processo empírico, para o treinamento desta rede neural foram admitidos os seguintes parâmetros:

- Número de neurônios da 1ª camada escondida = 15
- Número de neurônios da 2ª camada escondida = 10
- Função de ativação da 1ª camada escondida = tangente sigmóide
- Função de ativação da 2ª camada escondida = tangente sigmóide
- Função de ativação da camada de saída = tangente sigmóide
- Algoritmo de treinamento = Levenberg Maquart
- Número de épocas de treinamento = 5000
- Erro objetivado = 1×10^{-5}

A Figura 6.5 apresenta a variação do erro durante o treinamento.

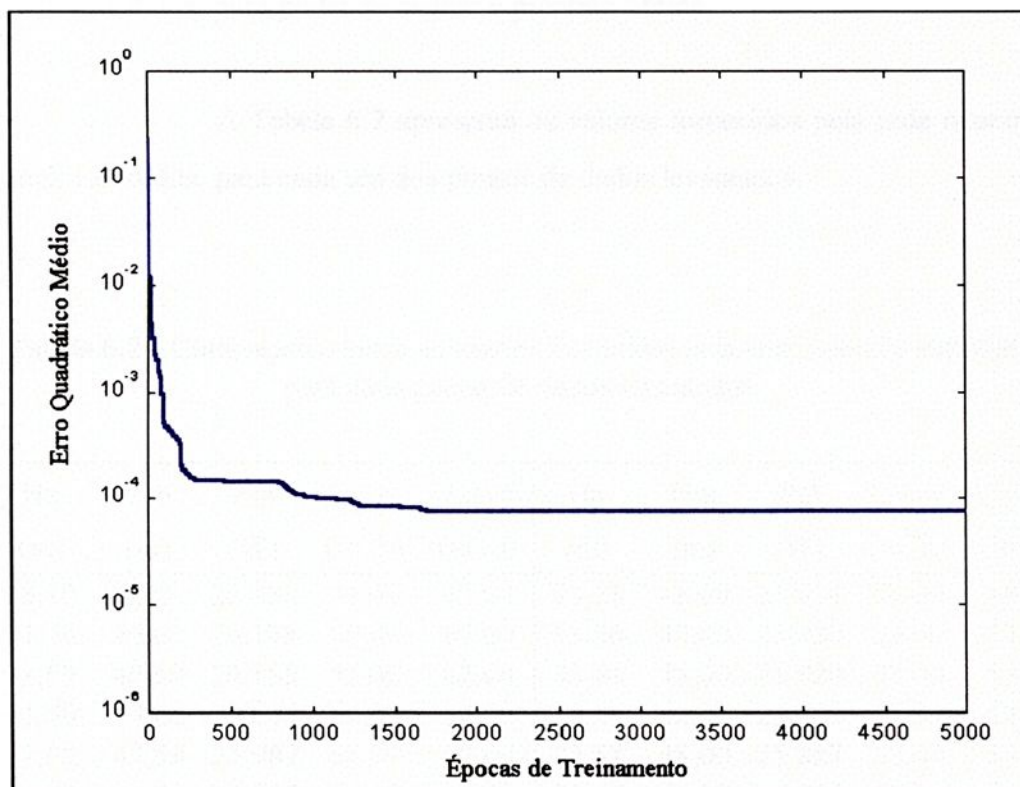


FIGURA 6.5 - Variação do erro durante o treinamento da rede neural.

O erro quadrático médio final obtido foi $7,9 \times 10^{-5}$, valor considerado aceitável por ser da mesma ordem de grandeza dos trabalhos de Silva (1999)^[4] e Cagnon (2000)^[1].

O algoritmo utilizado para implementar a rede neural no MATLAB versão 5.2.0.3084 está apresentado no Anexo D.

6.3.2. Aplicação da Rede Neural Treinada

Após o treinamento, foram aplicados os valores das variáveis de entrada e obtidos os valores de vazão fornecidos pela rede.

Esses valores obtidos da rede foram então comparados com aqueles medidos, para poder-se avaliar a precisão obtida.

A Tabela 6.2 apresenta os valores fornecidos pela rede neural e aqueles medidos, para cada um dos pontos de dados levantados.

Tabela 6.2 - Comparativo entre as vazões fornecidas pela rede neural e medidas, para cada grupo de dados levantados

Ha	Hm	Pel	Qrede	Q med.	Ha	Hm	Pel	Qrede	Q med.
(m)	(m)	(W)	(m ³ /h)	(m ³ /h)	(m)	(m)	(W)	(m ³ /h)	(m ³ /h)
25,10	8,25	26.256	74,99	75,00	33,28	48,00	25.954	54,00	54,00
31,34	40,00	26.188	69,00	69,00	33,36	48,00	25.920	53,00	53,00
31,69	40,50	26.155	53,00	62,00	33,44	48,00	25.920	53,00	53,00
31,89	43,00	26.054	56,00	56,00	33,59	48,00	25.869	53,01	53,00
31,82	47,50	25.987	56,99	57,00	33,58	48,00	25.887	53,49	53,50
31,92	48,00	25.987	56,00	56,00	33,69	48,00	25.886	53,50	53,50
32,07	48,00	25.970	58,99	59,00	33,83	48,00	25.886	53,49	53,50
31,12	48,00	25.953	55,00	55,00	33,97	48,00	25.835	53,50	53,50
32,20	48,00	25.953	57,03	57,00	34,06	48,00	25.835	53,50	53,50
32,30	48,00	25.953	54,86	55,00	34,15	48,00	25.887	53,50	53,00
32,38	48,00	25.954	54,19	54,00	34,27	48,00	25.836	53,50	53,50
32,44	48,00	25.970	54,03	54,00	34,36	48,00	25.886	53,49	53,50
32,50	48,00	25.970	54,08	54,00	34,41	48,00	25.886	53,48	53,50
32,59	48,00	25.970	54,30	54,50	34,53	48,00	25.903	53,35	53,30
32,69	48,00	25.954	54,45	54,50	34,59	48,00	25.869	53,31	53,30
32,74	48,00	25.970	54,77	54,50	34,62	48,00	25.836	53,30	53,30
32,86	48,00	25.954	54,76	55,00	34,71	48,00	25.785	53,25	53,30
32,89	48,00	25.936	54,59	54,50	34,83	48,00	25.819	53,17	53,30
32,94	48,00	25.936	54,51	54,50	34,89	48,00	25.853	53,15	53,30
33,00	48,00	25.953	54,40	54,50	34,95	48,00	25.870	53,14	53,00
33,05	48,00	25.937	54,15	54,00	34,97	48,00	25.819	53,14	53,00
33,11	48,00	25.920	53,94	54,00	35,00	48,00	25.801	53,14	53,00
33,26	48,00	25.954	58,54	54,00					

Os valores em **negrito** não foram apresentados a rede neural durante seu treinamento.

Quando reapresentados padrões utilizados para treinamento, observa-se que a diferença nos resultados é bem pequena, atingindo valores máximos de 0,35 % do valor medido. Quando apresentados novos padrões, o erro máximo atinge valores da ordem de 14,5 %. Observa-se ainda que o valor do erro para novos padrões diminui à medida que estes representem a situação de estabilidade operacional do conjunto motobomba, ou seja, afastam-se do período transitório de bombeamento.

A Figura 6.6 apresenta o comportamento das vazões obtidas através de medições e através da rede neural treinada.

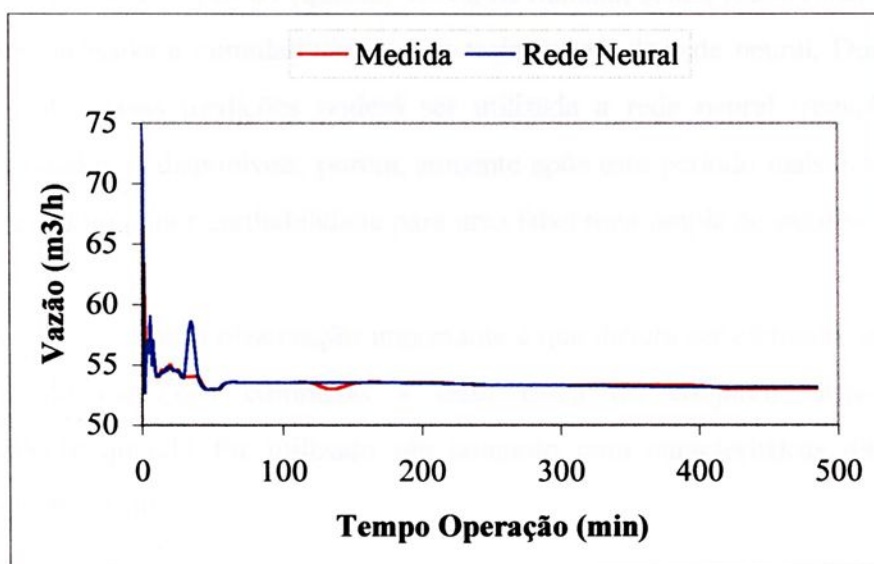


FIGURA 6.6 - Curvas comparativas entre as vazões medidas e fornecidas pela rede neural treinada.

Neste ponto cumpre observar que seria desejável um maior número de padrões de treinamento para a rede neural, especialmente se pudesse ser obtida uma maior variação na faixa de valores destes padrões. Entretanto, em virtude do poço piloto estar em operação normal, abastecendo o município de Piratininga – SP, não foi possível realizar-se variações na vazão de extração.

As variações na vazão, para menos, seriam possíveis de ser introduzidas fechando-se parcialmente o registro da saída do poço, enquanto que variações para mais, somente seriam possíveis substituindo-se o conjunto motobomba.

Em casos como este, onde não seja possível efetuar-se medições para uma ampla faixa de valores de vazão, recomenda-se que sejam efetuadas medições completas de todos os parâmetros necessários para o cálculo do IEEG a cada 06 (seis) meses e por 04 (quatro) vezes, no mínimo, sendo todos estes valores utilizados sucessiva e cumulativamente no treinamento da rede neural. Durante o período entre essas medições poderá ser utilizada a rede neural treinada com apenas os dados já disponíveis, porém, somente após este período mais extenso, a rede apresentará maior confiabilidade para uma faixa mais ampla de valores.

Outra observação importante é que deverá ser efetuado um novo conjunto de medições completas a cada troca do conjunto motobomba, especialmente quando for utilizado um conjunto com características diferentes daquele já instalado.

6.3.3. Cálculo do IEEG

Com base nos valores medidos da potência elétrica, do nível dinâmico e da pressão na saída do poço, e também da vazão obtida da rede neural, através da equação 6.2, determinou-se novamente o $IEEG_{(t)}$.



A Figura 6.7 mostra o comportamento do IEEG durante o período de bombeamento analisado.

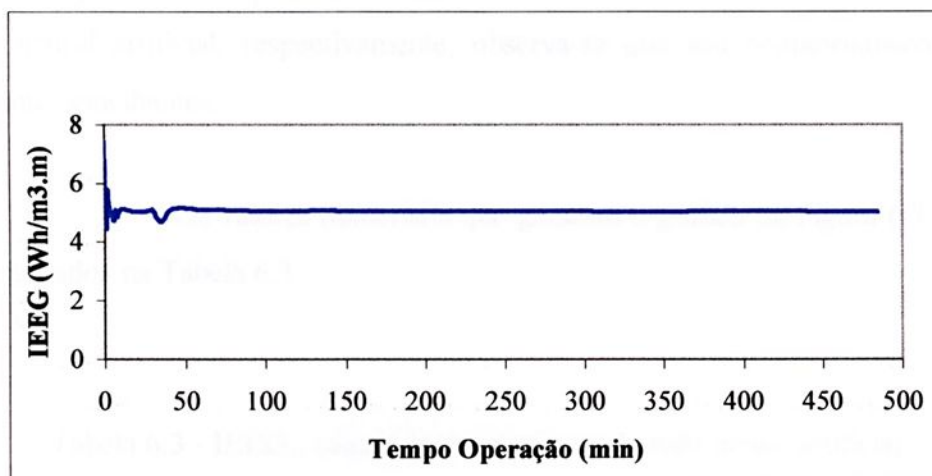


FIGURA 6.7 - Comportamento do $IEEG_{(t)}$ calculado, utilizando-se de rede neural artificial.

Uma melhor visualização gráfica do comportamento do IEEG no início do ciclo bombeamento (período transitório) é apresentado na Figura 6.8.

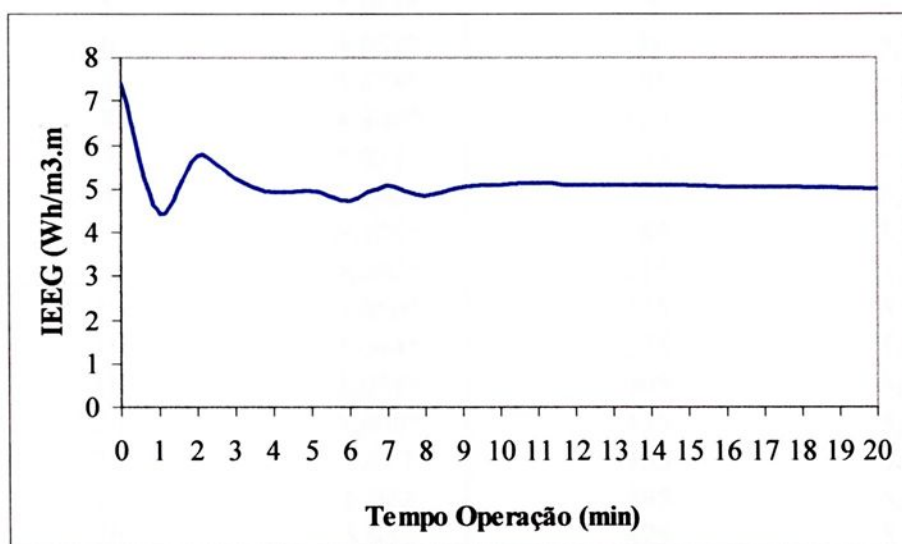


FIGURA 6.8 - Comportamento do $IEEG_{(t)}$ calculado, utilizando-se de rede neural artificial, no período transitório.

Observando-se as Figuras 6.2 e 6.7, que apresentam o IEEG calculado por meio de parâmetros medidos e o IEEG calculado utilizando-se de rede neural artificial, respectivamente, observa-se que seu comportamento são bastante semelhantes.

Os valores numéricos que geraram o gráfico da Figura 6.7 estão apresentados na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 - IEEG_(t) calculado utilizando-se de rede neural artificial

Tempo Transcorrido após a Partida (min)	IEEG(t) (Wh/m ³ .m)	Tempo Transcorrido após a Partida (min)	IEEG(t) (Wh/m ³ .m)
0	7,420*	40	5,054
1	4,456*	45	5,139
2	5,738*	50	5,134
3	5,245*	55	5,115
4	4,896*	60	5,073
5	4,951*	75	5,066
6	4,689*	90	5,060
7	5,078*	105	5,042
8	4,840*	120	5,037
9	5,027*	135	5,042
10	5,090*	155	5,026
11	5,100*	185	5,032
12	5,092*	215	5,030
14	5,066*	245	5,040
16	5,044*	275	5,034
18	5,015*	305	5,027
20	5,006*	335	5,017
22	5,017	365	5,025
24	5,022	395	5,030
26	5,032	425	5,031
28	5,049	455	5,020
30	5,062	485	5,015
35	4,663		

* IEEG no período transitório (de 0 a 20 min de bombeamento)

6.4. CÁLCULO DO IEEG TEÓRICO

O IEEG teórico será calculado para a situação de operação em regime (fora do período transitório), ou seja, após o nível de água e a vazão praticamente se estabilizarem.

Este cálculo terá como base a equação 4.6, que apresenta o IEEG em sua forma genérica.

O ponto de partida será a vazão esperada de produção, valor este determinado durante os testes de vazão efetuados logo após a perfuração do poço. O conjunto motobomba é determinado para oferecer o melhor rendimento para este valor de vazão.

Para o caso do poço piloto, de acordo com informações das planilhas de dados do poço, a vazão esperada é de $55,00 \text{ m}^3/\text{h}$.

Obteve-se também as curvas características do bombeador e do motor, de forma separada, componentes do conjunto motobomba instalado, conforme apresentado no Anexo E.

Assim, utilizando-se de métodos gráficos, assinalando-se o valor de $55,00 \text{ m}^3/\text{h}$ no eixo das abscissas da curva do bombeador, lê-se no eixo das ordenadas a altura manométrica total de 98 m, um rendimento do bombeador de 67 %, e uma potência consumida pelo bombeador (exigida no eixo do motor) de 29,0 HP (ou 21634 W).

Sabendo-se que o motor instalado no conjunto possui capacidade nominal de 30 HP, o carregamento do mesmo será de cerca de 97 %. Aplicando-se este valor na curva característica do motor, o rendimento do mesmo será de 82 %.



Portanto, a potência elétrica total absorvida da rede elétrica será de:

$$P_{el} = \frac{P_b}{\eta_m} = \frac{21.634}{0,82} = 26.383 \quad \text{eq. (6.3)}$$

onde:

P_{el} - potência elétrica absorvida da rede (W)

P_b - potência consumida pelo bombeador (W)

η_m - rendimento do motor (adimensional)

Então, IEEG teórico para a situação de regime, a partir da equação 4.6 está apresentado na equação 6.4.

$$IEEG = \frac{P_{el}}{Q \cdot H_T} = \frac{26383}{55 \cdot 98} = 4,895 \quad \text{eq. (6.4)}$$

Este IEEG teórico assim determinado representa a maior eficiência esperada para o conjunto motobomba instalado e será constante, pois considera apenas a situação de regime (ou de estabilidade) do sistema de captação.

6.5. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS IEEG CALCULADOS

O Índice de Eficiência Energética Global foi calculado utilizando-se de três sistemáticas diferentes, a saber:



- a) Utilizando-se de parâmetros medidos apenas;
- b) Utilizando-se de rede neural artificial;
- c) Utilizando-se da vazão esperada e de curvas características fornecidas pelo fabricante do conjunto motobomba (ou IEEG teórico).

O IEEG teórico, conforme apresentado no item 6.4, será constante e considera apenas o regime de estabilidade operacional, ou seja, a operação fora do período transitório. Por esta razão, inicialmente será efetuada uma análise comparativa entre o comportamento dos IEEG obtidos utilizando-se das outras duas sistemáticas.

A Figura 6.9 apresenta o comportamento dos IEEG calculados segundo as duas sistemáticas analisadas. A Tabela 6.4 apresenta os valores numéricos.

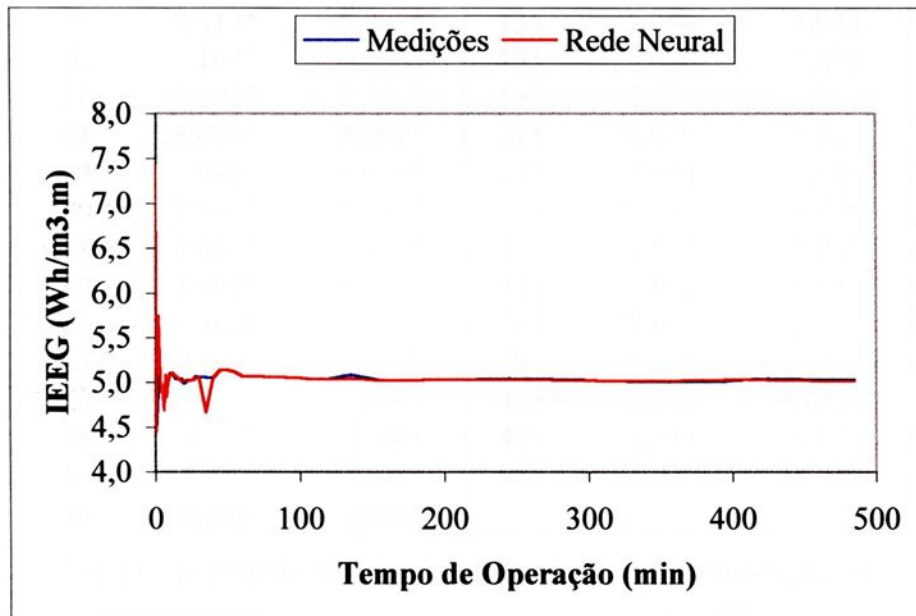


FIGURA 6.9 - Comportamento dos $IEEG_{(t)}$ calculados segundo as duas sistemáticas analisadas.

A escala do eixo das ordenadas está ampliada, cobrindo apenas a faixas que vai de 4,0 a 8,0, com a finalidade de mostrar as pequenas diferenças existentes entre as curvas, que muitas vezes são coincidentes.

Tabela 6.4 - IEEG_(t) calculado segundo as duas sistemáticas analisadas

Tempo (min)	IEEG(t) Medições (Wh/m ³ .m)	IEEG(t) Rede (Wh/m ³ .m)	Tempo (min)	IEEG(t) Medições (Wh/m ³ .m)	IEEG(t) Rede (Wh/m ³ .m)
0	7,419*	7,420*	40	5,054	5,054
1	4,456*	4,456*	45	5,139	5,139
2	4,905*	5,738*	50	5,134	5,134
3	5,245*	5,245*	55	5,116	5,115
4	4,895*	4,896*	60	5,073	5,073
5	4,951*	4,951*	75	5,066	5,066
6	4,688*	4,689*	90	5,059	5,060
7	5,078*	5,078*	105	5,042	5,042
8	4,843*	4,840*	120	5,037	5,037
9	5,014*	5,027*	135	5,090	5,042
10	5,103*	5,090*	155	5,026	5,026
11	5,103*	5,100*	185	5,031	5,032
12	5,099*	5,092*	215	5,029	5,030
14	5,048*	5,066*	245	5,044	5,040
16	5,039*	5,044*	275	5,035	5,034
18	5,040*	5,015*	305	5,027	5,027
20	4,984*	5,006*	335	5,012	5,017
22	5,025	5,017	365	5,012	5,025
24	5,023	5,022	395	5,016	5,030
26	5,063	5,032	425	5,045	5,031
28	5,057	5,049	455	5,034	5,020
30	5,057	5,062	485	5,029	5,015
35	5,055	4,663			

* IEEG no período transitório (de 0 a 20 min de bombeamento)

Os valores em negrito foram calculados com parâmetros não apresentados à rede neural durante seu treinamento.

A Figura 6.10 apresenta o comportamento dos IEEG segundo as duas sistemáticas analisadas, para o período transitório.

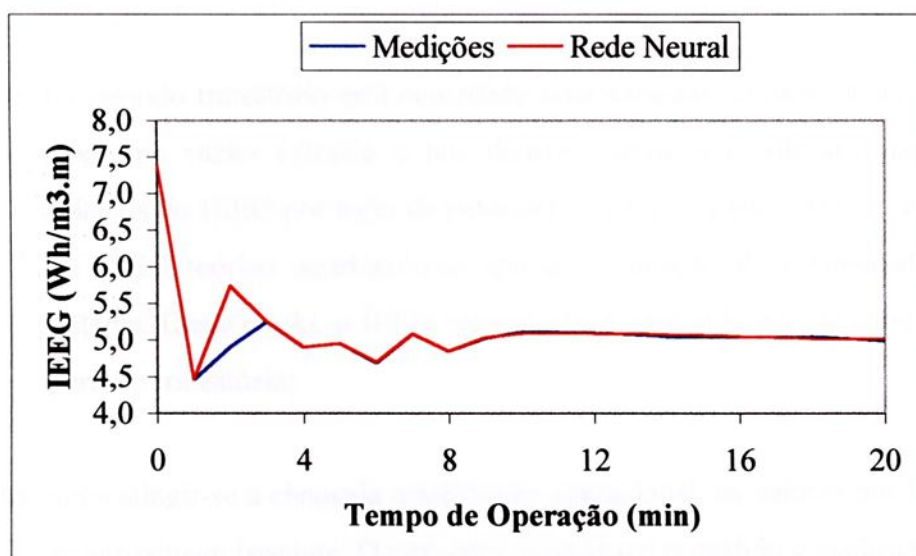


FIGURA 6.10 - Comportamento dos $IEEG_{(t)}$ calculados segundo as duas sistemáticas analisadas, para o período transitório.

Como pode ser observado nas Figuras 6.9 e 6.10, e na Tabela 6.4, a diferença entre os valores calculados por meio de parâmetros medidos apenas e aqueles calculados utilizando-se de rede neural artificial é pequena, apresentando erro médio de apenas 0,67 %.

Entretanto, quando observados os valores dos IEEG calculados com o auxílio da rede neural artificial, com parâmetros não utilizados no treinamento da rede (valores em negrito na Tabela 6.4), verifica-se que o erro médio sobe para 5,2 %. Notadamente, este fato é provocado por dois valores do IEEG, quais sejam, aqueles calculados para 2 minutos e para 35 minutos a partir do início do bombeamento, portanto, inserido no período transitório ou logo após o mesmo.

Quando comparados os valores da Tabela 6.4 com o IEEG teórico, que é constante, e para o poço piloto vale 4,895, as diferenças se tornam acentuadas, e podem ser explicadas pelas seguintes razões:

- a) no período transitório está ocorrendo uma variação no nível de água no poço, na vazão extraída e nos demais parâmetros utilizados para o cálculos do IEEG por meio de parâmetros reais, enquanto para o cálculo do IEEG teórico considerou-se apenas a situação de estabilidade do sistema. Deste modo, o IEEG teórico não é adequado para analisar-se o período transitório;
- b) após atingir-se a chamada estabilidade operacional, os valores dos IEEG se aproximam bastante. O erro entre o teórico e o medido é explicado em razão de possível desgaste no conjunto motobomba, de incrustações existentes na tubulação e, especialmente neste caso, em virtude de um rebaixamento no nível dinâmico do poço, uma vez que esperava-se que o nível de água atingisse a estabilidade (nível dinâmico) em 33,25 m, enquanto que o nível de água medido após 35 minutos de operação da motobomba já se apresentava mais baixo, em 33,26 m, e atingiu 35,00 m após 485 minutos de operação. Este fato provoca um aumento da altura manométrica, uma redução na vazão e um correspondente aumento no valor numérico do IEEG real.

Retomando a análise comparativa entre o IEEG calculado através dos parâmetros medidos e o IEEG calculado utilizando-se de redes neurais artificiais, a Tabela 6.5 apresenta os valores do erro para cada ponto, durante o período de bombeamento analisado, considerando a primeira sistemática de cálculo como referência.



Os valores negativos indicam que o valor obtido para o IEEG no ponto, apresentou-se menor que o valor de referência e os valores positivos indicam que o IEEG apresentou-se maior que o valor de referência.

Tabela 6.5 – Erro do IEEG_(t) calculado utilizando-se de rede neural artificial, considerando-se o IEEG calculado com dados medidos como referência

Tempo (min)	Erro IEEG Rede (%)	Tempo (min)	Erro IEEG Rede (%)
0	0,01*	40	0,00
1	0,00*	45	0,00
2	17,00*	50	0,00
3	0,00*	55	-0,02
4	0,02*	60	0,02
5	0,00*	75	0,00
6	0,02*	90	0,02
7	0,00*	105	0,00
8	-0,05*	120	0,00
9	0,26*	135	-0,94
10	-0,24*	155	0,00
11	-0,06*	185	0,02
12	-0,15*	215	0,04
14	0,37*	245	-0,09
16	0,09*	275	-0,02
18	-0,49*	305	0,00
20	0,44*	335	0,09
22	-0,16	365	0,24
24	-0,02	395	0,28
26	0,18	425	-0,26
28	-0,28	455	-0,26
30	0,11	485	-0,26
35	-7,76		

* Erro do IEEG no período transitório (de 0 a 20 min de bombeamento)

A Figura 6.11 mostra o comportamento do erro percentual entre os IEEG calculados por meio das duas sistemáticas analisadas, tomando-se como referência o IEEG calculado com dados medidos. Assim, a linha com valor zero refere-se a este IEEG de referência.

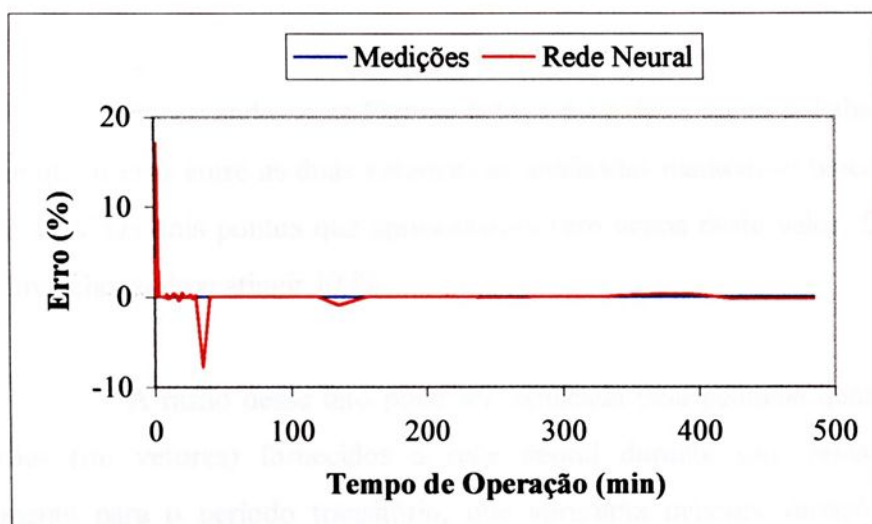


FIGURA 6.11 - Comportamento do erro do $IEEG_{(t)}$ calculado utilizando-se de rede neural artificial, considerando-se o IEEG calculado com dados medidos como referência.

A Figura 6.12 apresenta o mesmo gráfico anterior, porém apenas para o período subsequente ao transitório (após os 20 primeiros minutos), e está com a escala ampliada para o eixo das ordenadas.

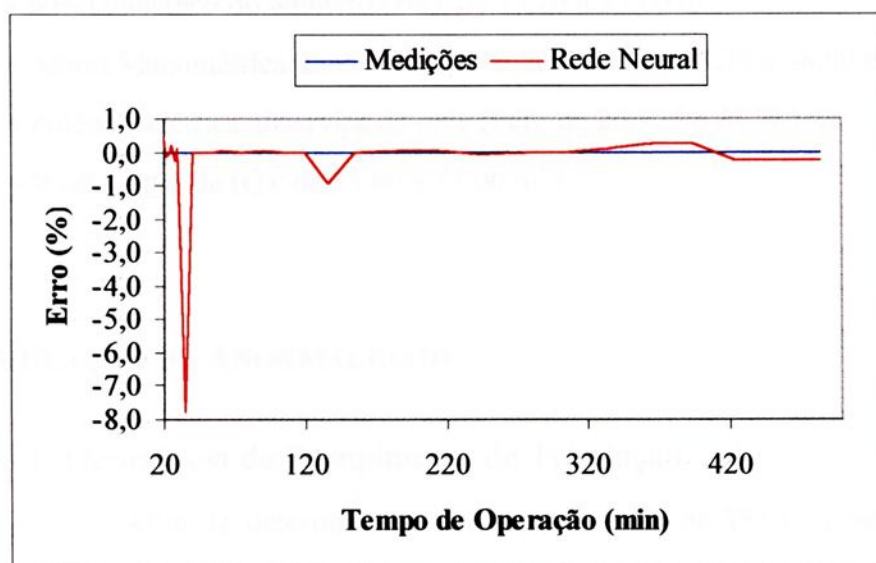


FIGURA 6.12 - Comportamento do erro do $IEEG_{(t)}$ calculado utilizando-se de rede neural artificial, considerando-se o IEEG calculado com dados medidos como referência, após o período transitório.

Observando-se as Figuras 6.11 e 6.12, bem como a Tabela 6.5, verifica-se que o erro entre as duas sistemáticas analisadas mantém-se tipicamente abaixo de 1 %. Os dois pontos que apresentaram erro acima deste valor, ficaram muito acima, chegando a atingir 17 %.

A razão desse fato pode ser explicada pela pequena quantidade de padrões (ou vetores) fornecidos a rede neural durante seu treinamento, especialmente para o período transitório, que apresenta maiores variações nos parâmetros de entrada da rede. Além disso, para alguns desses parâmetros a faixa de variação foi pequena.

Para o treinamento da rede neural proposta foram utilizados apenas 40 (quarenta) padrões, sendo que cada um deles apresentou a seguinte faixa de variação:

- Nível dinâmico do aquífero (H_a): de 25,10 a 35,00 m
- Altura Manométrica do circuito hidráulico (H_m): de 8,25 a 48,00 m
- Potência elétrica absorvida da rede (P_{el}): de 26.526 a 25.785 W
- Vazão extraída (Q): de 75,00 a 53,00 m³/h

6.6. SIMULAÇÃO DE ANORMALIDADE

6.6.1. Ocorrência de Rompimento de Tubulação

Afim de determinar-se o comportamento do IEEG quando da ocorrência de uma anormalidade com o sistema de captação do aquífero, tal como a ocorrência de um rompimento da tubulação adutora (ver Figura 4.1), será apresentado seu cálculo utilizando-se a sistemática do IEEG teórico.



Esta sistemática foi escolhida em virtude da indisponibilidade de dados reais.

Este cálculo simulatório terá como base a equação 4.6, que apresenta o IEEG em sua forma genérica.

O ponto de partida será a altura manométrica total que, nesta simulação, será admitida com sendo 80 metros de coluna d'água.

Serão utilizadas também as curvas características do bombeador e do motor, componentes do conjunto motobomba instalado, e apresentadas no Anexo E.

Assim, utilizando-se de métodos gráficos, assinalando-se o valor de 80,00 m no eixo das ordenadas da curva do bombeador, lê-se no eixo das abscissas a vazão de 73 m³/h, um rendimento do bombeador de 71 %, e uma potência consumida pelo bombeador (exigida no eixo do motor) de 30,0 HP (ou 22380 W).

Sabendo-se que o motor instalado no conjunto possui capacidade nominal de 30 HP, o carregamento do mesmo será de cerca de 100 %. Aplicando-se este valor na curva característica do motor, o rendimento do mesmo será de 82 %.

Portanto, a potência elétrica total absorvida da rede elétrica será de:

$$P_{el} = \frac{P_b}{\eta_m} = \frac{22.380}{0,82} = 27.293 \quad (W) \quad \text{eq. (6.5)}$$



Então, IEEG para a simulação, está apresentado na equação 6.6.

$$IEEG_{anorm1} = \frac{P_{el}}{Q \cdot H_T} = \frac{27293}{73 \cdot 80} = 4,673 \quad \text{eq. (6.6)}$$

O IEEG para a situação de rompimento de tubulação sofreu uma redução (no caso brusca) em seu valor, neste caso de 6,5 %, indicando uma anormalidade no sistema de captação.

6.6.2. Ocorrência de Obstrução na Tubulação

Esta situação poderá ocorrer quando do fechamento total ou parcial de registros de controle do sistema de captação.

Para esta simulação será adotada a mesma sistemática utilizada para rompimento de tubulação.

O ponto de partida será a altura manométrica total que, nesta simulação, será admitida com sendo 110 metros de coluna d'água.

Assim, utilizando-se de métodos gráficos, assinalando-se o valor de 110,00 m no eixo das ordenadas da curva do bombeador, lê-se no eixo das abscissas a vazão de 32 m³/h, um rendimento do bombeador de 60 %, e uma potência consumida pelo bombeador (exigida no eixo do motor) de 28,0 HP (ou 20888 W).

Sabendo-se que o motor instalado no conjunto possui capacidade nominal de 30 HP, o carregamento do mesmo será de cerca de 93 %. Aplicando-se este valor na curva característica do motor, o rendimento do mesmo será de 82 %.

Portanto, a potência elétrica total absorvida da rede elétrica será de:

$$P_{el} = \frac{P_b}{\eta_m} = \frac{20.888}{0,82} = 25.473 \text{ (W)} \quad \text{eq. (6.7)}$$

Então, IEEG para a simulação, está apresentado na equação 6.8.

$$IEEG_{anorm\ 2} = \frac{P_{el}}{Q \cdot H_T} = \frac{25473}{32 \cdot 110} = 7,237 \quad \text{eq. (6.8)}$$

O IEEG para a situação de obstrução na tubulação sofreu um aumento em seu valor, neste caso de 44,7 %, indicando uma anormalidade no sistema de captação.

6.7. CONCLUSÕES PARCIAIS

Neste capítulo foi apresentado um caso real de aplicação do Índice de Eficiência Energética Global – IEEG.

Inicialmente foram efetuados os cálculos necessários para levantar-se a equação característica do IEEG para este poço (equação 6.2).

A partir da equação característica determinou-se o IEEG de três maneiras: i) por meio de parâmetros medidos apenas; ii) utilizando-se de rede



neural artificial, e iii) por meio da vazão esperada e de curvas características fornecidas pelo fabricante da motobomba.

Posteriormente, foram simuladas duas situações de anormalidades do sistema de captação de água de aquíferos, e verificado o comportamento do IEEG proposto.

Neste momento, pode concluir-se que:

- 1) O IEEG proposto mostrou-se válido para expressar o comportamento energético global de todo o conjunto de captação, podendo ser empregado a partir de parâmetros medidos ou obtidos dos catálogos de conjunto motobombas;
- 2) A alternativa apresentada para a medição de vazão, através do emprego de redes neurais artificiais, mostrou-se válida, em princípio, pois apresentou erro menor que 1 % para cerca de 60 % dos padrões ‘estranhos’ (isto é, diferente dos utilizados para seu treinamento) apresentados. Entretanto, para que esta afirmativa seja realmente comprovada, entende-se que deverão ser fornecidos mais dados para o treinamento da rede, especialmente para o período transitório.

A comparação do IEEG teórico, que representa a melhor condição operacional esperada, com o IEEG calculado por meio de parâmetros medidos, permitiu concluir que a eficiência energética global do poço piloto no período analisado é satisfatória, uma vez que a diferença entre os valores obtidos após atingir-se a estabilidade operacional é da ordem de 3,06 % apenas.



Conclui-se assim pela viabilidade da utilização do IEEG proposto, quando se desejar um indicador da eficiência energética global de poços profundos.

6.8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CAGNON, J. A.; SAGGIORO, N. J.; SILVA, I. N.; Appliation of neural networks for analysis of the growndwater aquifer behavior. In: INDUSCON 2000, 2000, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: IEEE, 2000.
- [2] SAGGIORO, N. J.; SILVA, I. N.; CAGNON, J. A.; Análise do comportamento de aquíferos em poços profundos utilizando-se de redes neurais artificiais. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: AIDIS, 2000.
- [3] SILVA, I. N.; SAGGIORO, N. J.; CAGNON, J. A. Um sistema inteligente aplicado na estimação do comportamento dinâmico de aquíferos subterrâneos. In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE, 1999, São Paulo. *Anais...* São Paulo: USP, 1999.
- [4] SILVA, I. N.; SAGGIORO, N. J.; CAGNON, J. A. Using neural networks for estimation of aquifer dynamical behavior. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS, 2000, Como. *Anais...* Como: IEEE, 2000.

Capítulo 7

CONCLUSÕES GERAIS E TRABALHOS FUTUROS

7.1. RESUMO DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia para a determinação do Índice de Eficiência Energética Global – IEEG de poços profundos e sua aplicação prática através de um estudo de caso. O IEEG proposto expressa o comportamento energético de todo um sistema de captação de água de aquíferos, a partir de parâmetros facilmente mensuráveis.

Inicialmente foram apresentadas algumas definições importantes sobre aquíferos e poços profundos e quais são as variáveis mais importantes presentes em sistemas de captação de água de aquíferos. Foi apresentado o equacionamento matemático clássico, para o comportamento do nível da água no interior de um poço durante um ciclo de bombeamento, bem como as dificuldades encontradas para a utilização deste equacionamento ao longo da vida útil de um poço profundo.

Em seguida, foi apresentado um pequeno histórico do desenvolvimento de redes neurais artificiais e discutidos seus fundamentos, objetivando sua aplicação para a análise do comportamento do nível dinâmico dos poços profundos, como alternativa ao modelamento matemático clássico.

Valendo-se das equações que relacionam os principais parâmetros de um sistema de bombeamento de água em poços profundos, a saber: vazão, altura manométrica total e potência absorvida da rede elétrica alimentadora



de conjuntos motobombas submersíveis, foi desenvolvida uma metodologia para a determinação do Índice de Eficiência Energética Global – IEEG.

Após a determinação genérica do IEEG, foram apresentadas duas sistemáticas para seu cálculo, quais sejam: medindo-se todos os parâmetros necessários, e obtendo-se a vazão por meio de uma rede neural artificial previamente treinada.

Uma vez determinada a metodologia de cálculo do IEEG, foram realizados ensaios em poço piloto, afim de obter-se os parâmetros necessários para a determinação prática do IEEG proposto. Nesta etapa também foram obtidos todos os dados construtivos deste poço piloto e também do conjunto motobomba instalado.

De posse dos parâmetros do poço piloto, foram então determinados os IEEG empregando-se as duas sistemáticas apresentadas. Valendo-se das curvas características do fabricante do conjunto motobomba e da vazão esperada do poço, elaborou-se uma terceira sistemática para o cálculo do IEEG, o qual foi denominado IEEG teórico.

Finalizando, foi efetuada uma análise comparativa entre os resultados obtidos e comprovada a viabilidade da utilização da metodologia desenvolvida, para a determinação do Índice de Eficiência Energética Global – IEEG.

7.2. CONCLUSÕES GERAIS

A cada dia que passa torna-se mais importante utilizar bem os recursos naturais disponíveis.



A gestão dos recursos naturais de sistemas que exploram aquíferos subterrâneos compreende a análise de dois componentes básicos: a água, proveniente dos aquíferos e a energia elétrica, necessária para seu transporte até o ponto de utilização ou reservação. Assim, o desenvolvimento de um índice de eficiência que demonstre o comportamento energético de um dado sistema de captação, reveste-se de grande importância para o gerenciamento de um sistema consumidor de energia ou para mensurar o resultado obtido com medidas que visem a redução do consumo energético.

O IEEG então obtido irá indicar, o comportamento energético global do sistema de captação de água de aquíferos, sendo um indicador da ocorrência de anormalidades, seja ela referente ao rompimento de tubulações ou obstrução das mesmas.

Quando da utilização prática da metodologia desenvolvida e da determinação do índice proposto, constatou-se que a obtenção dos parâmetros necessários não apresenta grandes dificuldades, podendo ser feita de maneira rotineira pelos próprios operadores dos poços. Posteriormente, o cálculo do IEEGA poderá ser feito pelos próprios operadores, ou então, ser implementado por meio de software e disponibilizado aos usuários através de sistemas computacionais amigáveis.

Quanto aos resultados obtidos para o poço piloto, a comparação entre o IEEG calculado por meio de parâmetros medidos e o IEEG calculado utilizando-se de rede neural artificial, revelou um erro médio menor do que 1 % , para cerca de 60 % dos dados de testes apresentados. Para melhorar este desempenho, recomenda-se a obtenção de mais dados e sua apresentação à rede neural, quando de seu treinamento.

Comparando-se o IEEG calculado por meio de parâmetros medidos com o IEEG teórico, o erro médio encontrado foi de 5,06 % para o período transitório (os vinte primeiros minutos de operação da motobomba) e de 3,06 % para o restante do período analisado.

Estes dados demonstram que o IEEG teórico não é adequado para representar o comportamento energético do poço no período transitório, conforme esperado, pois quando da definição deste IEEG teórico considerou-se que o sistema se encontrava estabilizado.

Analisando-se o período de estabilidade do bombeamento (após o período transitório), a diferença entre os IEEG teórico e medido apresentou valor médio de 3,06 %, fato que permitiu concluir que a situação atual deste poço, quanto à eficiência energética global, é satisfatória. Em números absolutos, a possibilidade de redução na potência elétrica do conjunto é da ordem 790 W, ou seja, o valor médio de 25881 W absorvido da rede poderá ser reduzido para 25091 W, em média, no período de estabilidade operacional.

Entende-se assim que a viabilidade de utilização da metodologia para a determinação do IEEG fica comprovada.

Antes de finalizar, é importante destacar que o uso da energia elétrica no setor saneamento necessita ser mais discutido entre seus profissionais, deixando de ser um “mal necessário” ou “ mais uma conta a pagar”, mas ser considerado como realmente é: um insumo da produção !

Concluindo, acredita-se que as razões que originaram este trabalho tenham sido amplamente satisfeitas, pois partindo-se de uma necessidade prática, real, percebida durante atuação profissional do autor, na área de operação de poços profundos, chegou-se a uma metodologia que apresentou a solução

exigida, recompensando grandemente seus realizadores e cumprindo os objetivos da pesquisa aplicada.

7.3. TRABALHOS FUTUROS

Neste momento final observa-se a possibilidade de continuidade deste trabalho através do desenvolvimento das seguintes atividades:

- Verificação da possibilidade de utilização deste IEEG na comparação com outros poços, transformando este índice em um indicador absoluto de eficiência global.
- Generalização da metodologia apresentada para a determinação da vazão, utilizando-se de redes neurais artificiais, para outros poços.



ANEXOS

Este anexo apresenta os dados de identificação dos documentos e a descrição dos conteúdos dos mesmos, bem como a localização dos documentos no acervo da biblioteca.

ANEXO 1

ANEXO 2

ANEXOS

ANEXO A

Este anexo apresenta o catálogo do equipamento utilizado para a medição e registros das grandezas elétricas, contendo foto e algumas características, sendo que o modelo empregado foi o AR-4 M.



CIRCUITOR

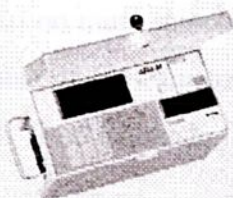


fig. 1

AR-4 M



fig. 2

AR-4 MP

ANALIZADORES DE REDES AR.4 M / AR.4 MP (con impresora) (Cód. 7 70 007 / 7 70 012)

CARACTERÍSTICAS GENERALES

El AR.4 M es un analizador de redes portátil que mide, calcula y guarda en memoria los principales parámetros eléctricos de una red monofásica o trifásica.

Visualización:

El aparato permite visualizar los valores instantáneos, máximos y mínimos de cada parámetro y de cada fase y los valores promedio o suma (ver tabla I).

Datos memorizados:

El equipo dispone de una memoria interna de 128 k donde periódicamente guarda:

- Los parámetros medidos (ver tabla I) (con definición de 1 s a 4 h).
- Las formas de onda de tensión y de corriente de cada fase para un posterior análisis de armónicos si previamente se ha programado.

Trigger:

La función de trigger consiste en que se pueden programar una serie de condiciones tales que si se cumplen el equipo guarda los datos en memoria; si no, sólo se pueden visualizar por display. Si no se programa ninguna condición guarda los datos siempre.

Canales de continua:

Dispone de dos canales auxiliares (0 a 2.5 V c.c.) de continua para el análisis de magnitudes externas a través de transductores adecuados.

AR.4 M + Impresora PT-42 N (opcional)

Los datos memorizados pueden ser impresos en forma numérica y gráfica (diagramas de barras).

En forma numérica se pueden imprimir todos los parámetros (modo estándar) o bien se pueden elegir hasta 8 distintos. La impresora va adosada a la tapa.

AR.4 M + Tarjeta de memoria + MCS-1

MEMORIA EXTERNA:
Los datos memorizados pueden ser volcados a una tarjeta portátil de memoria y posteriormente a través de un lector de tarjetas (MCS-1) introducir los datos a un PC compatible via RS-232.

SOFTWARE PARA PC:

Con el equipo se suministra el siguiente software estándar:

- Programa para visualizar la evolución de los parámetros en función del tiempo.
- Programa para visualizar las formas de onda de tensión y de corriente de cada fase y realiza un análisis de armónicos.

Bajo pedido puede estudiarse la posibilidad de crear otros programas. Con cada equipo se suministra el formato en que el AR.4 M guarda los datos en la memoria para que cada usuario pueda realizarse un software personalizado.

SUPPLY NETWORK ANALYZERS AR.4 M / AR.4 MP (with printer) (Code 7 70 007 / 7 70 012)

GENERAL CHARACTERISTICS

The AR.4 M is a portable instrument for single or three phase network analysis. It measures, calculates and stores the main parameters of electrical network. Software for PC handling of stored data is available.

Displayed data:

Different keyboard commands allow to display the instantaneous, minimum or maximum values in each phase of all the parameters shown in table I, to be displayed.

Stored data:

Data is periodically stored in the 128 k internal memory (battery saved). Stored data may consist of:

- Average, maximum and minimum values of V, I, W, var, etc. during certain periods (1 sec. to 4 hours).
- Sampled waveforms of V and I for each phase, allowing harmonics calculation in PC.

Trigger:

Several trigger conditions for memory storage may be programmed. By default storage is performed at regular time periods.

D.C. input channels:

Two analog input channels (0 to 2.5 V d.c.) are available for analysis and recording any magnitude through the adequate transducer.

AR.4 M + Printer PT-42 N (optional):

Allows numerical and graphical (bar graphs) printout of measured or stored parameters.

All the parameter list is printed in standard mode but a list of maximum 8 selected parameters may also be printed.

Printer PT-42 N is mounted in the lid.

AR.4 M + Memory card + MCS-1

Data stored in memory may be transferred to a removable memory card. Card files may be transferred to a PC compatible by means of a card reader MCS-1 connectable to the PC RS-232 channel.

SOFTWARE

A standard software package is available from CIRCUITOR for data processing, giving:

- Numerical or time graphs data representation.
- V and I waveform representation and harmonic analysis.

Additional personalized software may be supplied on request. Data format for memory card files is given so that the customer may design its own software.

ANEXO B

Neste anexo são apresentados os valores medidos no poço piloto e também o IEEG calculado utilizando-se da equação 6.2.

Os parâmetros foram medidos no poço piloto, denominado PP6, localizado no município de Piratininga-SP, pertencente e operado pela SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, Unidade de Negócio do Baixo Tietê e Grande.

As medições foram efetuadas no dia 04 de fevereiro de 2000, sendo que o início de operação da bomba deu-se às 7 h 50 min e seu desligamento as 15 h 45 min.

PERÍODO DE REPOUSO DO POÇO

Tempo de Repouso (min)	Nível de Água (m)	Tempo de Repouso (min)	Nível de Água (m)
0	33,60	10	26,58
1	28,53	15	26,32
2	27,93	20	26,12
3	27,64	25	25,97
4	27,44	30	25,83
5	27,14	35	25,74
6	26,98	45	25,59
7	26,83	60	25,40
8	26,74	75	25,25
9	26,65	90	25,13

Anexo B

PERÍODO DE OPERAÇÃO DO CONJUNTO MOTOBOMBA

Tempo após Partida (min)	$Pel(t)$ (W)	$Q(t)$ (m ³ /h)	H_a (m)	H_m (m)	IEEG (Wh/m ³ .m)
0	26.256	75,00	25,10	8,25	7,419
1	26.188	69,00	31,34	40,00	4,456
2	26.155	62,00	31,69	40,50	4,905
3	26.054	56,00	31,89	43,00	5,245
4	25.987	57,00	31,82	47,50	4,895
5	25.987	56,00	31,92	48,00	4,951
6	25.970	59,00	32,07	48,00	4,688
7	25.953	55,00	31,12	48,00	5,078
8	25.953	57,00	32,20	48,00	4,843
9	25.953	55,00	32,30	48,00	5,014
10	25.954	54,00	32,38	48,00	5,103
11	25.970	54,00	32,44	48,00	5,103
12	25.970	54,00	32,50	48,00	5,099
14	25.970	54,50	32,59	48,00	5,048
16	25.954	54,50	32,69	48,00	5,039
18	25.970	54,50	32,74	48,00	5,040
20	25.954	55,00	32,86	48,00	4,984
22	25.936	54,50	32,89	48,00	5,025
24	25.936	54,50	32,94	48,00	5,022
26	25.953	54,50	33,00	48,00	5,023
28	25.937	54,00	33,05	48,00	5,063
30	25.920	54,00	33,11	48,00	5,057
35	25.954	54,00	33,26	48,00	5,055
40	25.954	54,00	33,28	48,00	5,054
45	25.920	53,00	33,36	48,00	5,139
50	25.920	53,00	33,44	48,00	5,134
55	25.869	53,00	33,59	48,00	5,116
60	25.887	53,50	33,58	48,00	5,073
75	25.886	53,50	33,69	48,00	5,066
90	25.886	53,50	33,83	48,00	5,059
105	25.835	53,50	33,97	48,00	5,042
120	25.835	53,50	34,06	48,00	5,037
135	25.887	53,00	34,15	48,00	5,090

Anexo B

Tempo após Partida (min)	$P_{el(t)}$ (W)	$Q_{(t)}$ (m^3/h)	H_a (m)	H_m (m)	IEEG ($Wh/m^3.m$)
155	25.836	53,50	34,27	48,00	5,026
185	25.886	53,50	34,36	48,00	5,031
215	25.886	53,50	34,41	48,00	5,029
245	25.903	53,30	34,53	48,00	5,044
275	25.869	53,30	34,59	48,00	5,035
305	25.836	53,30	34,62	48,00	5,027
335	25.785	53,30	34,71	48,00	5,012
365	25.819	53,30	34,83	48,00	5,012
395	25.853	53,30	34,89	48,00	5,016
425	25.870	53,00	34,95	48,00	5,045
455	25.819	53,00	34,97	48,00	5,034
485	25.801	53,00	35,00	48,00	5,029

onde:

IEEG - índice de eficiência energética global calculado ($Wh/m^3.m$)

$P_{el(t)}$ - potência absorvida da rede elétrica no instante t após a partida da bomba (W)

$Q_{(t)}$ - vazão de água no instante t (m^3/h)

$H_{a(t)}$ - nível dinâmico do aquífero no interior do poço no instante t (m)

$H_{m(t)}$ - leitura do manômetro no instante t (m)

ANEXO C

Neste anexo são apresentados os valores que foram utilizados no treinamento da rede neural proposta.

Os parâmetros foram medidos no poço piloto, denominado PP6, localizado no município de Piratininga-SP, pertencente e operado pela SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, Unidade de Negócio do Baixo Tietê e Grande.

As medições foram efetuadas no dia 04 de fevereiro de 2000, no período das 7 h 50 min até as 15 h 45 min.

Ha (m)	Hm (m)	Pel (W)	Q (m ³ /h)	Ha (m)	Hm (m)	Pel (W)	Q (m ³ /h)
25,10	8,25	26.256	75,00	33,28	48,00	25.954	54,00
31,34	40,00	26.188	69,00	33,36	48,00	25.920	53,00
31,89	43,00	26.054	56,00	33,44	48,00	25.920	53,00
31,82	47,50	25.987	57,00	33,59	48,00	25.869	53,00
31,92	48,00	25.987	56,00	33,58	48,00	25.887	53,50
32,07	48,00	25.970	59,00	33,69	48,00	25.886	53,50
31,12	48,00	25.953	55,00	33,83	48,00	25.886	53,50
32,20	48,00	25.953	57,00	33,97	48,00	25.835	53,50
32,30	48,00	25.953	55,00	34,06	48,00	25.835	53,50
32,38	48,00	25.954	54,00	34,27	48,00	25.836	53,50
32,44	48,00	25.970	54,00	34,36	48,00	25.886	53,50
32,59	48,00	25.970	54,50	34,41	48,00	25.886	53,50
32,69	48,00	25.954	54,50	34,53	48,00	25.903	53,30
32,74	48,00	25.970	54,50	34,59	48,00	25.869	53,30
32,86	48,00	25.954	55,00	34,62	48,00	25.836	53,30
32,89	48,00	25.936	54,50	34,71	48,00	25.785	53,30
32,94	48,00	25.936	54,50	34,83	48,00	25.819	53,30
33,00	48,00	25.953	54,50	34,89	48,00	25.853	53,30
33,05	48,00	25.937	54,00	34,97	48,00	25.819	53,00
33,11	48,00	25.920	54,00	35,00	48,00	25.801	53,00

ANEXO D

Neste anexo é apresentado o algoritmo utilizado para treinamento da rede neural proposta, sendo que os termos precedidos pelo símbolo % são apenas comentários, não fazendo parte do algoritmo.

%POÇO DA SABESP EM PIRATININGA - PP6

%Treinamento de Rede Neural

```
M=[25.10 8.25 26526 75.00
31.34 40.00 26188 69.00
31.89 43.00 26054 56.00
31.82 47.50 25987 57.00
31.92 48.00 25987 56.00
32.07 48.00 25970 59.00
31.12 48.00 25953 55.00
32.20 48.00 25953 57.00
32.30 48.00 25953 55.00
32.38 48.00 25954 54.00
32.44 48.00 25970 54.00
32.59 48.00 25970 54.50
32.69 48.00 25954 54.50
32.74 48.00 25970 54.50
32.86 48.00 25954 55.00
32.89 48.00 25936 54.50
32.94 48.00 25936 54.50
33.00 48.00 25953 54.50
33.05 48.00 25937 54.00
33.11 48.00 25920 54.00
33.28 48.00 25954 54.00
33.36 48.00 25920 53.00
33.44 48.00 25920 53.00
33.59 48.00 25869 53.00
33.58 48.00 25887 53.50
33.69 48.00 25886 53.50
33.83 48.00 25886 53.50
33.97 48.00 25835 53.50
34.06 48.00 25835 53.50
34.27 48.00 25836 53.50
34.36 48.00 25886 53.50]
```


Anexo D

```
34.41 48.00 25886 53.50
34.53 48.00 25903 53.30
34.59 48.00 25869 53.30
34.62 48.00 25836 53.30
34.71 48.00 25785 53.30
34.83 48.00 25819 53.30
34.89 48.00 25853 53.30
34.97 48.00 25819 53.00
35.00 48.00 25801 53.00]; %Dados Reais Medições: Ha(m), Pressão(m),
Pot.El.(W), Q(m³/h)
```

```
p=[M(:,1:3)]'; %Dados de entrada
```

```
d=[M(:,4)]'; %Dados de saída
```

```
dominio=[min(p');max(p')]; % Normalização dos dados de entrada da rede
```

```
camadas=[15,10,1]; %Neurônios 1a. camada escondida, da 2a. camada, e da saída
```

```
ativacoes={'tansig','tansig','tansig'}; %Funções de ativação das camadas
```

```
treinamento='trainlm'; %Tipo de algoritmo de treinamento
```

```
net=newff(dominio,camadas,ativacoes,treinamento); %Características da rede
```

```
net.trainParam.show=1;
```

```
net.trainParam.epochs=5000; %Épocas de treinamento
```

```
net.trainParam.goal=1e-5; %Erro admitido
```

```
net.trainParam.min_grad=1e-50;
```

```
[pn,minp,maxp,dn,mind,maxd]=premnmx(p,d);
```

```
net=train(net,pn,dn);
```

```
save pesos %Salva os valores do treinamento no arquivo 'pesos'
```

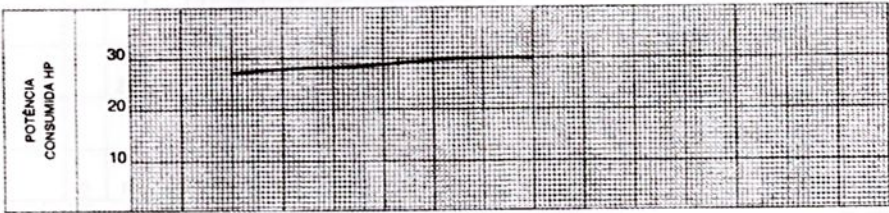
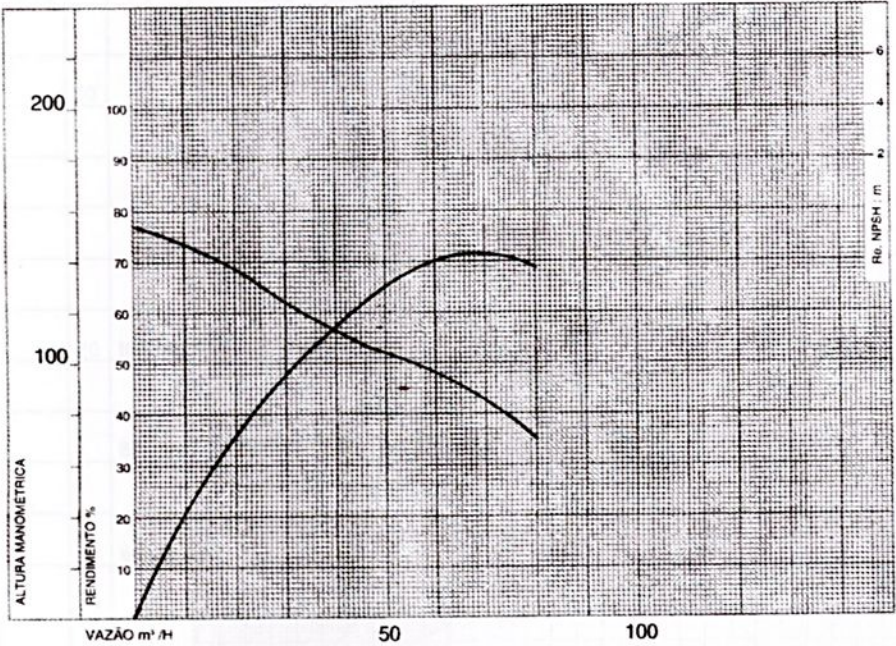
ANEXO E

Neste anexo são apresentadas as curvas características do bombeador e do motor instalados no poço piloto.

CURVAS CARACTERÍSTICAS DO BOMBEADOR

	BOMBA SUBMERSÍVEL BHS 517-9	CURVA Nº
		B0421 01.06.93

CURVA CARACTERÍSTICA



VAZÃO	ALTURA MANOMÉTRICA	POTÊNCIA	CICLOS
m³/h	m	30 HP	60 Hz
Nº ESTÁGIO	Ø ROTOR	ROTAÇÃO	SUJEITO A ALTERAÇÃO SEM PREVIO AVISO.
9	96,4-BR517	3420 rpm	

EBARA - INDÚSTRIAS MECÂNICAS E COMÉRCIO LTDA.

Anexo E

CURVAS CARACTERÍSTICAS DO MOTOR

EBARA CORPORATION

No. M0235

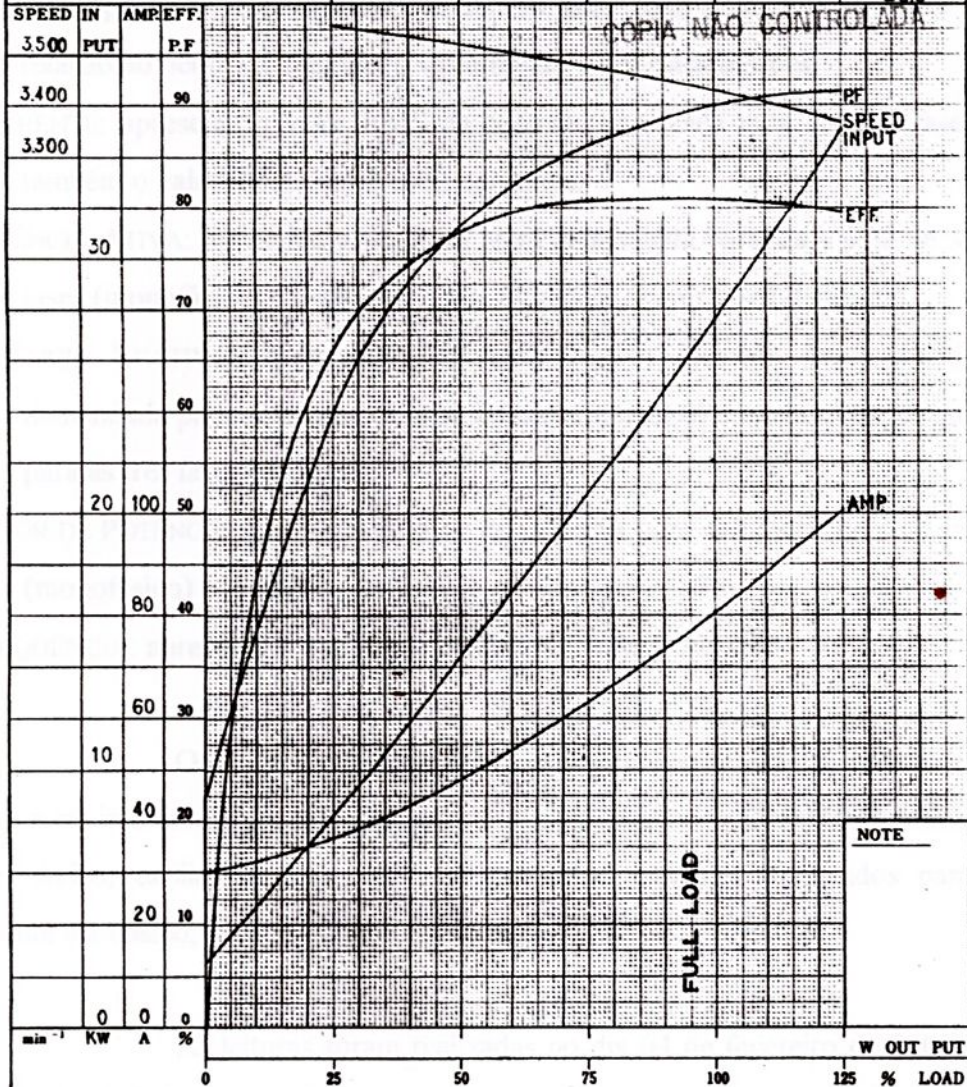
PERFORMANCE CHARACTERISTICS CURVE OF THREE PHASE INDUCTION MOTOR

MODEL **BHS-M6G** OUT PUT **30HP** # / POLES **2** VOLTS **220 V** / AMPERES **85 A**

RATING CONT. / SPEED **3420** min⁻¹ / FREQUENCY **60** Hz

INSULATION CLASS **Y** / BEARING LS O.S. / DATE **01.06.92**

NO LOAD TEST	V	A	W	Hz	WINDING
LOCKED ROTOR TEST	V	A	W	Hz	RESISTANCE
	V	A	W	Hz	0.2020 Ω
					250 °C



MAXIMUM OUT PUT **213 %** BREAKDOWN TORQUE **273 %** LOCKED ROTOR TORQUE **232 %**
 LOCKED ROTOR CURRENT **435 A** WINDING SPEC.
 TESTED BY *[Signature]* CHECKED BY *[Signature]* APPROVED BY *[Signature]*

ANEXO F

Este anexo apresenta as grandezas elétricas medidas e registradas, utilizando-se um Analisador de Redes modelo *AR-4 M*, fabricado pela *Circuitor*, de procedência espanhola, com posterior utilização software apropriado para interpretação dos dados. Este equipamento apresenta valores para as seguintes grandezas elétricas com suas respectivas características:

- **TENSÃO:** apresenta o valor RMS da tensão para cada uma de suas fases em relação ao neutro, e também o valor médio entre estas tensões.
- **CORRENTE:** apresenta o valor RMS da corrente para cada uma de suas fases e também o valor médio entre estas correntes.
- **POTÊNCIA ATIVA:** apresenta a potência ativa demandada para cada uma de suas fases (monofásica) e também o valor total para as três fases (trifásica).
- **POTÊNCIA REATIVA:** apresenta a potência reativa indutiva (ou capacitiva) demandada para cada uma de suas fases (monofásica) e também o valor total para as três fases (trifásica).
- **FATOR DE POTÊNCIA:** apresenta o fator de potência para cada uma de suas fases (monofásico) e também o valor para as três fases (trifásico).
- **FREQÜÊNCIA:** apresenta a freqüência média lida para as três fases.

O equipamento mediu valores instantâneos de todas as grandezas acima e em intervalos programados, a cada minuto registrou em cartão de memória esses dados, explicitando os valores máximos e mínimos observados para a corrente e a tensão, no intervalo de tempo sob análise.

As leituras foram realizadas no dia 04 de fevereiro de 2000, no período das 7 h 50 min as 15 h 45 min.



Data dia/mês	Hora	V1 (V)	V2 (V)	V3 (V)	VIII (V)	Vx1 (V)	Vx2 (V)	Vx3 (V)	Vn1 (V)	Vn2 (V)	Vn3 (V)	A1 (A)	A2 (A)	A3 (A)	AIII (A)	Ax1 (A)	Ax2 (A)	Ax3 (A)	An1 (A)	An2 (A)	An3 (A)	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)	PIII (W)	Q1 (VAr)	Q2 (VAr)	Q3 (VAr)	QIII (VAr)	FP1	FP2	FP3	FPIII	Freq. (Hz)
04/02	7:50	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	77,5	76,7	78,9	77,7	77,7	77,0	79,3	76,3	75,7	78,1	8.764	8.579	8.913	26.256	3.660	3.861	3.961	11.482	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	7:51	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	77,3	76,6	78,8	77,6	77,5	76,8	79,0	77,2	76,5	78,7	8.747	8.562	8.879	26.188	3.643	3.827	3.927	11.397	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	7:52	122	122	123	122	123	122	124	122	122	123	77,4	75,7	79,0	77,4	77,7	76,5	79,4	77,2	75,1	78,7	8.781	8.461	8.913	26.155	3.609	3.794	4.028	11.431	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	7:53	122	122	124	122	123	122	124	122	122	123	77,3	74,9	78,9	77,1	77,7	75,3	79,2	76,9	74,7	78,7	8.781	8.377	8.896	26.054	3.593	3.777	4.078	11.448	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	7:54	123	122	124	123	123	123	124	122	122	124	77,0	74,6	78,7	76,7	77,1	74,7	78,8	76,8	74,4	78,6	8.764	8.344	8.879	25.987	3.593	3.794	4.095	11.482	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	7:55	123	123	124	123	123	123	124	123	122	124	76,9	74,4	78,6	76,6	77,1	74,7	78,8	76,8	74,1	78,6	8.781	8.327	8.879	25.987	3.593	3.794	4.112	11.499	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	7:56	123	122	124	123	123	123	124	122	122	124	77,1	74,3	78,8	76,7	77,1	74,6	78,9	76,9	74,1	78,6	8.781	8.310	8.879	25.970	3.559	3.760	4.095	11.414	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	7:57	123	122	124	123	123	123	124	122	122	124	76,9	74,3	78,8	76,7	77,1	74,5	79,0	76,8	74,1	78,8	8.764	8.293	8.896	25.953	3.559	3.794	4.112	11.465	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	7:58	123	122	124	123	123	123	124	123	122	124	76,9	74,2	78,8	76,6	77,1	74,4	78,9	76,8	74,1	78,7	8.781	8.293	8.879	25.953	3.542	3.743	4.095	11.380	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	7:59	123	122	124	123	123	123	124	123	122	124	76,9	74,3	78,7	76,6	77,1	74,4	78,8	76,8	74,1	78,6	8.764	8.310	8.879	25.953	3.576	3.777	4.112	11.465	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:00	123	123	124	123	123	123	124	123	122	124	77,0	74,2	78,5	76,6	77,1	74,4	78,7	76,8	74,2	78,4	8.781	8.310	8.863	25.954	3.576	3.760	4.095	11.431	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:01	123	123	124	123	124	123	125	123	123	124	76,5	74,1	78,5	76,4	76,9	74,4	78,8	76,5	74,1	78,3	8.764	8.310	8.896	25.970	3.609	3.844	4.146	11.599	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	8:02	123	123	124	123	123	123	125	123	123	124	76,6	74,2	78,5	76,5	77,0	74,4	78,7	76,5	74,1	78,4	8.764	8.327	8.879	25.970	3.593	3.811	4.146	11.550	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	8:03	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,7	74,2	78,5	76,5	77,0	74,4	78,7	76,6	74,1	78,5	8.764	8.310	8.879	25.953	3.593	3.794	4.112	11.499	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:04	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,7	74,3	78,5	76,5	76,8	74,5	78,8	76,5	74,2	78,4	8.764	8.327	8.879	25.970	3.576	3.794	4.112	11.482	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	8:05	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,6	74,3	78,4	76,5	76,8	74,6	78,7	76,5	74,2	78,4	8.747	8.327	8.879	25.953	3.609	3.827	4.112	11.548	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	8:06	123	123	124	123	123	123	125	123	123	124	76,6	74,3	78,3	76,4	76,9	74,5	78,5	76,5	74,2	78,3	8.747	8.344	8.863	25.954	3.609	3.811	4.112	11.532	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:07	123	123	124	123	123	123	125	123	122	124	76,6	74,4	78,4	76,5	77,0	74,6	78,7	76,5	74,2	78,2	8.747	8.344	8.863	25.954	3.593	3.811	4.112	11.516	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	8:08	123	123	124	123	123	123	125	123	123	124	76,6	74,2	78,5	76,5	76,9	74,5	78,7	76,5	74,1	78,4	8.764	8.327	8.879	25.970	3.593	3.794	4.112	11.499	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:09	123	123	124	123	124	123	125	123	123	124	76,6	74,3	78,2	76,4	77,0	74,4	78,5	76,5	74,1	78,2	8.764	8.327	8.863	25.954	3.609	3.811	4.129	11.549	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:10	123	123	124	123	124	123	125	123	123	124	76,6	74,3	78,2	76,4	76,8	74,5	78,4	76,5	74,2	78,2	8.747	8.344	8.863	25.954	3.626	3.827	4.112	11.565	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	8:11	123	123	124	123	124	123	125	123	123	124	76,5	74,3	78,4	76,4	76,7	74,6	78,5	76,4	74,2	78,3	8.747	8.344	8.879	25.970	3.609	3.827	4.129	11.565	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	8:12	123	123	124	123	123	123	125	123	123	124	76,5	74,3	78,5	76,4	76,7	74,5	78,6	76,3	74,2	78,4	8.730	8.327	8.879	25.936	3.593	3.827	4.112	11.532	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	8:13	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,6	74,2	78,5	76,5	76,7	74,4	78,7	76,5	74,2	78,5	8.747	8.310	8.879	25.936	3.576	3.811	4.112	11.499	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	8:14	123	123	124	123	123	123	125	123	123	124	76,6	74,2	78,5	76,5	76,8	74,4	78,7	76,5	74,1	78,3	8.747	8.310	8.879	25.936	3.593	3.811	4.112	11.516	0,92	0,90	0,90	0,91	60

Data dia/mês	Hora	V1 (V)	V2 (V)	V3 (V)	VIII (V)	Vx1 (V)	Vx2 (V)	Vx3 (V)	Vn1 (V)	Vn2 (V)	Vn3 (V)	A1 (A)	A2 (A)	A3 (A)	AIII (A)	Ax1 (A)	Ax2 (A)	Ax3 (A)	An1 (A)	An2 (A)	An3 (A)	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)	PIII. (W)	Q1 (VAr)	Q2 (VAr)	Q3 (VAr)	QIII. (VAr)	FP1	FP2	FP3	FPIII	Freq. (Hz)
04/02	8:15	123	123	124	123	123	123	125	123	123	124	76,6	74,2	78,4	76,4	76,9	74,4	78,5	76,5	74,1	78,3	8.764	8.327	8.863	25.954	3.593	3.811	4.129	11.533	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	8:16	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,6	74,3	78,5	76,5	76,8	74,4	78,6	76,5	74,2	78,4	8.747	8.327	8.879	25.953	3.593	3.794	4.112	11.499	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	8:17	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,6	74,3	78,5	76,5	76,9	74,6	78,6	76,5	74,2	78,4	8.747	8.327	8.879	25.953	3.576	3.794	4.095	11.465	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:18	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,6	74,3	78,4	76,5	76,9	74,6	78,6	76,5	74,1	78,3	8.747	8.327	8.863	25.937	3.609	3.811	4.112	11.532	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:19	123	123	124	123	123	123	124	123	122	124	76,7	74,3	78,5	76,5	77,0	74,5	78,7	76,5	74,2	78,3	8.747	8.327	8.863	25.937	3.576	3.777	4.095	11.448	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:20	123	123	124	123	123	123	124	123	122	124	76,7	74,1	78,4	76,4	76,9	74,3	78,6	76,5	74,1	78,2	8.747	8.310	8.863	25.920	3.559	3.760	4.078	11.397	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:21	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,7	74,2	78,4	76,5	77,0	74,4	78,6	76,5	74,1	78,2	8.747	8.310	8.863	25.920	3.593	3.794	4.112	11.499	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	8:22	123	123	124	123	124	123	125	123	123	124	76,5	74,2	78,3	76,4	76,9	74,4	78,5	76,5	74,1	78,2	8.747	8.327	8.863	25.937	3.609	3.811	4.112	11.532	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	8:23	123	123	124	123	124	123	125	123	123	124	76,7	74,3	78,2	76,4	76,9	74,5	78,4	76,5	74,1	78,1	8.764	8.344	8.846	25.954	3.626	3.794	4.112	11.532	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	8:24	123	123	124	123	124	123	125	123	123	124	76,5	74,3	78,2	76,3	76,8	74,6	78,3	76,5	74,2	78,1	8.747	8.344	8.846	25.937	3.626	3.827	4.112	11.565	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	8:25	123	123	124	123	123	123	125	123	123	124	76,5	74,3	78,2	76,4	76,8	74,5	78,4	76,5	74,3	78,2	8.747	8.344	8.863	25.954	3.593	3.794	4.095	11.482	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:26	123	123	124	123	123	123	125	123	123	124	76,5	74,3	78,4	76,4	76,7	74,5	78,6	76,4	74,2	78,3	8.730	8.344	8.879	25.953	3.576	3.794	4.078	11.448	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:27	123	123	124	123	123	123	125	123	123	124	76,6	74,2	78,4	76,4	76,8	74,3	78,7	76,5	74,1	78,4	8.747	8.310	8.879	25.936	3.593	3.811	4.129	11.533	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	8:28	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,7	74,1	78,4	76,4	76,9	74,4	78,6	76,5	74,1	78,3	8.764	8.310	8.863	25.937	3.593	3.794	4.112	11.499	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:29	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,8	74,1	78,4	76,5	77,0	74,3	78,5	76,6	74,1	78,3	8.764	8.310	8.863	25.937	3.576	3.760	4.112	11.448	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:30	123	123	124	123	123	123	125	123	123	124	76,7	74,2	78,3	76,4	77,0	74,4	78,5	76,6	74,1	78,2	8.764	8.327	8.863	25.954	3.609	3.794	4.129	11.532	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	8:31	123	123	124	123	124	123	125	123	123	124	76,6	74,1	78,3	76,4	76,8	74,3	78,5	76,5	74,1	78,2	8.764	8.310	8.863	25.937	3.576	3.777	4.095	11.448	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:32	123	123	124	123	123	123	125	123	123	124	76,7	74,2	78,3	76,4	77,0	74,4	78,5	76,5	74,1	78,2	8.764	8.327	8.863	25.954	3.576	3.760	4.095	11.431	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	8:33	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,8	74,2	78,3	76,5	77,0	74,3	78,5	76,5	74,1	78,2	8.764	8.310	8.846	25.920	3.593	3.777	4.112	11.482	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:34	123	123	124	123	123	123	124	123	122	124	76,6	74,2	78,4	76,4	76,9	74,5	78,6	76,5	74,1	78,3	8.747	8.310	8.863	25.920	3.576	3.794	4.112	11.482	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:35	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,7	74,3	78,3	76,5	76,9	74,6	78,4	76,6	74,2	78,2	8.747	8.327	8.846	25.920	3.593	3.777	4.078	11.448	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:36	123	123	124	123	123	123	124	123	122	124	76,7	74,4	78,2	76,4	77,0	74,6	78,4	76,6	74,3	78,1	8.747	8.344	8.829	25.920	3.609	3.777	4.078	11.464	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:37	123	123	124	123	123	123	124	123	122	124	76,7	74,5	78,2	76,5	77,0	74,7	78,3	76,7	74,3	78,1	8.747	8.344	8.829	25.920	3.593	3.760	4.062	11.415	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:38	123	123	124	123	124	123	125	123	123	124	76,6	74,2	78,2	76,3	76,8	74,4	78,3	76,5	74,1	78,1	8.764	8.327	8.846	25.937	3.626	3.794	4.112	11.532	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	8:39	123	123	124	123	124	123	125	123	123	124	76,7	74,2	78,2	76,4	76,9	74,4	78,4	76,5	74,1	78,1	8.764	8.327	8.846	25.937	3.593	3.760	4.078	11.431	0,92	0,91	0,90	0,91	60



Data dia/mês	Hora	V1 (V)	V2 (V)	V3 (V)	VIII (V)	Vx1 (V)	Vx2 (V)	Vx3 (V)	Vn1 (V)	Vn2 (V)	Vn3 (V)	A1 (A)	A2 (A)	A3 (A)	AIII (A)	Ax1 (A)	Ax2 (A)	Ax3 (A)	An1 (A)	An2 (A)	An3 (A)	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)	PIII (W)	Q1 (VAr)	Q2 (VAr)	Q3 (VAr)	QIII (VAr)	FP1	FP2	FP3	FPIII	Freq. (Hz)
04/02	8:40	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,7	74,2	78,3	76,4	76,9	74,6	78,5	76,5	74,1	78,2	8.747	8.327	8.846	25.920	3.593	3.777	4.095	11.465	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:41	123	123	124	123	123	123	124	123	122	124	76,8	74,2	78,3	76,5	77,1	74,4	78,5	76,5	74,1	78,2	8.764	8.310	8.846	25.920	3.609	3.777	4.095	11.481	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:42	123	123	124	123	123	123	124	123	122	124	76,8	74,1	78,2	76,4	77,0	74,4	78,4	76,7	74,1	78,2	8.747	8.310	8.829	25.886	3.609	3.777	4.112	11.498	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:43	123	122	124	123	123	123	124	123	122	124	76,9	74,2	78,2	76,5	77,1	74,5	78,4	76,7	74,1	78,1	8.764	8.310	8.829	25.903	3.593	3.760	4.095	11.448	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:44	122	122	123	122	123	123	124	122	122	123	77,1	74,4	78,3	76,6	77,3	74,6	78,5	77,0	74,3	78,2	8.764	8.310	8.812	25.886	3.593	3.727	4.062	11.382	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:45	122	122	123	122	122	122	124	122	121	123	77,1	74,5	78,4	76,7	77,4	74,7	78,6	77,1	74,3	78,3	8.747	8.310	8.812	25.869	3.559	3.710	4.045	11.314	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:46	123	123	124	123	125	125	126	122	122	123	76,8	74,1	77,9	76,3	77,5	74,7	78,5	76,3	73,5	77,5	8.781	8.327	8.812	25.920	3.660	3.777	4.129	11.566	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	8:47	125	125	126	125	125	125	126	125	125	126	76,4	73,5	77,6	75,8	76,5	73,7	77,7	76,3	73,5	77,5	8.814	8.344	8.846	26.004	3.744	3.878	4.246	11.868	0,92	0,90	0,90	0,90	60
04/02	8:48	125	124	125	124	125	125	126	123	124	124	76,1	74,7	77,0	75,9	76,6	76,4	77,6	75,4	73,5	76,2	8.730	8.461	8.779	25.970	3.777	3.895	4.095	11.767	0,91	0,90	0,90	0,91	60
04/02	8:49	124	124	124	124	124	124	125	123	124	124	75,9	75,9	76,8	76,2	76,1	76,1	77,0	75,7	75,8	76,7	8.613	8.579	8.728	25.920	3.777	3.895	3.911	11.583	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	8:50	122	122	123	122	124	124	125	122	122	122	76,4	76,3	77,0	76,6	76,7	76,7	77,5	75,9	75,9	76,6	8.613	8.579	8.695	25.887	3.710	3.811	3.827	11.348	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	8:51	122	122	122	122	122	122	123	122	122	122	76,5	76,5	77,2	76,7	76,8	76,6	77,5	76,5	76,4	77,1	8.596	8.545	8.678	25.819	3.677	3.760	3.793	11.230	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	8:52	122	122	123	122	123	122	123	122	122	122	76,8	75,3	77,6	76,6	77,1	76,6	78,0	76,6	75,2	77,3	8.697	8.428	8.745	25.870	3.609	3.727	3.911	11.247	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	8:53	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,8	75,3	77,7	76,6	77,0	75,5	77,9	76,6	75,2	77,6	8.680	8.428	8.745	25.853	3.643	3.760	3.944	11.347	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	8:54	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,8	75,3	77,6	76,6	77,1	75,5	77,9	76,6	75,1	77,5	8.680	8.411	8.728	25.819	3.609	3.710	3.911	11.230	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	8:55	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,9	75,3	77,8	76,7	77,1	75,5	78,0	76,8	75,3	77,6	8.697	8.428	8.745	25.870	3.626	3.743	3.944	11.313	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	8:56	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,8	75,2	77,7	76,6	77,1	75,3	77,8	76,7	75,2	77,6	8.697	8.411	8.745	25.853	3.643	3.743	3.961	11.347	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	8:57	122	122	123	122	123	122	123	122	122	123	76,7	75,3	77,8	76,6	77,1	75,5	78,1	76,5	75,3	77,6	8.697	8.428	8.762	25.887	3.626	3.760	3.944	11.330	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	8:58	122	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,5	75,3	77,7	76,5	76,7	75,7	77,9	76,4	75,3	77,6	8.663	8.444	8.762	25.869	3.626	3.777	3.944	11.347	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	8:59	123	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,5	75,3	77,6	76,5	76,8	75,5	77,9	76,4	75,2	77,6	8.680	8.428	8.762	25.870	3.660	3.811	3.961	11.432	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:00	123	122	123	122	123	123	124	123	122	123	76,6	75,3	77,6	76,5	76,8	75,4	77,8	76,5	75,2	77,6	8.680	8.444	8.762	25.886	3.660	3.794	3.961	11.415	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:01	123	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,6	75,3	77,6	76,5	76,9	75,6	77,8	76,5	75,3	77,6	8.697	8.461	8.762	25.920	3.660	3.777	3.944	11.381	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:02	123	123	123	123	123	123	124	122	122	123	76,6	75,4	77,5	76,5	76,8	75,7	77,6	76,5	75,3	77,4	8.680	8.478	8.745	25.903	3.677	3.794	3.944	11.415	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:03	123	123	123	123	123	123	124	122	122	123	76,5	75,4	77,5	76,5	76,7	75,6	77,6	76,4	75,3	77,4	8.663	8.461	8.745	25.869	3.660	3.794	3.944	11.398	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:04	122	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,5	75,4	77,6	76,5	76,8	75,7	77,8	76,4	75,3	77,6	8.663	8.461	8.762	25.886	3.643	3.794	3.927	11.364	0,92	0,91	0,91	0,91	60

Data dia/mês	Hora	V1 (V)	V2 (V)	V3 (V)	VIII (V)	Vx1 (V)	Vx2 (V)	Vx3 (V)	Vn1 (V)	Vn2 (V)	Vn3 (V)	A1 (A)	A2 (A)	A3 (A)	AIII (A)	Ax1 (A)	Ax2 (A)	Ax3 (A)	An1 (A)	An2 (A)	An3 (A)	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)	PIII (W)	Q1 (VAr)	Q2 (VAr)	Q3 (VAr)	QIII (VAr)	FP1	FP2	FP3	FPIII	Freq. (Hz)
04/02	9:05	123	123	123	123	123	123	124	122	122	123	76,5	75,3	77,6	76,5	76,8	75,4	77,8	76,5	75,2	77,5	8.680	8.444	8.762	25.886	3.660	3.794	3.961	11.415	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:06	123	123	124	123	123	123	124	123	122	123	76,5	75,3	77,6	76,4	76,7	75,5	77,7	76,3	75,2	77,5	8.663	8.444	8.762	25.869	3.660	3.794	3.961	11.415	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:07	122	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,5	75,3	77,7	76,5	76,7	75,4	77,9	76,5	75,2	77,6	8.680	8.428	8.779	25.887	3.643	3.794	3.961	11.398	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:08	122	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,5	75,2	77,7	76,5	76,8	75,3	77,9	76,5	75,0	77,6	8.680	8.428	8.779	25.887	3.643	3.777	3.961	11.381	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:09	122	122	123	122	123	122	123	122	122	123	76,6	75,3	77,9	76,6	76,8	75,5	78,1	76,5	75,1	77,7	8.680	8.411	8.779	25.870	3.593	3.760	3.927	11.280	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:10	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,6	75,3	77,8	76,6	76,8	75,5	78,0	76,4	75,3	77,7	8.663	8.428	8.762	25.853	3.626	3.777	3.944	11.347	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:11	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,5	75,4	77,9	76,6	76,7	75,7	78,2	76,4	75,3	77,8	8.646	8.428	8.779	25.853	3.609	3.777	3.927	11.313	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:12	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,5	75,3	78,0	76,6	76,7	75,5	78,2	76,5	75,3	77,9	8.663	8.411	8.779	25.853	3.576	3.760	3.911	11.247	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:13	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,5	75,3	78,1	76,7	76,7	75,6	78,2	76,5	75,2	78,0	8.646	8.411	8.779	25.836	3.593	3.777	3.944	11.314	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:14	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,7	75,4	78,0	76,7	77,1	75,6	78,5	76,5	74,7	77,9	8.663	8.428	8.779	25.870	3.593	3.743	3.911	11.247	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:15	122	122	123	122	122	122	124	122	121	123	77,1	74,3	78,6	76,7	77,3	74,6	78,8	76,9	74,2	78,5	8.747	8.293	8.829	25.869	3.542	3.710	4.062	11.314	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	9:16	122	122	123	122	123	122	124	122	122	123	77,1	74,2	78,4	76,6	77,3	74,5	78,6	77,1	74,1	78,3	8.764	8.293	8.812	25.869	3.559	3.710	4.078	11.347	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	9:17	122	122	123	122	122	122	124	122	122	123	77,2	74,3	78,4	76,7	77,3	74,5	78,6	77,1	74,2	78,2	8.764	8.293	8.812	25.869	3.542	3.693	4.045	11.280	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	9:18	122	122	123	122	123	122	124	122	122	123	77,1	74,2	78,3	76,6	77,3	74,5	78,5	77,0	74,1	78,2	8.764	8.293	8.812	25.869	3.559	3.710	4.062	11.331	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	9:19	122	122	123	122	123	122	124	122	122	123	77,1	74,3	78,3	76,6	77,3	74,5	78,6	77,1	74,1	78,2	8.764	8.293	8.812	25.869	3.576	3.710	4.078	11.364	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	9:20	122	122	123	122	123	122	124	122	122	123	77,1	74,2	78,4	76,6	77,4	74,4	78,6	77,1	74,1	78,3	8.781	8.293	8.812	25.886	3.559	3.693	4.062	11.314	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	9:21	122	122	123	122	123	122	124	122	122	123	77,1	74,2	78,4	76,6	77,3	74,4	78,6	77,1	74,1	78,3	8.781	8.276	8.812	25.869	3.559	3.693	4.078	11.330	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	9:22	122	122	123	122	123	122	124	122	122	123	77,1	74,1	78,3	76,5	77,3	74,4	78,5	77,1	74,1	78,2	8.781	8.276	8.812	25.869	3.559	3.693	4.062	11.314	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	9:23	122	122	124	122	123	122	124	122	122	123	77,1	74,1	78,3	76,5	77,4	74,4	78,6	77,1	73,9	78,3	8.781	8.276	8.812	25.869	3.559	3.693	4.078	11.330	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	9:24	123	122	124	123	123	122	124	122	122	124	77,1	74,0	78,3	76,5	77,2	74,2	78,5	77,0	73,8	78,2	8.781	8.276	8.812	25.869	3.593	3.727	4.129	11.449	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	9:25	123	122	124	123	123	122	124	122	122	124	77,0	74,1	78,4	76,5	77,3	74,2	78,6	76,9	73,8	78,3	8.781	8.276	8.829	25.886	3.559	3.727	4.095	11.381	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	9:26	123	122	124	123	123	122	124	122	122	124	77,0	74,1	78,4	76,5	77,2	74,4	78,7	76,8	74,1	78,3	8.764	8.293	8.829	25.886	3.559	3.727	4.078	11.364	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	9:27	123	122	124	123	123	122	124	122	122	124	77,0	74,1	78,3	76,5	77,2	74,3	78,5	76,9	74,1	78,2	8.764	8.293	8.812	25.869	3.576	3.727	4.078	11.381	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	9:28	123	122	124	123	123	122	124	122	122	123	77,0	74,1	78,3	76,5	77,2	74,3	78,5	76,9	74,1	78,3	8.764	8.293	8.829	25.886	3.559	3.727	4.095	11.381	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	9:29	122	122	124	122	123	122	124	122	122	124	77,1	74,0	78,3	76,5	77,3	74,2	78,5	77,0	73,9	78,2	8.781	8.276	8.812	25.869	3.559	3.710	4.095	11.364	0,92	0,91	0,90	0,91	60

Data	Hora	V1	V2	V3	VIII	Vx1	Vx2	Vx3	Vn1	Vn2	Vn3	A1	A2	A3	AIII	Ax1	Ax2	Ax3	An1	An2	An3	P1	P2	P3	PIII	Q1	Q2	Q3	QIII	FP1	FP2	FP3	FPIII	Freq.
dia/mês		(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(W)	(W)	(W)	(W)	(VAr)	(VAr)	(VAr)	(VAr)					(Hz)
04/02	9:30	122	122	124	122	123	122	124	122	122	123	77,1	74,0	78,3	76,5	77,3	74,2	78,5	76,9	73,9	78,2	8.781	8.276	8.812	25.869	3.559	3.710	4.095	11.364	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	9:31	122	122	123	122	123	122	124	122	122	123	77,1	74,2	78,3	76,5	77,3	74,4	78,5	76,9	74,1	78,2	8.764	8.293	8.812	25.869	3.576	3.727	4.078	11.381	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	9:32	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	77,1	74,3	78,3	76,6	77,3	74,6	78,6	77,1	74,1	78,2	8.764	8.293	8.795	25.852	3.559	3.693	4.062	11.314	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	9:33	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	77,1	74,3	78,4	76,6	77,3	74,5	78,6	77,0	74,2	78,3	8.747	8.293	8.812	25.852	3.542	3.693	4.045	11.280	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	9:34	122	122	123	122	122	122	123	122	121	123	77,1	74,4	78,5	76,7	77,3	74,6	78,7	77,0	74,2	78,3	8.747	8.293	8.812	25.852	3.525	3.693	4.028	11.246	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	9:35	122	121	123	122	122	122	123	122	121	123	77,1	74,4	78,6	76,7	77,2	74,7	78,8	77,0	74,2	78,5	8.730	8.293	8.812	25.835	3.542	3.710	4.045	11.297	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	9:36	122	122	123	122	123	123	123	122	121	123	76,5	75,2	77,9	76,5	77,1	75,5	78,7	76,3	74,2	77,6	8.663	8.411	8.779	25.853	3.576	3.760	3.944	11.280	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:37	122	122	123	122	123	122	124	122	122	123	76,4	75,3	77,8	76,5	76,5	75,4	78,0	76,3	75,3	77,7	8.646	8.411	8.779	25.836	3.626	3.794	3.944	11.364	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:38	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,5	75,3	77,8	76,5	76,6	75,5	78,0	76,4	75,3	77,7	8.646	8.428	8.779	25.853	3.626	3.794	3.944	11.364	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:39	122	122	123	122	123	122	123	122	122	123	76,5	75,3	77,7	76,5	76,7	75,7	78,0	76,4	75,3	77,6	8.646	8.428	8.762	25.836	3.593	3.760	3.911	11.264	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:40	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,5	75,3	77,6	76,5	76,7	75,5	77,9	76,4	75,2	77,6	8.646	8.428	8.745	25.819	3.626	3.760	3.927	11.313	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:41	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,5	75,3	77,7	76,5	76,8	75,4	77,9	76,5	75,2	77,6	8.663	8.428	8.745	25.836	3.626	3.760	3.944	11.330	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:42	123	123	124	123	124	124	125	122	122	123	76,4	75,0	77,6	76,3	76,8	75,4	77,9	76,2	74,8	77,4	8.697	8.428	8.779	25.904	3.660	3.794	3.978	11.432	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	9:43	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,2	74,9	77,5	76,2	76,4	75,0	77,6	76,1	74,8	77,3	8.697	8.428	8.779	25.904	3.677	3.827	4.011	11.515	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	9:44	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,2	75,0	77,5	76,2	76,4	75,2	77,6	76,1	74,8	77,5	8.663	8.428	8.779	25.870	3.677	3.827	3.995	11.499	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:45	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,2	75,1	77,5	76,3	76,4	75,3	77,6	76,0	75,0	77,3	8.663	8.444	8.779	25.886	3.660	3.827	3.961	11.448	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:46	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,1	75,2	77,4	76,2	76,4	75,3	77,6	76,0	75,1	77,3	8.663	8.444	8.762	25.869	3.677	3.827	3.978	11.482	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:47	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,2	75,0	77,6	76,3	76,4	75,3	77,7	76,0	74,9	77,6	8.663	8.428	8.779	25.870	3.660	3.827	3.995	11.482	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:48	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,2	75,1	77,6	76,3	76,4	75,3	77,8	76,1	75,1	77,5	8.663	8.428	8.779	25.870	3.660	3.827	3.978	11.465	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:49	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,2	75,1	77,5	76,3	76,4	75,3	77,7	76,2	75,0	77,4	8.663	8.444	8.779	25.886	3.660	3.827	3.978	11.465	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:50	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,3	75,1	77,6	76,3	76,6	75,3	77,7	76,2	75,0	77,4	8.663	8.428	8.762	25.853	3.643	3.794	3.961	11.398	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:51	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,3	75,0	77,5	76,3	76,5	75,3	77,6	76,2	74,8	77,3	8.663	8.428	8.762	25.853	3.660	3.811	3.995	11.466	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:52	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,3	75,1	77,4	76,3	76,6	75,3	77,7	76,1	75,0	77,3	8.663	8.444	8.762	25.869	3.660	3.811	3.961	11.432	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:53	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,3	75,0	77,4	76,2	76,5	75,2	77,6	76,2	74,9	77,3	8.680	8.444	8.762	25.886	3.660	3.794	3.978	11.432	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	9:54	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,4	75,0	77,4	76,3	76,5	75,3	77,6	76,3	74,8	77,3	8.697	8.444	8.762	25.903	3.677	3.794	3.978	11.449	0,92	0,91	0,90	0,91	60

Data dia/mês	Hora	V1 (V)	V2 (V)	V3 (V)	VIII (V)	Vx1 (V)	Vx2 (V)	Vx3 (V)	Vn1 (V)	Vn2 (V)	Vn3 (V)	A1 (A)	A2 (A)	A3 (A)	AIII (A)	Ax1 (A)	Ax2 (A)	Ax3 (A)	An1 (A)	An2 (A)	An3 (A)	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)	PIII. (W)	Q1 (VAr)	Q2 (VAr)	Q3 (VAr)	QIII. (VAr)	FP1	FP2	FP3	FPIII	Freq. (Hz)
04/02	9:55	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,5	74,9	77,3	76,2	76,6	75,1	77,5	76,4	74,9	77,1	8.697	8.444	8.745	25.886	3.693	3.794	3.995	11.482	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	9:56	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,4	74,8	77,2	76,1	76,5	75,0	77,4	76,3	74,7	77,1	8.697	8.444	8.762	25.903	3.710	3.811	4.011	11.532	0,91	0,91	0,90	0,91	60
04/02	9:57	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,4	74,8	77,3	76,2	76,5	75,0	77,5	76,2	74,7	77,1	8.697	8.428	8.762	25.887	3.693	3.811	4.011	11.515	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	9:58	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,3	74,9	77,3	76,2	76,5	75,1	77,5	76,2	74,7	77,2	8.697	8.444	8.762	25.903	3.693	3.827	4.011	11.531	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	9:59	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,3	74,9	77,5	76,2	76,6	75,1	77,6	76,1	74,8	77,3	8.680	8.428	8.762	25.870	3.677	3.827	3.995	11.499	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	10:00	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,4	75,0	77,4	76,3	76,6	75,1	77,6	76,3	74,9	77,3	8.680	8.428	8.762	25.870	3.693	3.811	4.011	11.515	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:01	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,5	74,8	77,5	76,3	76,8	75,1	77,6	76,4	74,7	77,4	8.714	8.411	8.762	25.887	3.660	3.777	3.995	11.432	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	10:02	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,5	74,8	77,6	76,3	76,8	74,9	77,6	76,5	74,7	77,5	8.714	8.411	8.762	25.887	3.660	3.777	3.995	11.432	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	10:03	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,4	74,8	77,6	76,3	76,6	75,0	77,7	76,3	74,7	77,5	8.680	8.411	8.762	25.853	3.660	3.794	3.995	11.449	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	10:04	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,3	74,8	77,6	76,2	76,5	75,0	77,7	76,0	74,7	77,4	8.680	8.411	8.779	25.870	3.643	3.811	3.995	11.449	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:05	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,1	74,8	77,5	76,1	76,4	75,0	77,6	76,0	74,7	77,4	8.663	8.411	8.779	25.853	3.660	3.827	4.011	11.498	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:06	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,2	74,8	77,6	76,2	76,4	75,0	77,6	76,0	74,7	77,4	8.680	8.411	8.779	25.870	3.677	3.827	4.028	11.532	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	10:07	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,4	74,8	77,6	76,3	76,5	75,0	77,7	76,2	74,7	77,4	8.680	8.411	8.779	25.870	3.660	3.811	4.011	11.482	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	10:08	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,3	74,8	77,6	76,3	76,5	75,1	77,9	76,2	74,7	77,5	8.680	8.411	8.779	25.870	3.643	3.811	3.995	11.449	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	10:09	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,4	75,0	77,6	76,3	76,6	75,2	77,8	76,2	74,9	77,4	8.680	8.428	8.779	25.887	3.643	3.794	3.978	11.415	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:10	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,3	75,1	77,4	76,3	76,5	75,2	77,6	76,2	75,0	77,3	8.680	8.444	8.762	25.886	3.677	3.811	3.978	11.466	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:11	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,3	75,1	77,3	76,2	76,5	75,2	77,6	76,2	74,9	77,1	8.680	8.444	8.762	25.886	3.660	3.794	3.961	11.415	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:12	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,2	75,1	77,5	76,3	76,4	75,3	77,6	76,0	75,0	77,3	8.663	8.444	8.779	25.886	3.643	3.811	3.944	11.398	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:13	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,2	75,1	77,4	76,2	76,5	75,3	77,6	76,0	75,0	77,2	8.680	8.444	8.762	25.886	3.677	3.827	3.978	11.482	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:14	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,2	75,0	77,4	76,2	76,5	75,2	77,6	76,1	74,8	77,1	8.663	8.444	8.762	25.869	3.677	3.827	3.995	11.499	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:15	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,4	74,9	77,3	76,2	76,5	75,1	77,6	76,2	74,8	77,2	8.697	8.444	8.762	25.903	3.677	3.811	3.995	11.483	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	10:16	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,4	74,8	77,3	76,2	76,6	75,0	77,5	76,3	74,7	77,2	8.714	8.428	8.762	25.904	3.693	3.811	4.011	11.515	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	10:17	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,4	74,9	77,2	76,2	76,5	75,1	77,4	76,3	74,8	77,1	8.697	8.444	8.745	25.886	3.693	3.811	3.995	11.499	0,91	0,91	0,90	0,91	60
04/02	10:18	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,3	75,1	77,2	76,2	76,5	75,3	77,3	76,2	74,9	77,1	8.680	8.461	8.745	25.886	3.693	3.811	3.978	11.482	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:19	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,3	75,2	77,2	76,2	76,5	75,3	77,5	76,2	75,0	77,1	8.663	8.461	8.745	25.869	3.710	3.827	3.978	11.515	0,92	0,91	0,91	0,91	60

Data dia/mês	Hora	V1 (V)	V2 (V)	V3 (V)	VIII (V)	Vx1 (V)	Vx2 (V)	Vx3 (V)	Vn1 (V)	Vn2 (V)	Vn3 (V)	A1 (A)	A2 (A)	A3 (A)	AIII (A)	Ax1 (A)	Ax2 (A)	Ax3 (A)	An1 (A)	An2 (A)	An3 (A)	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)	PIII (W)	Q1 (VAr)	Q2 (VAr)	Q3 (VAr)	QIII (VAr)	FP1	FP2	FP3	FPIII	Freq. (Hz)
04/02	10:20	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,3	75,0	77,4	76,2	76,5	75,2	77,6	76,2	75,0	77,3	8.680	8.428	8.762	25.870	3.677	3.827	3.995	11.499	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:21	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,3	75,0	77,5	76,3	76,5	75,3	77,6	76,2	74,9	77,3	8.680	8.428	8.762	25.870	3.660	3.811	3.978	11.449	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	10:22	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,3	75,1	77,4	76,3	76,5	75,3	77,6	76,1	75,0	77,3	8.663	8.444	8.762	25.869	3.677	3.811	3.978	11.466	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:23	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,3	75,1	77,4	76,3	76,5	75,3	77,6	76,2	75,0	77,3	8.680	8.444	8.762	25.886	3.660	3.811	3.978	11.449	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	10:24	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,2	75,0	77,5	76,2	76,5	75,2	77,6	76,0	74,9	77,4	8.680	8.428	8.779	25.887	3.660	3.811	3.978	11.449	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:25	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,2	74,9	77,5	76,2	76,5	75,0	77,6	76,1	74,8	77,4	8.680	8.428	8.779	25.887	3.643	3.811	3.978	11.432	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:26	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,3	74,8	77,5	76,2	76,5	75,0	77,6	76,2	74,7	77,3	8.680	8.411	8.779	25.870	3.660	3.794	3.995	11.449	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	10:27	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,5	74,7	77,4	76,2	76,6	74,9	77,6	76,3	74,7	77,2	8.714	8.411	8.762	25.887	3.677	3.794	4.011	11.482	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	10:28	123	123	124	123	124	123	125	123	123	124	76,5	74,7	77,3	76,2	76,7	74,9	77,5	76,4	74,6	77,1	8.730	8.411	8.745	25.886	3.677	3.777	4.028	11.482	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	10:29	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,5	74,7	77,4	76,2	76,7	74,9	77,6	76,2	74,6	77,2	8.714	8.411	8.762	25.887	3.677	3.794	4.028	11.499	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	10:30	123	123	124	123	124	123	125	123	123	124	76,4	74,7	77,3	76,1	76,6	74,9	77,5	76,2	74,7	77,2	8.697	8.428	8.762	25.887	3.693	3.794	4.011	11.498	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	10:31	123	123	124	123	124	123	125	123	123	124	76,3	74,8	77,3	76,1	76,5	75,1	77,5	76,2	74,7	77,2	8.697	8.428	8.762	25.887	3.693	3.827	4.011	11.531	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	10:32	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,3	74,9	77,3	76,2	76,5	75,2	77,6	76,1	74,8	77,2	8.697	8.444	8.762	25.903	3.693	3.827	3.995	11.515	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	10:33	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,3	74,9	77,2	76,1	76,5	75,1	77,4	76,1	74,8	77,0	8.680	8.444	8.745	25.869	3.710	3.827	3.995	11.532	0,91	0,91	0,90	0,91	60
04/02	10:34	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,4	75,0	77,1	76,2	76,5	75,3	77,3	76,2	74,9	77,0	8.680	8.444	8.728	25.852	3.710	3.811	3.978	11.499	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	10:35	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,4	75,1	77,2	76,2	76,5	75,2	77,4	76,3	75,0	77,1	8.680	8.444	8.745	25.869	3.710	3.811	3.978	11.499	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:36	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,4	75,0	77,1	76,2	76,9	75,3	77,4	76,1	74,8	77,0	8.697	8.461	8.745	25.903	3.677	3.794	3.961	11.432	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:37	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,2	75,0	77,1	76,1	76,4	75,2	77,3	76,0	74,8	77,0	8.663	8.444	8.745	25.852	3.693	3.811	3.961	11.465	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:38	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,2	75,2	77,2	76,2	76,4	75,4	77,4	76,1	75,0	77,1	8.663	8.461	8.745	25.869	3.693	3.811	3.961	11.465	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:39	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,4	75,2	77,2	76,3	76,6	75,3	77,4	76,2	75,0	77,1	8.680	8.461	8.728	25.869	3.677	3.777	3.944	11.398	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:40	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,4	75,1	77,1	76,2	76,6	75,3	77,3	76,2	74,9	77,0	8.680	8.444	8.728	25.852	3.693	3.794	3.961	11.448	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:41	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,5	75,2	77,2	76,3	76,6	75,3	77,4	76,3	75,0	77,0	8.680	8.444	8.728	25.852	3.693	3.794	3.961	11.448	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:42	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,3	75,0	77,3	76,2	76,5	75,3	77,5	76,1	75,0	77,1	8.680	8.444	8.745	25.869	3.693	3.811	3.978	11.482	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:43	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,2	75,0	77,3	76,2	76,4	75,3	77,6	76,1	74,9	77,1	8.663	8.444	8.762	25.869	3.677	3.827	3.978	11.482	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:44	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,3	75,1	77,3	76,2	76,5	75,3	77,5	76,2	74,9	77,2	8.663	8.444	8.745	25.852	3.693	3.811	3.978	11.482	0,92	0,91	0,91	0,91	60

Data dia/mês	Hora	V1 (V)	V2 (V)	V3 (V)	VIII (V)	Vx1 (V)	Vx2 (V)	Vx3 (V)	Vn1 (V)	Vn2 (V)	Vn3 (V)	A1 (A)	A2 (A)	A3 (A)	AIII (A)	Ax1 (A)	Ax2 (A)	Ax3 (A)	An1 (A)	An2 (A)	An3 (A)	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)	PIII (W)	Q1 (VAr)	Q2 (VAr)	Q3 (VAr)	QIII (VAr)	FP1	FP2	FP3	FPIII	Freq. (Hz)
04/02	10:45	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,4	75,1	77,4	76,3	76,5	75,3	77,6	76,2	74,9	77,3	8.663	8.428	8.745	25.836	3.660	3.794	3.961	11.415	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:46	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,3	75,1	77,2	76,2	76,5	75,3	77,4	76,2	75,0	77,1	8.680	8.444	8.728	25.852	3.710	3.811	3.995	11.516	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:47	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,4	75,0	77,2	76,2	76,6	75,2	77,4	76,3	74,8	77,2	8.697	8.444	8.745	25.886	3.693	3.794	3.995	11.482	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:48	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,3	75,0	77,2	76,2	76,5	75,2	77,4	76,1	74,9	77,1	8.680	8.444	8.745	25.869	3.693	3.811	3.978	11.482	0,91	0,91	0,90	0,91	60
04/02	10:49	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,2	75,0	77,3	76,2	76,4	75,3	77,6	76,1	74,9	77,1	8.663	8.444	8.762	25.869	3.693	3.844	3.995	11.532	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:50	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,2	74,9	77,4	76,2	76,5	75,1	77,6	76,0	74,8	77,3	8.680	8.428	8.779	25.887	3.660	3.811	3.978	11.449	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:51	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,2	74,9	77,3	76,1	76,4	75,1	77,5	76,0	74,9	77,2	8.680	8.428	8.762	25.870	3.660	3.811	3.995	11.466	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	10:52	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,1	74,9	77,5	76,2	76,4	75,1	77,6	76,0	74,7	77,4	8.663	8.428	8.779	25.870	3.660	3.827	3.995	11.482	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	10:53	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,2	74,9	77,4	76,2	76,4	75,0	77,6	76,0	74,8	77,4	8.680	8.428	8.779	25.887	3.693	3.844	4.028	11.565	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	10:54	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,1	74,8	77,4	76,1	76,5	75,0	77,6	76,1	74,7	77,2	8.680	8.428	8.779	25.887	3.677	3.827	3.995	11.499	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	10:55	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,0	74,9	77,3	76,1	76,3	75,1	77,5	75,9	74,8	77,2	8.663	8.444	8.779	25.886	3.677	3.844	3.995	11.516	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	10:56	124	124	125	124	124	124	125	123	123	124	75,9	75,0	77,3	76,1	76,0	75,2	77,5	75,7	75,0	77,2	8.646	8.461	8.795	25.902	3.710	3.895	4.011	11.616	0,91	0,90	0,91	0,91	60
04/02	10:57	124	124	125	124	124	124	125	124	124	125	75,8	75,0	77,2	76,0	76,0	75,2	77,5	75,7	74,8	77,1	8.646	8.461	8.779	25.886	3.710	3.895	4.011	11.616	0,92	0,90	0,91	0,91	60
04/02	10:58	124	124	125	124	124	124	125	124	124	125	75,9	75,0	77,1	76,0	76,1	75,2	77,4	75,8	75,0	77,1	8.663	8.478	8.779	25.920	3.710	3.861	3.995	11.566	0,91	0,90	0,91	0,91	60
04/02	10:59	124	124	124	124	124	124	125	123	123	124	75,9	75,0	77,1	76,0	76,2	75,3	77,3	75,8	74,9	77,0	8.663	8.461	8.762	25.886	3.727	3.861	4.011	11.599	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:00	123	123	124	123	124	124	124	123	123	124	76,1	75,2	77,1	76,1	76,3	75,3	77,4	75,9	75,0	77,0	8.663	8.478	8.745	25.886	3.693	3.827	3.978	11.498	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:01	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,1	75,1	77,3	76,2	76,4	75,3	77,6	76,0	75,0	77,1	8.646	8.444	8.762	25.852	3.677	3.827	3.961	11.465	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:02	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,1	75,1	77,4	76,2	76,4	75,3	77,6	75,9	74,9	77,3	8.663	8.444	8.779	25.886	3.677	3.844	3.978	11.499	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:03	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,3	75,1	77,3	76,2	76,5	75,3	77,5	76,1	74,9	77,2	8.663	8.444	8.745	25.852	3.693	3.811	3.978	11.482	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:04	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,4	75,0	77,3	76,2	76,5	75,2	77,5	76,3	74,9	77,2	8.680	8.444	8.745	25.869	3.693	3.811	3.978	11.482	0,91	0,91	0,90	0,91	60
04/02	11:05	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,3	75,0	77,4	76,2	76,5	75,2	77,6	76,3	74,9	77,3	8.680	8.428	8.762	25.870	3.677	3.811	3.978	11.466	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:06	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,1	75,1	77,4	76,2	76,4	75,4	77,6	75,9	75,0	77,2	8.646	8.444	8.779	25.869	3.660	3.827	3.961	11.448	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:07	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,1	75,1	77,3	76,2	76,4	75,4	77,6	76,0	74,9	77,1	8.663	8.444	8.762	25.869	3.677	3.827	3.978	11.482	0,91	0,91	0,90	0,91	60
04/02	11:08	123	123	124	123	124	123	124	121	121	122	76,2	75,1	77,3	76,2	77,1	75,9	78,1	76,0	74,9	77,1	8.663	8.444	8.762	25.869	3.693	3.827	3.995	11.515	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:09	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,1	75,1	77,5	76,2	76,3	75,3	77,6	75,9	75,0	77,3	8.646	8.444	8.779	25.869	3.660	3.827	3.961	11.448	0,92	0,91	0,91	0,91	60

Data dia/mês	Hora	V1 (V)	V2 (V)	V3 (V)	VIII (V)	Vx1 (V)	Vx2 (V)	Vx3 (V)	Vn1 (V)	Vn2 (V)	Vn3 (V)	A1 (A)	A2 (A)	A3 (A)	AIII (A)	Ax1 (A)	Ax2 (A)	Ax3 (A)	An1 (A)	An2 (A)	An3 (A)	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)	PIII (W)	Q1 (VAr)	Q2 (VAr)	Q3 (VAr)	QIII (VAr)	FP1	FP2	FP3	FPIII	Freq. (Hz)
04/02	11:10	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,0	75,2	77,5	76,2	76,2	75,3	77,6	75,9	75,0	77,4	8.630	8.444	8.779	25.853	3.643	3.827	3.944	11.414	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:11	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,0	75,3	77,5	76,3	76,4	75,5	77,6	75,9	75,2	77,4	8.630	8.461	8.779	25.870	3.660	3.844	3.944	11.448	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:12	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,1	75,2	77,3	76,2	76,3	75,3	77,5	76,0	75,2	77,2	8.646	8.461	8.745	25.852	3.677	3.827	3.944	11.448	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:13	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,0	75,2	77,4	76,2	76,2	75,4	77,6	75,9	75,0	77,2	8.646	8.461	8.762	25.869	3.677	3.827	3.961	11.465	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:14	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,0	75,1	77,5	76,2	76,3	75,3	77,6	75,9	74,9	77,4	8.646	8.444	8.779	25.869	3.677	3.861	3.995	11.533	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:15	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,1	75,2	77,4	76,2	76,3	75,4	77,6	75,9	75,0	77,2	8.646	8.444	8.762	25.852	3.660	3.827	3.961	11.448	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:16	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,2	75,2	77,2	76,2	76,4	75,4	77,5	76,0	75,0	77,1	8.663	8.461	8.745	25.869	3.693	3.827	3.978	11.498	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:17	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,2	75,2	77,2	76,2	76,5	75,3	77,4	76,1	75,1	77,0	8.663	8.461	8.745	25.869	3.693	3.827	3.978	11.498	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:18	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,3	75,1	77,3	76,2	76,5	75,3	77,7	76,0	75,0	77,2	8.663	8.444	8.762	25.869	3.677	3.811	3.961	11.449	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:19	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,2	75,1	77,3	76,2	76,4	75,3	77,6	76,1	75,0	77,2	8.663	8.444	8.762	25.869	3.677	3.811	3.961	11.449	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:20	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,2	75,0	77,2	76,1	76,5	75,4	77,5	76,1	74,8	77,1	8.680	8.444	8.745	25.869	3.677	3.811	3.978	11.466	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:21	123	123	124	123	124	124	124	123	123	124	76,1	74,9	77,2	76,1	76,3	75,2	77,5	75,9	74,9	77,1	8.680	8.444	8.762	25.886	3.710	3.844	4.011	11.565	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:22	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,1	74,9	77,3	76,1	76,4	75,2	77,5	76,0	74,8	77,2	8.680	8.444	8.779	25.903	3.710	3.844	4.028	11.582	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:23	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,0	75,0	77,4	76,1	76,3	75,3	77,6	75,9	74,8	77,3	8.646	8.444	8.779	25.869	3.643	3.811	3.961	11.415	0,92	0,90	0,91	0,91	60
04/02	11:24	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	75,9	75,1	77,4	76,1	76,1	75,3	77,8	75,8	74,9	77,3	8.630	8.444	8.779	25.853	3.677	3.861	3.978	11.516	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:25	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,0	75,2	77,4	76,2	76,2	75,5	77,6	75,9	75,0	77,3	8.646	8.461	8.779	25.886	3.677	3.844	3.961	11.482	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:26	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	75,9	75,2	77,4	76,2	76,2	75,3	77,6	75,8	75,1	77,3	8.630	8.461	8.779	25.870	3.660	3.844	3.961	11.465	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:27	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,1	75,1	77,6	76,3	76,3	75,3	77,8	75,9	74,9	77,3	8.646	8.428	8.779	25.853	3.643	3.811	3.961	11.415	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:28	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,0	75,0	77,5	76,2	76,3	75,2	77,6	76,0	74,8	77,4	8.646	8.428	8.779	25.853	3.660	3.844	3.978	11.482	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:29	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,1	75,0	77,5	76,2	76,4	75,3	77,6	75,9	74,7	77,4	8.663	8.428	8.779	25.870	3.660	3.844	3.995	11.499	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:30	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,1	75,0	77,5	76,2	76,3	75,2	77,6	76,0	74,8	77,4	8.663	8.428	8.779	25.870	3.660	3.827	3.978	11.465	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:31	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,1	74,9	77,3	76,1	76,3	75,1	77,6	75,9	74,9	77,3	8.663	8.428	8.762	25.853	3.693	3.827	3.995	11.515	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:32	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,1	74,9	77,4	76,1	76,3	75,2	77,6	76,0	74,7	77,2	8.663	8.428	8.779	25.870	3.677	3.844	3.995	11.516	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	11:33	123	123	124	123	124	124	124	123	123	124	76,1	75,0	77,3	76,1	76,5	75,2	77,5	75,9	74,8	77,1	8.663	8.444	8.762	25.869	3.677	3.827	3.978	11.482	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:34	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,2	75,1	77,2	76,2	76,4	75,3	77,6	76,0	74,8	77,0	8.663	8.461	8.762	25.886	3.677	3.811	3.978	11.466	0,92	0,91	0,91	0,91	60

Data	Hora	V1	V2	V3	VIII	Vx1	Vx2	Vx3	Vn1	Vn2	Vn3	A1	A2	A3	AIII	Ax1	Ax2	Ax3	An1	An2	An3	P1	P2	P3	PIII	Q1	Q2	Q3	QIII	FP1	FP2	FP3	FPIII	Freq.
dia/mês		(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(W)	(W)	(W)	(W)	(Var)	(Var)	(Var)	(Var)					(Hz)
04/02	11:35	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,0	74,9	77,4	76,1	76,2	75,1	77,6	75,9	74,9	77,3	8.663	8.444	8.779	25.886	3.677	3.844	3.995	11.516	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	11:36	124	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,0	74,9	77,2	76,1	76,3	75,1	77,4	75,9	74,7	77,0	8.663	8.444	8.762	25.869	3.710	3.844	4.011	11.565	0,91	0,91	0,90	0,91	60
04/02	11:37	124	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,1	74,9	77,1	76,1	76,3	75,2	77,4	75,9	74,8	77,0	8.680	8.444	8.762	25.886	3.677	3.827	3.978	11.482	0,91	0,91	0,90	0,91	60
04/02	11:38	124	124	124	124	124	124	125	123	123	124	76,0	74,9	77,2	76,1	76,3	75,1	77,3	75,9	74,8	77,0	8.680	8.444	8.762	25.886	3.693	3.844	4.011	11.548	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	11:39	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,1	75,0	77,2	76,1	76,3	75,2	77,4	76,0	74,9	77,1	8.663	8.444	8.762	25.869	3.693	3.827	3.995	11.515	0,91	0,90	0,91	0,91	60
04/02	11:40	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,0	75,0	77,3	76,1	76,3	75,2	77,6	75,8	74,9	77,2	8.663	8.444	8.779	25.886	3.677	3.844	3.978	11.499	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	11:41	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,0	74,9	77,3	76,1	76,3	75,2	77,5	75,9	74,7	77,1	8.663	8.444	8.762	25.869	3.677	3.827	3.978	11.482	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	11:42	124	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,1	74,8	77,3	76,1	76,3	75,0	77,5	75,9	74,7	77,2	8.680	8.428	8.779	25.887	3.693	3.844	4.011	11.548	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:43	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,1	74,7	77,4	76,1	76,5	75,3	77,8	75,9	74,7	77,3	8.680	8.428	8.779	25.887	3.660	3.827	4.011	11.498	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	11:44	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,1	74,8	77,4	76,1	76,3	75,1	77,6	76,0	74,7	77,3	8.680	8.428	8.779	25.887	3.643	3.811	3.978	11.432	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	11:45	123	123	124	123	124	124	124	123	123	124	76,1	74,8	77,4	76,1	76,4	75,1	77,6	75,9	74,7	77,2	8.663	8.428	8.779	25.870	3.693	3.844	4.011	11.548	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	11:46	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,1	74,8	77,4	76,1	76,3	75,0	77,6	75,9	74,8	77,3	8.663	8.428	8.779	25.870	3.677	3.844	4.011	11.532	0,91	0,91	0,90	0,91	60
04/02	11:47	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	75,9	74,8	77,5	76,1	76,1	75,0	77,6	75,9	74,7	77,3	8.663	8.428	8.795	25.886	3.643	3.827	3.995	11.465	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	11:48	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,0	74,8	77,6	76,1	76,2	75,0	77,7	75,9	74,7	77,4	8.663	8.428	8.795	25.886	3.643	3.827	3.995	11.465	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	11:49	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,0	74,7	77,6	76,1	76,2	75,0	77,8	75,9	74,6	77,5	8.663	8.411	8.795	25.869	3.660	3.844	4.028	11.532	0,92	0,90	0,91	0,91	60
04/02	11:50	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,0	74,7	77,6	76,1	76,2	74,8	77,8	75,9	74,6	77,4	8.663	8.394	8.812	25.869	3.643	3.844	4.028	11.515	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	11:51	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,0	74,7	77,6	76,1	76,2	74,9	77,8	75,9	74,7	77,4	8.680	8.411	8.812	25.903	3.626	3.827	4.011	11.464	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	11:52	123	123	125	123	124	124	125	123	123	124	75,9	74,7	77,6	76,1	76,1	74,8	77,7	75,8	74,7	77,6	8.663	8.411	8.812	25.886	3.643	3.861	4.028	11.532	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	11:53	124	124	125	124	124	124	125	123	124	125	75,9	74,7	77,6	76,1	75,9	75,0	77,7	75,8	74,6	77,6	8.663	8.411	8.812	25.886	3.660	3.878	4.028	11.566	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	11:54	124	124	125	124	124	124	125	124	124	125	75,9	74,6	77,6	76,0	76,0	74,8	77,8	75,8	74,5	77,6	8.663	8.411	8.829	25.903	3.643	3.861	4.045	11.549	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	11:55	124	124	125	124	124	124	125	123	124	125	75,9	74,7	77,6	76,1	76,0	74,8	77,8	75,8	74,6	77,6	8.663	8.411	8.829	25.903	3.643	3.861	4.028	11.532	0,92	0,90	0,91	0,91	60
04/02	11:56	124	124	125	124	124	124	125	124	124	125	75,8	74,7	77,6	76,0	76,0	74,8	77,8	75,7	74,6	77,6	8.663	8.411	8.829	25.903	3.643	3.861	4.028	11.532	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	11:57	124	124	125	124	124	124	125	124	124	125	75,8	74,7	77,6	76,0	76,0	74,8	77,7	75,7	74,6	77,5	8.663	8.411	8.829	25.903	3.643	3.861	4.028	11.532	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	11:58	124	124	125	124	124	124	125	124	124	125	75,9	74,7	77,5	76,0	76,2	74,7	77,6	75,9	74,5	77,3	8.680	8.411	8.812	25.903	3.693	3.861	4.045	11.599	0,91	0,90	0,90	0,91	60
04/02	11:59	124	124	125	124	124	124	125	124	124	125	75,9	74,7	77,4	76,0	76,2	74,9	77,6	75,9	74,6	77,3	8.680	8.428	8.812	25.920	3.660	3.844	4.011	11.515	0,92	0,90	0,90	0,91	60

Data dia/mês	Hora	V1 (V)	V2 (V)	V3 (V)	VIII (V)	Vx1 (V)	Vx2 (V)	Vx3 (V)	Vn1 (V)	Vn2 (V)	Vn3 (V)	A1 (A)	A2 (A)	A3 (A)	AIII (A)	Ax1 (A)	Ax2 (A)	Ax3 (A)	An1 (A)	An2 (A)	An3 (A)	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)	PIII (W)	Q1 (VAr)	Q2 (VAr)	Q3 (VAr)	QIII (VAr)	FP1	FP2	FP3	FPIII	Freq. (Hz)
04/02	12:00	124	124	125	124	124	124	125	124	124	125	75,9	74,8	77,4	76,0	76,1	75,0	77,6	75,8	74,7	77,3	8.680	8.444	8.812	25.936	3.677	3.861	4.011	11.549	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	12:01	124	124	125	124	124	124	125	124	123	124	76,0	74,8	77,3	76,1	76,3	75,1	77,6	75,9	74,7	77,2	8.680	8.444	8.795	25.919	3.693	3.844	4.011	11.548	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	12:02	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	75,9	74,9	77,4	76,1	76,2	75,1	77,6	75,9	74,8	77,3	8.663	8.444	8.795	25.902	3.677	3.844	3.995	11.516	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	12:03	123	124	124	123	124	124	125	123	123	124	75,9	75,0	77,2	76,1	76,1	75,3	77,5	75,9	74,9	77,1	8.646	8.461	8.779	25.886	3.693	3.861	3.995	11.549	0,92	0,90	0,91	0,91	60
04/02	12:04	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,0	75,0	77,3	76,1	76,1	75,3	77,6	75,9	74,7	77,2	8.663	8.444	8.779	25.886	3.693	3.844	3.995	11.532	0,91	0,91	0,90	0,91	60
04/02	12:05	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,0	74,9	77,4	76,1	76,2	75,1	77,6	75,9	74,8	77,3	8.663	8.444	8.779	25.886	3.677	3.844	3.995	11.516	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	12:06	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,1	75,0	77,4	76,2	76,3	75,2	77,5	75,9	74,9	77,2	8.663	8.444	8.762	25.869	3.677	3.844	3.995	11.516	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	12:07	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,0	75,0	77,3	76,1	76,3	75,2	77,6	75,9	74,9	77,2	8.663	8.444	8.762	25.869	3.660	3.827	3.978	11.465	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	12:08	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,1	74,8	77,4	76,1	76,3	75,1	77,6	75,9	74,7	77,3	8.663	8.428	8.779	25.870	3.660	3.827	3.995	11.482	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	12:09	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,1	74,8	77,5	76,1	76,4	75,1	77,6	76,0	74,7	77,3	8.663	8.428	8.779	25.870	3.626	3.794	3.961	11.381	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	12:10	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,0	74,9	77,5	76,1	76,2	75,1	77,6	75,9	74,8	77,4	8.646	8.428	8.779	25.853	3.660	3.827	3.995	11.482	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	12:11	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	75,9	74,8	77,5	76,1	76,0	75,0	77,6	75,7	74,7	77,3	8.630	8.428	8.795	25.853	3.677	3.878	4.011	11.566	0,91	0,90	0,90	0,91	60
04/02	12:12	124	124	125	124	124	124	125	123	123	124	75,8	74,9	77,5	76,1	76,0	75,2	77,6	75,7	74,7	77,3	8.646	8.444	8.812	25.902	3.643	3.844	3.978	11.465	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	12:13	124	124	125	124	124	124	125	123	123	124	75,9	74,9	77,4	76,1	76,1	75,2	77,6	75,8	74,8	77,3	8.646	8.444	8.795	25.885	3.660	3.861	3.995	11.516	0,91	0,90	0,90	0,91	60
04/02	12:14	124	124	125	124	124	124	125	123	124	124	75,8	74,9	77,3	76,0	76,0	75,2	77,6	75,6	74,8	77,2	8.646	8.444	8.795	25.885	3.677	3.878	3.995	11.550	0,91	0,90	0,91	0,91	60
04/02	12:15	124	124	125	124	124	124	125	123	123	124	75,8	74,8	77,5	76,0	76,0	75,1	77,6	75,6	74,7	77,4	8.646	8.428	8.812	25.886	3.660	3.878	4.011	11.549	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	12:16	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	75,9	74,9	77,4	76,1	76,1	75,1	77,6	75,7	74,8	77,3	8.646	8.444	8.795	25.885	3.677	3.861	3.995	11.533	0,92	0,90	0,91	0,91	60
04/02	12:17	124	124	125	124	124	124	125	124	124	125	75,8	74,9	77,4	76,0	75,9	75,1	77,6	75,5	74,8	77,3	8.646	8.444	8.812	25.902	3.660	3.878	3.995	11.533	0,91	0,90	0,91	0,91	60
04/02	12:18	124	124	125	124	124	124	125	124	124	125	75,8	74,8	77,4	76,0	76,1	75,0	77,6	75,7	74,8	77,3	8.646	8.444	8.812	25.902	3.660	3.878	4.011	11.549	0,92	0,90	0,91	0,91	60
04/02	12:19	123	124	124	123	124	124	125	123	123	124	75,8	75,0	77,4	76,1	76,2	75,3	77,6	75,5	74,8	77,2	8.646	8.444	8.795	25.885	3.660	3.878	3.995	11.533	0,92	0,90	0,91	0,91	60
04/02	12:20	124	124	125	124	124	124	125	123	124	124	75,6	75,0	77,5	76,0	75,8	75,3	77,6	75,6	74,8	77,4	8.630	8.461	8.812	25.903	3.677	3.895	3.995	11.567	0,92	0,90	0,91	0,91	60
04/02	12:21	123	124	125	124	124	124	125	123	123	124	75,7	74,8	77,6	76,1	75,9	75,0	77,7	75,6	74,7	77,6	8.630	8.411	8.829	25.870	3.643	3.878	4.011	11.532	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	12:22	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	75,8	74,8	77,6	76,1	76,0	75,0	77,7	75,7	74,7	77,5	8.646	8.411	8.812	25.869	3.643	3.861	3.995	11.499	0,92	0,90	0,91	0,91	60
04/02	12:23	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	75,9	74,9	77,5	76,1	76,1	75,1	77,6	75,7	74,7	77,4	8.646	8.428	8.795	25.869	3.660	3.861	3.995	11.516	0,92	0,90	0,91	0,91	60
04/02	12:24	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	75,9	74,9	77,4	76,1	76,0	75,1	77,6	75,8	74,8	77,4	8.646	8.428	8.795	25.869	3.660	3.861	3.995	11.516	0,91	0,90	0,91	0,91	60

Data dia/mês	Hora	V1 (V)	V2 (V)	V3 (V)	VIII (V)	Vx1 (V)	Vx2 (V)	Vx3 (V)	Vn1 (V)	Vn2 (V)	Vn3 (V)	A1 (A)	A2 (A)	A3 (A)	AIII (A)	Ax1 (A)	Ax2 (A)	Ax3 (A)	An1 (A)	An2 (A)	An3 (A)	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)	PIII. (W)	Q1 (VAr)	Q2 (VAr)	Q3 (VAr)	QIII. (VAr)	FP1	FP2	FP3	FPIII	Freq. (Hz)
04/02	12:25	123	123	124	123	123	124	125	123	123	124	75,8	75,1	77,5	76,1	76,0	75,3	77,6	75,6	75,0	77,3	8.630	8.444	8.795	25.869	3.677	3.878	3.978	11.533	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	12:26	123	123	124	123	123	124	124	123	123	124	75,8	75,1	77,4	76,1	76,0	75,3	77,6	75,7	75,0	77,2	8.630	8.444	8.779	25.853	3.660	3.861	3.961	11.482	0,92	0,90	0,91	0,91	60
04/02	12:27	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	75,9	75,3	77,3	76,1	76,1	75,5	77,5	75,8	75,1	77,3	8.630	8.461	8.779	25.870	3.660	3.844	3.944	11.448	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	12:28	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	75,9	75,3	77,3	76,2	76,1	75,4	77,5	75,8	75,1	77,1	8.630	8.461	8.762	25.853	3.677	3.844	3.961	11.482	0,92	0,90	0,91	0,91	60
04/02	12:29	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	75,9	75,3	77,3	76,2	76,1	75,4	77,6	75,8	75,2	77,2	8.613	8.461	8.762	25.836	3.677	3.861	3.961	11.499	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	12:30	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,0	75,2	77,3	76,2	76,2	75,4	77,5	75,9	75,1	77,2	8.630	8.461	8.762	25.853	3.677	3.844	3.961	11.482	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	12:31	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,2	75,1	77,2	76,2	76,4	75,3	77,4	76,0	75,0	77,1	8.663	8.444	8.745	25.852	3.677	3.827	3.961	11.465	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	12:32	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,1	75,0	77,3	76,1	76,4	75,2	77,6	75,9	74,9	77,1	8.663	8.428	8.745	25.836	3.643	3.794	3.961	11.398	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	12:33	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,1	75,1	77,4	76,2	76,3	75,3	77,6	76,0	74,9	77,2	8.646	8.444	8.762	25.852	3.643	3.811	3.944	11.398	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	12:34	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	75,9	75,2	77,4	76,2	76,1	75,3	77,6	75,9	75,1	77,3	8.630	8.461	8.762	25.853	3.643	3.827	3.944	11.414	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	12:35	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,0	75,3	77,3	76,2	76,3	75,4	77,5	75,8	75,1	77,2	8.630	8.461	8.762	25.853	3.660	3.827	3.927	11.414	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	12:36	123	123	124	123	123	123	124	123	123	123	76,1	75,1	77,4	76,2	76,3	75,3	77,6	76,0	75,0	77,3	8.646	8.428	8.762	25.836	3.643	3.811	3.944	11.398	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	12:37	123	123	124	123	124	123	124	123	123	123	76,2	75,1	77,3	76,2	76,5	75,3	77,5	75,9	74,9	77,1	8.646	8.444	8.745	25.835	3.677	3.827	3.978	11.482	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	12:38	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	75,9	74,8	77,4	76,1	76,2	75,0	77,6	75,8	74,7	77,2	8.646	8.428	8.779	25.853	3.660	3.844	3.978	11.482	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	12:39	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	75,9	74,8	77,5	76,1	76,1	75,1	77,7	75,9	74,7	77,3	8.646	8.411	8.779	25.836	3.643	3.827	3.978	11.448	0,92	0,90	0,91	0,91	60
04/02	12:40	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	75,9	74,9	77,5	76,1	76,1	75,1	77,6	75,8	74,7	77,3	8.646	8.428	8.779	25.853	3.660	3.861	3.995	11.516	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	12:41	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,0	74,8	77,5	76,1	76,2	74,9	77,7	75,9	74,7	77,4	8.663	8.411	8.779	25.853	3.643	3.827	3.995	11.465	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	12:42	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,2	74,7	77,4	76,1	76,5	74,8	77,6	76,0	74,6	77,3	8.680	8.411	8.762	25.853	3.660	3.827	4.028	11.515	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	12:43	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,1	74,7	77,4	76,1	76,3	74,9	77,6	76,0	74,7	77,2	8.680	8.411	8.762	25.853	3.677	3.844	4.028	11.549	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	12:44	123	123	124	123	123	123	125	123	123	124	76,0	74,8	77,5	76,1	76,3	75,0	77,6	75,9	74,7	77,4	8.663	8.411	8.779	25.853	3.660	3.827	3.995	11.482	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	12:45	123	123	124	123	124	123	125	123	123	124	76,0	74,8	77,4	76,1	76,3	75,0	77,6	75,9	74,7	77,2	8.663	8.411	8.779	25.853	3.660	3.827	3.995	11.482	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	12:46	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	75,9	74,8	77,5	76,1	76,3	75,0	77,8	75,9	74,7	77,4	8.646	8.411	8.779	25.836	3.643	3.827	3.995	11.465	0,92	0,90	0,91	0,91	60
04/02	12:47	123	123	124	123	124	123	125	123	123	124	75,9	74,7	77,6	76,1	76,2	75,0	78,1	75,9	74,7	77,5	8.663	8.411	8.795	25.869	3.643	3.827	4.011	11.481	0,92	0,90	0,91	0,91	60
04/02	12:48	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,0	74,7	77,5	76,1	76,3	74,9	77,6	75,9	74,6	77,4	8.663	8.411	8.779	25.853	3.660	3.827	4.028	11.515	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	12:49	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,0	74,7	77,5	76,1	76,2	74,9	77,6	75,9	74,7	77,4	8.663	8.411	8.779	25.853	3.626	3.811	3.978	11.415	0,92	0,90	0,90	0,91	60

Data dia/mês	Hora	V1 (V)	V2 (V)	V3 (V)	VIII (V)	Vx1 (V)	Vx2 (V)	Vx3 (V)	Vn1 (V)	Vn2 (V)	Vn3 (V)	A1 (A)	A2 (A)	A3 (A)	AIII (A)	Ax1 (A)	Ax2 (A)	Ax3 (A)	An1 (A)	An2 (A)	An3 (A)	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)	PIII (W)	Q1 (VAr)	Q2 (VAr)	Q3 (VAr)	QIII (VAr)	FP1	FP2	FP3	FPIII	Freq. (Hz)
04/02	12:50	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,0	74,7	77,5	76,1	76,3	75,0	77,6	75,9	74,7	77,4	8.663	8.411	8.779	25.853	3.660	3.827	4.011	11.498	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	12:51	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	75,9	74,7	77,5	76,0	76,3	74,8	77,6	75,9	74,6	77,4	8.663	8.394	8.795	25.852	3.643	3.844	4.028	11.515	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	12:52	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	75,9	74,7	77,5	76,1	76,2	75,0	77,8	75,8	74,6	77,2	8.663	8.411	8.779	25.853	3.660	3.844	4.011	11.515	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	12:53	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	75,9	74,8	77,3	76,0	76,1	75,0	77,6	75,9	74,7	77,2	8.646	8.428	8.779	25.853	3.677	3.844	4.011	11.532	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	12:54	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	75,9	74,8	77,3	76,0	76,2	75,1	77,5	75,8	74,8	77,1	8.646	8.428	8.779	25.853	3.677	3.844	3.995	11.516	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	12:55	123	123	124	123	124	124	124	123	123	124	75,9	74,9	77,3	76,1	76,1	75,1	77,5	75,9	74,8	77,1	8.646	8.428	8.762	25.836	3.643	3.827	3.961	11.431	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	12:56	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	75,9	74,9	77,3	76,1	76,2	75,2	77,6	75,9	74,8	77,2	8.646	8.428	8.762	25.836	3.660	3.827	3.978	11.465	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	12:57	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,0	75,1	77,3	76,1	76,2	75,3	77,6	75,9	75,0	77,2	8.630	8.444	8.745	25.819	3.660	3.827	3.961	11.448	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	12:58	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,0	75,2	77,4	76,2	76,3	75,3	77,6	75,9	75,0	77,2	8.630	8.428	8.745	25.803	3.643	3.811	3.927	11.381	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	12:59	123	123	124	123	123	123	124	122	122	123	75,9	75,2	77,5	76,2	76,1	75,5	77,7	75,8	75,0	77,4	8.596	8.428	8.762	25.786	3.609	3.811	3.927	11.347	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:00	122	122	123	122	123	123	124	122	122	123	75,9	75,3	77,5	76,3	76,3	75,6	77,7	75,8	75,2	77,3	8.596	8.428	8.745	25.769	3.609	3.811	3.894	11.314	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:01	122	123	123	122	123	123	124	122	122	123	75,9	75,4	77,5	76,3	76,1	75,6	77,7	75,8	75,3	77,4	8.596	8.444	8.762	25.802	3.643	3.844	3.927	11.414	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:02	122	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,0	75,3	77,5	76,3	76,2	75,6	77,6	75,9	75,2	77,3	8.596	8.428	8.745	25.769	3.626	3.794	3.894	11.314	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:03	123	123	124	123	123	123	124	122	122	123	75,9	75,1	77,3	76,1	76,3	75,3	77,6	75,9	75,0	77,2	8.613	8.428	8.745	25.786	3.643	3.811	3.944	11.398	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:04	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	75,9	75,2	77,4	76,1	76,1	75,4	77,6	75,8	75,1	77,2	8.613	8.444	8.762	25.819	3.660	3.844	3.944	11.448	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:05	123	123	124	123	123	123	124	122	122	123	76,1	75,2	77,4	76,2	76,3	75,4	77,6	75,9	75,1	77,2	8.630	8.444	8.745	25.819	3.626	3.794	3.911	11.331	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:06	123	123	124	123	123	123	124	122	123	124	76,0	75,2	77,3	76,2	76,3	75,3	77,6	75,9	75,0	77,3	8.613	8.444	8.745	25.802	3.660	3.811	3.944	11.415	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:07	123	123	124	123	123	123	124	122	123	124	76,0	75,2	77,4	76,2	76,2	75,4	77,7	75,9	75,0	77,1	8.630	8.444	8.762	25.836	3.643	3.811	3.927	11.381	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:08	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	75,9	75,3	77,2	76,1	76,2	75,5	77,6	75,9	75,1	77,0	8.630	8.461	8.745	25.836	3.677	3.844	3.944	11.465	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:09	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,1	75,1	77,4	76,2	76,4	75,3	77,7	75,9	75,0	77,3	8.646	8.444	8.762	25.852	3.660	3.811	3.961	11.432	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:10	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,1	75,0	77,3	76,1	76,4	75,2	77,6	76,0	74,9	77,1	8.646	8.428	8.745	25.819	3.677	3.811	3.978	11.466	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:11	123	123	123	123	123	123	124	122	122	123	76,1	75,2	77,4	76,2	76,4	75,4	77,6	76,0	75,1	77,3	8.630	8.428	8.745	25.803	3.626	3.794	3.927	11.347	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:12	123	123	123	123	123	123	124	122	123	123	76,1	75,2	77,4	76,2	76,5	75,4	77,6	76,0	75,2	77,2	8.630	8.428	8.745	25.803	3.626	3.794	3.911	11.331	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:13	123	123	123	123	123	123	124	122	122	123	76,2	75,3	77,3	76,3	76,5	75,4	77,5	76,1	75,1	77,3	8.630	8.444	8.728	25.802	3.660	3.811	3.944	11.415	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:14	122	123	123	122	123	123	124	122	122	123	76,1	75,3	77,4	76,3	76,3	75,4	77,6	75,9	75,2	77,3	8.613	8.444	8.745	25.802	3.643	3.811	3.927	11.381	0,92	0,91	0,91	0,91	60

Data dia/mês	Hora	V1 (V)	V2 (V)	V3 (V)	VIII (V)	Vx1 (V)	Vx2 (V)	Vx3 (V)	Vn1 (V)	Vn2 (V)	Vn3 (V)	A1 (A)	A2 (A)	A3 (A)	AIII (A)	Ax1 (A)	Ax2 (A)	Ax3 (A)	An1 (A)	An2 (A)	An3 (A)	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)	PIII (W)	Q1 (VAr)	Q2 (VAr)	Q3 (VAr)	QIII (VAr)	FP1	FP2	FP3	FPIII	Freq. (Hz)
04/02	13:15	122	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,1	75,3	77,6	76,3	76,3	75,5	77,7	76,0	75,2	77,4	8.613	8.428	8.762	25.803	3.626	3.811	3.927	11.364	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:16	122	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,1	75,3	77,5	76,3	76,3	75,5	77,7	75,9	75,2	77,4	8.613	8.444	8.745	25.802	3.626	3.794	3.911	11.331	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:17	122	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,1	75,3	77,6	76,3	76,3	75,5	77,7	76,0	75,3	77,4	8.613	8.428	8.762	25.803	3.643	3.811	3.927	11.381	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:18	122	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,1	75,2	77,5	76,3	76,4	75,3	77,6	76,0	75,1	77,3	8.630	8.428	8.745	25.803	3.626	3.777	3.927	11.330	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:19	123	123	123	123	123	123	124	122	122	123	76,1	75,2	77,5	76,3	76,4	75,4	77,7	76,0	75,1	77,4	8.630	8.428	8.762	25.820	3.626	3.794	3.927	11.347	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:20	123	123	124	123	123	123	124	122	122	123	76,1	75,3	77,5	76,3	76,3	75,4	77,7	76,0	75,2	77,4	8.630	8.444	8.762	25.836	3.643	3.811	3.944	11.398	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:21	122	123	123	122	123	123	124	122	122	123	76,0	75,2	77,6	76,3	76,2	75,4	77,8	75,9	75,1	77,4	8.613	8.428	8.762	25.803	3.626	3.811	3.927	11.364	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:22	123	123	124	123	123	123	124	122	123	123	76,1	75,2	77,5	76,3	76,3	75,3	77,6	75,9	75,0	77,4	8.630	8.428	8.762	25.820	3.643	3.811	3.944	11.398	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:23	122	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,2	75,1	77,5	76,3	76,5	75,3	77,6	75,9	75,0	77,3	8.646	8.428	8.745	25.819	3.609	3.777	3.927	11.313	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:24	122	122	123	122	123	123	123	122	122	123	76,3	75,2	77,6	76,4	76,6	75,3	77,8	76,1	75,0	77,5	8.630	8.411	8.745	25.786	3.593	3.760	3.911	11.264	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:25	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,5	75,2	77,6	76,4	76,7	75,5	77,8	76,4	75,1	77,6	8.646	8.411	8.728	25.785	3.576	3.727	3.911	11.214	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:26	122	122	123	122	122	122	123	122	122	122	76,5	75,3	77,6	76,5	76,9	75,6	77,9	76,3	75,3	77,6	8.646	8.411	8.728	25.785	3.609	3.743	3.911	11.263	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:27	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,5	75,2	77,7	76,5	76,7	75,4	77,9	76,2	75,1	77,6	8.630	8.394	8.745	25.769	3.609	3.760	3.927	11.296	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:28	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,3	75,2	77,6	76,4	76,5	75,4	77,9	76,1	75,1	77,5	8.630	8.411	8.745	25.786	3.593	3.760	3.927	11.280	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:29	122	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,2	75,2	77,6	76,3	76,5	75,4	78,0	76,0	74,9	77,5	8.630	8.411	8.762	25.803	3.576	3.760	3.894	11.230	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:30	122	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,1	75,0	77,7	76,3	76,4	75,3	78,0	75,9	74,8	77,5	8.630	8.394	8.762	25.786	3.576	3.760	3.911	11.247	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:31	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,2	75,2	77,7	76,4	76,5	75,4	77,9	76,1	75,0	77,6	8.613	8.394	8.762	25.769	3.609	3.794	3.944	11.347	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:32	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,2	75,3	77,7	76,4	76,4	75,5	78,0	76,1	75,1	77,6	8.613	8.411	8.762	25.786	3.609	3.794	3.944	11.347	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:33	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,2	75,3	77,8	76,4	76,4	75,5	78,1	76,1	75,2	77,6	8.613	8.411	8.762	25.786	3.593	3.794	3.927	11.314	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:34	122	122	123	122	122	122	123	121	121	122	76,4	75,2	77,7	76,4	76,6	75,5	78,1	76,3	75,0	77,6	8.630	8.394	8.745	25.769	3.576	3.743	3.911	11.230	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:35	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,5	75,3	77,6	76,5	76,7	75,6	77,9	76,4	75,3	77,6	8.646	8.411	8.728	25.785	3.593	3.727	3.894	11.214	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:36	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,4	75,3	77,6	76,5	76,5	75,7	77,9	76,3	75,2	77,5	8.630	8.428	8.745	25.803	3.609	3.777	3.911	11.297	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:37	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,2	75,5	77,6	76,4	76,5	75,8	78,0	76,1	75,4	77,4	8.596	8.444	8.745	25.785	3.609	3.777	3.877	11.263	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:38	122	122	123	122	122	122	123	121	122	122	76,4	75,5	77,6	76,5	76,6	75,7	78,0	76,2	75,4	77,4	8.613	8.444	8.728	25.785	3.609	3.760	3.877	11.246	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:39	122	122	123	122	122	122	123	121	122	123	76,5	75,3	77,6	76,5	76,6	75,7	78,1	76,3	75,2	77,5	8.630	8.428	8.745	25.803	3.609	3.760	3.911	11.280	0,92	0,91	0,91	0,91	60



Data dia/mês	Hora	V1 (V)	V2 (V)	V3 (V)	VIII (V)	Vx1 (V)	Vx2 (V)	Vx3 (V)	Vn1 (V)	Vn2 (V)	Vn3 (V)	A1 (A)	A2 (A)	A3 (A)	AIII (A)	Ax1 (A)	Ax2 (A)	Ax3 (A)	An1 (A)	An2 (A)	An3 (A)	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)	PIII (W)	Q1 (VAr)	Q2 (VAr)	Q3 (VAr)	QIII (VAr)	FP1	FP2	FP3	FPIII	Freq. (Hz)
04/02	13:40	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,3	75,2	77,6	76,4	76,5	75,3	78,0	76,2	75,0	77,6	8.630	8.411	8.762	25.803	3.609	3.777	3.927	11.313	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:41	122	122	123	122	123	123	123	122	122	123	76,2	75,3	77,6	76,4	76,5	75,5	77,8	76,0	75,2	77,6	8.630	8.428	8.762	25.820	3.609	3.777	3.911	11.297	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:42	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,2	75,3	77,6	76,4	76,5	75,5	77,9	75,9	75,2	77,6	8.613	8.411	8.762	25.786	3.609	3.777	3.911	11.297	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:43	122	122	123	122	122	122	123	121	122	123	76,3	75,4	77,7	76,5	76,5	75,7	78,1	76,2	75,3	77,6	8.613	8.428	8.762	25.803	3.609	3.777	3.911	11.297	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:44	122	122	123	122	123	122	123	122	122	123	76,4	75,3	77,6	76,4	76,5	75,5	77,8	76,2	75,2	77,4	8.630	8.428	8.745	25.803	3.593	3.760	3.894	11.247	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:45	122	122	123	122	123	122	123	122	122	123	76,3	75,4	77,5	76,4	76,5	75,6	77,6	76,1	75,3	77,4	8.613	8.428	8.728	25.769	3.626	3.777	3.894	11.297	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:46	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,3	75,4	77,6	76,4	76,5	75,6	77,9	76,2	75,3	77,5	8.613	8.444	8.745	25.802	3.609	3.760	3.877	11.246	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:47	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,3	75,3	77,6	76,4	76,5	75,7	78,2	76,2	75,3	77,5	8.613	8.428	8.745	25.786	3.593	3.777	3.911	11.281	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:48	122	122	123	122	123	122	123	122	122	123	76,3	75,4	77,6	76,4	76,5	75,8	77,9	76,1	75,2	77,4	8.630	8.444	8.745	25.819	3.609	3.777	3.894	11.280	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:49	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,2	75,4	77,5	76,4	76,5	75,7	77,9	76,0	75,3	77,3	8.613	8.444	8.745	25.802	3.593	3.760	3.877	11.230	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:50	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,2	75,3	77,6	76,4	76,5	75,6	78,0	76,0	75,2	77,4	8.613	8.428	8.745	25.786	3.609	3.777	3.894	11.280	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:51	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,4	75,3	77,5	76,4	76,6	75,6	77,6	76,2	75,3	77,4	8.630	8.428	8.728	25.786	3.626	3.760	3.894	11.280	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:52	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,4	75,5	77,5	76,5	76,6	75,7	77,6	76,2	75,4	77,4	8.630	8.444	8.728	25.802	3.609	3.760	3.877	11.246	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:53	122	122	123	122	123	123	123	122	122	123	76,3	75,3	77,4	76,3	76,5	75,6	77,6	76,1	75,2	77,2	8.630	8.444	8.728	25.802	3.643	3.777	3.911	11.331	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:54	122	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,2	75,3	77,5	76,3	76,4	75,5	77,9	76,1	75,2	77,4	8.630	8.444	8.745	25.819	3.626	3.794	3.927	11.347	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:55	122	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,1	75,3	77,4	76,3	76,3	75,5	77,6	76,1	75,2	77,3	8.630	8.444	8.745	25.819	3.660	3.827	3.944	11.431	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:56	123	123	123	123	123	123	124	122	123	123	76,1	75,3	77,3	76,3	76,4	75,4	77,5	76,0	75,3	77,1	8.630	8.444	8.728	25.802	3.643	3.777	3.894	11.314	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:57	123	123	123	123	123	123	124	122	122	123	76,3	75,3	77,2	76,3	76,5	75,6	77,6	76,1	75,3	77,0	8.630	8.461	8.728	25.819	3.677	3.794	3.911	11.382	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:58	123	123	123	123	123	123	124	122	122	123	76,2	75,2	77,3	76,2	76,5	75,4	77,6	76,2	75,0	77,1	8.630	8.428	8.728	25.786	3.660	3.794	3.944	11.398	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	13:59	123	123	124	123	123	123	124	122	123	124	76,2	75,1	77,5	76,3	76,4	75,3	77,7	76,0	75,0	77,4	8.646	8.428	8.762	25.836	3.643	3.811	3.961	11.415	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:00	123	123	124	123	123	123	124	122	123	124	76,1	75,0	77,6	76,2	76,3	75,3	77,9	76,0	74,9	77,3	8.630	8.411	8.762	25.803	3.626	3.811	3.944	11.381	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:01	123	123	124	123	123	123	124	122	122	124	76,1	75,0	77,6	76,2	76,4	75,3	77,8	76,0	74,8	77,5	8.646	8.411	8.779	25.836	3.643	3.827	3.978	11.448	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:02	123	123	124	123	123	123	124	122	122	123	76,1	75,0	77,6	76,3	76,4	75,1	78,0	75,9	74,9	77,6	8.646	8.394	8.779	25.819	3.626	3.794	3.961	11.381	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:03	122	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,2	75,1	77,7	76,3	76,5	75,3	78,0	76,1	74,9	77,5	8.646	8.411	8.779	25.836	3.593	3.777	3.944	11.314	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:04	123	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,3	75,0	77,5	76,3	76,5	75,1	77,6	76,0	74,9	77,4	8.646	8.411	8.745	25.802	3.626	3.777	3.944	11.347	0,92	0,91	0,91	0,91	60

Data dia/mês	Hora	V1 (V)	V2 (V)	V3 (V)	VIII (V)	Vx1 (V)	Vx2 (V)	Vx3 (V)	Vn1 (V)	Vn2 (V)	Vn3 (V)	A1 (A)	A2 (A)	A3 (A)	AIII (A)	Ax1 (A)	Ax2 (A)	Ax3 (A)	An1 (A)	An2 (A)	An3 (A)	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)	PIII (W)	Q1 (VAr)	Q2 (VAr)	Q3 (VAr)	QIII (VAr)	FP1	FP2	FP3	FPIII	Freq. (Hz)
04/02	14:05	122	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,3	75,0	77,6	76,3	76,5	75,2	77,7	76,2	74,9	77,5	8.646	8.411	8.745	25.802	3.643	3.794	3.961	11.398	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:06	122	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,3	75,0	77,6	76,3	76,5	75,1	78,1	76,3	74,8	77,6	8.646	8.394	8.762	25.802	3.626	3.794	3.961	11.381	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:07	122	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,4	74,9	77,6	76,3	76,6	75,3	78,0	76,2	74,7	77,4	8.663	8.394	8.745	25.802	3.593	3.743	3.944	11.280	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:08	123	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,5	75,0	77,4	76,3	76,6	75,2	77,6	76,3	74,9	77,2	8.663	8.411	8.728	25.802	3.643	3.760	3.944	11.347	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:09	123	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,4	75,0	77,4	76,3	76,5	75,2	77,6	76,3	74,9	77,3	8.646	8.411	8.728	25.785	3.677	3.794	3.978	11.449	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:10	123	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,5	75,1	77,4	76,3	76,6	75,2	77,6	76,3	74,9	77,3	8.663	8.411	8.728	25.802	3.626	3.760	3.944	11.330	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:11	123	122	123	122	123	123	124	123	122	123	76,5	74,9	77,4	76,3	76,6	75,1	77,6	76,3	74,7	77,2	8.680	8.411	8.728	25.819	3.626	3.743	3.944	11.313	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:12	123	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,4	74,8	77,6	76,3	76,6	75,0	77,8	76,2	74,7	77,4	8.663	8.377	8.745	25.785	3.609	3.760	3.961	11.330	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:13	122	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,5	74,8	77,6	76,3	76,6	75,1	77,8	76,4	74,7	77,5	8.663	8.394	8.745	25.802	3.643	3.777	3.995	11.415	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:14	122	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,5	74,9	77,6	76,4	76,7	75,0	77,9	76,5	74,8	77,5	8.680	8.377	8.745	25.802	3.609	3.743	3.961	11.313	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:15	122	122	123	122	123	123	124	122	122	123	76,4	75,0	77,6	76,3	76,5	75,1	78,0	76,3	74,9	77,6	8.663	8.394	8.762	25.819	3.609	3.760	3.961	11.330	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:16	122	122	123	122	123	122	124	122	122	123	76,4	74,9	77,6	76,3	76,6	75,1	77,8	76,3	74,8	77,6	8.663	8.394	8.745	25.802	3.609	3.760	3.944	11.313	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:17	122	122	123	122	123	122	123	122	122	123	76,5	75,0	77,6	76,4	76,6	75,3	77,9	76,3	74,8	77,6	8.646	8.394	8.745	25.785	3.626	3.777	3.961	11.364	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:18	122	122	123	122	123	123	124	121	121	122	76,1	74,7	77,3	76,0	76,7	75,3	77,8	75,4	74,0	76,7	8.630	8.344	8.711	25.685	3.609	3.760	3.961	11.330	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:19	122	122	123	122	123	123	123	122	122	123	76,3	74,9	77,5	76,2	76,5	75,1	77,6	76,1	74,7	77,3	8.646	8.377	8.728	25.751	3.609	3.760	3.944	11.313	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:20	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,5	75,0	77,5	76,3	76,6	75,3	77,8	76,4	74,8	77,2	8.646	8.394	8.711	25.751	3.609	3.727	3.927	11.263	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:21	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,5	75,1	77,5	76,3	76,8	75,3	78,1	76,4	74,9	77,2	8.646	8.394	8.711	25.751	3.593	3.710	3.894	11.197	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:22	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	76,7	75,3	77,5	76,5	77,0	75,6	77,8	76,5	75,1	77,3	8.663	8.428	8.711	25.802	3.626	3.727	3.911	11.264	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:23	122	122	122	122	122	122	123	121	121	122	76,7	75,5	77,6	76,6	76,9	75,7	77,8	76,6	75,3	77,3	8.646	8.428	8.711	25.785	3.609	3.727	3.894	11.230	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:24	123	123	124	123	123	123	124	122	122	123	76,5	75,1	77,4	76,3	76,9	75,6	77,8	76,2	74,7	77,2	8.680	8.428	8.745	25.853	3.643	3.760	3.944	11.347	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:25	123	123	124	123	123	123	124	123	122	124	76,5	74,9	77,6	76,3	76,6	75,2	77,7	76,4	74,7	77,3	8.680	8.411	8.762	25.853	3.626	3.760	3.978	11.364	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:26	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,5	74,8	77,5	76,3	76,7	75,0	77,9	76,4	74,7	77,4	8.697	8.394	8.762	25.853	3.609	3.727	3.961	11.297	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:27	123	123	124	123	123	123	124	123	122	124	76,6	74,8	77,4	76,3	76,9	75,0	77,7	76,5	74,7	77,3	8.714	8.411	8.745	25.870	3.660	3.743	3.995	11.398	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:28	123	123	124	123	123	123	124	123	122	124	76,7	74,7	77,6	76,3	76,9	75,0	77,7	76,6	74,7	77,4	8.714	8.394	8.745	25.853	3.626	3.743	3.995	11.364	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	14:29	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,5	74,7	77,6	76,3	76,8	75,0	77,7	76,4	74,7	77,5	8.714	8.394	8.762	25.870	3.643	3.760	3.995	11.398	0,92	0,91	0,90	0,91	60



Data dia/mês	Hora	V1 (V)	V2 (V)	V3 (V)	VIII (V)	Vx1 (V)	Vx2 (V)	Vx3 (V)	Vn1 (V)	Vn2 (V)	Vn3 (V)	A1 (A)	A2 (A)	A3 (A)	AIII (A)	Ax1 (A)	Ax2 (A)	Ax3 (A)	An1 (A)	An2 (A)	An3 (A)	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)	PIII (W)	Q1 (VAr)	Q2 (VAr)	Q3 (VAr)	QIII (VAr)	FP1	FP2	FP3	FPIII	Freq. (Hz)
04/02	14:30	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,3	74,7	77,5	76,2	76,6	74,9	77,9	76,0	74,6	77,3	8.680	8.411	8.779	25.870	3.660	3.811	4.011	11.482	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	14:31	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,1	74,7	77,6	76,1	76,3	74,7	77,9	75,9	74,5	77,4	8.680	8.394	8.795	25.869	3.643	3.811	4.011	11.465	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	14:32	123	123	124	123	124	124	125	122	122	124	76,2	74,7	77,6	76,1	76,6	74,9	78,1	76,0	74,6	77,4	8.680	8.394	8.779	25.853	3.626	3.794	3.995	11.415	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:33	123	123	124	123	123	123	124	122	122	123	76,4	74,7	77,6	76,2	76,5	74,9	77,9	76,3	74,7	77,5	8.680	8.377	8.762	25.819	3.626	3.777	3.995	11.398	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:34	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,4	74,7	77,6	76,2	76,5	74,8	77,7	76,2	74,5	77,5	8.697	8.394	8.779	25.870	3.660	3.794	4.011	11.465	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	14:35	123	123	124	123	124	123	125	123	123	124	76,4	74,7	77,4	76,1	76,5	74,8	77,6	76,3	74,6	77,3	8.697	8.394	8.762	25.853	3.643	3.760	3.995	11.398	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	14:36	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,4	74,7	77,4	76,1	76,6	74,9	77,6	76,3	74,5	77,3	8.697	8.411	8.762	25.870	3.660	3.777	4.011	11.448	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	14:37	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,3	74,8	77,4	76,2	76,5	75,0	77,7	76,2	74,7	77,3	8.680	8.411	8.762	25.853	3.660	3.794	3.995	11.449	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	14:38	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	76,3	74,8	77,4	76,2	76,5	75,1	77,6	76,2	74,7	77,3	8.680	8.411	8.762	25.853	3.660	3.794	3.978	11.432	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:39	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,1	74,7	77,3	76,1	76,4	74,9	77,6	75,9	74,6	77,0	8.680	8.411	8.762	25.853	3.643	3.794	3.995	11.432	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	14:40	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,0	74,5	77,3	75,9	76,2	74,8	77,6	75,9	74,3	77,2	8.663	8.394	8.762	25.819	3.643	3.811	4.011	11.465	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	14:41	124	124	125	124	124	124	125	123	123	125	75,9	74,6	77,3	75,9	76,1	74,8	77,7	75,7	74,5	77,2	8.663	8.411	8.779	25.853	3.660	3.827	4.011	11.498	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	14:42	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	75,9	74,7	77,3	76,0	76,2	74,9	77,7	75,7	74,5	77,0	8.663	8.411	8.779	25.853	3.660	3.827	3.995	11.482	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	14:43	123	123	124	123	124	124	124	123	123	124	76,0	74,7	77,2	76,0	76,3	74,9	77,5	75,9	74,5	77,1	8.663	8.411	8.762	25.836	3.660	3.811	3.995	11.466	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	14:44	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,0	74,8	77,2	76,0	76,4	75,1	77,6	75,9	74,7	77,1	8.663	8.411	8.745	25.819	3.660	3.827	3.995	11.482	0,92	0,90	0,91	0,91	60
04/02	14:45	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,1	74,8	77,0	76,0	76,4	75,0	77,2	75,9	74,7	77,0	8.663	8.428	8.728	25.819	3.677	3.794	3.961	11.432	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	14:46	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,1	74,7	77,1	76,0	76,2	74,9	77,4	75,9	74,6	77,0	8.663	8.428	8.745	25.836	3.710	3.844	4.028	11.582	0,91	0,91	0,90	0,91	60
04/02	14:47	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,3	74,7	77,2	76,1	76,5	74,9	77,6	76,0	74,7	77,0	8.680	8.428	8.745	25.853	3.693	3.811	3.995	11.499	0,91	0,91	0,90	0,91	60
04/02	14:48	123	123	124	123	124	123	124	123	123	124	76,4	74,7	77,3	76,1	76,7	75,0	77,6	76,2	74,6	77,1	8.697	8.411	8.745	25.853	3.660	3.777	3.995	11.432	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	14:49	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,3	74,7	77,2	76,1	76,4	74,7	77,5	76,1	74,6	77,1	8.697	8.411	8.745	25.853	3.693	3.811	4.028	11.532	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	14:50	124	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,2	74,6	77,2	76,0	76,4	74,8	77,5	76,0	74,5	77,1	8.697	8.411	8.762	25.870	3.677	3.811	4.028	11.516	0,91	0,91	0,90	0,91	60
04/02	14:51	124	123	125	124	124	124	125	123	123	124	76,2	74,6	77,3	76,0	76,4	74,7	77,5	76,0	74,4	77,2	8.697	8.411	8.762	25.870	3.677	3.811	4.028	11.516	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	14:52	124	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,3	74,6	77,3	76,1	76,5	74,7	77,6	76,2	74,3	77,1	8.697	8.411	8.762	25.870	3.660	3.794	4.028	11.482	0,92	0,91	0,90	0,91	60
04/02	14:53	123	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,1	74,5	77,4	76,0	76,4	74,8	77,7	76,0	74,3	77,4	8.697	8.394	8.779	25.870	3.660	3.811	4.028	11.499	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	14:54	124	123	124	123	124	124	125	123	123	124	76,3	74,4	77,3	76,0	76,5	74,7	77,6	76,1	74,2	77,1	8.714	8.394	8.762	25.870	3.660	3.794	4.028	11.482	0,92	0,91	0,90	0,91	60

Data dia/mês	Hora	V1 (V)	V2 (V)	V3 (V)	VIII (V)	Vx1 (V)	Vx2 (V)	Vx3 (V)	Vn1 (V)	Vn2 (V)	Vn3 (V)	A1 (A)	A2 (A)	A3 (A)	AIII (A)	Ax1 (A)	Ax2 (A)	Ax3 (A)	An1 (A)	An2 (A)	An3 (A)	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)	PIII (W)	Q1 (VAr)	Q2 (VAr)	Q3 (VAr)	QIII (VAr)	FP1	FP2	FP3	FPIII	Freq. (Hz)
04/02	14:55	124	123	125	124	124	124	125	123	123	124	76,2	74,5	77,4	76,0	76,5	74,7	77,6	76,0	74,4	77,3	8.697	8.394	8.779	25.870	3.660	3.811	4.045	11.516	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	14:56	124	124	125	124	124	124	125	123	123	125	76,0	74,5	77,5	76,0	76,3	74,7	77,8	75,9	74,4	77,3	8.697	8.394	8.795	25.886	3.677	3.844	4.062	11.583	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	14:57	124	124	125	124	124	124	125	124	123	125	76,0	74,4	77,4	75,9	76,2	74,7	77,6	75,9	74,3	77,3	8.697	8.394	8.795	25.886	3.677	3.844	4.062	11.583	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	14:58	124	124	125	124	124	124	125	124	124	125	75,9	74,5	77,4	75,9	76,1	74,6	77,6	75,8	74,3	77,2	8.697	8.394	8.795	25.886	3.677	3.861	4.062	11.600	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	14:59	124	124	125	124	124	124	125	124	124	125	75,8	74,5	77,4	75,9	76,0	74,7	77,6	75,7	74,4	77,3	8.663	8.394	8.812	25.869	3.677	3.878	4.045	11.600	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	15:00	124	124	125	124	124	124	125	124	124	125	75,8	74,6	77,5	75,9	75,9	74,7	77,7	75,7	74,4	77,3	8.663	8.411	8.812	25.886	3.660	3.878	4.045	11.583	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	15:01	124	124	125	124	124	124	125	123	123	125	75,8	74,6	77,4	75,9	76,0	74,8	77,6	75,6	74,5	77,3	8.663	8.411	8.795	25.869	3.677	3.861	4.045	11.583	0,92	0,90	0,90	0,91	60
04/02	15:03	125	125	126	125	126	126	127	121	123	122	75,7	74,1	77,1	75,6	76,2	81,2	79,4	74,7	73,7	76,9	8.730	8.411	8.829	25.970	3.777	3.945	4.179	11.901	0,91	0,90	0,90	0,90	60
04/02	15:04	125	125	126	125	126	125	127	122	124	123	75,7	74,2	77,0	75,7	75,9	80,5	79,0	75,1	73,7	75,9	8.714	8.428	8.812	25.954	3.777	3.945	4.162	11.884	0,91	0,90	0,90	0,90	60
04/02	15:05	124	124	124	124	125	125	125	124	124	124	75,0	76,6	75,8	75,8	75,3	77,3	76,5	74,6	76,2	75,2	8.495	8.696	8.678	25.869	3.844	3.978	3.793	11.615	0,91	0,90	0,91	0,91	60
04/02	15:06	124	124	125	124	124	125	125	121	123	121	75,1	76,4	76,4	75,9	76,8	82,0	80,6	75,0	76,1	76,2	8.529	8.646	8.728	25.903	3.828	3.995	3.860	11.683	0,91	0,90	0,91	0,91	60
04/02	15:07	123	123	124	123	124	125	125	121	122	122	75,4	76,6	76,4	76,2	76,1	77,2	77,0	75,0	76,4	76,0	8.512	8.646	8.695	25.853	3.777	3.928	3.793	11.498	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:08	122	123	123	122	122	123	123	122	122	123	75,6	76,8	76,8	76,4	75,9	77,0	77,0	75,5	76,7	76,5	8.495	8.612	8.678	25.785	3.710	3.878	3.743	11.331	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:09	122	122	123	122	122	123	123	122	122	122	75,7	76,3	77,2	76,4	76,1	77,1	77,6	75,5	75,6	76,9	8.512	8.545	8.728	25.785	3.660	3.861	3.810	11.331	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:10	122	122	123	122	122	122	123	122	122	123	75,9	75,9	77,6	76,4	76,1	76,0	77,8	75,8	75,8	77,4	8.546	8.478	8.745	25.769	3.626	3.827	3.843	11.296	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:11	122	122	123	122	123	123	124	122	122	123	75,8	75,9	77,6	76,4	76,0	76,0	77,7	75,3	75,4	77,5	8.546	8.478	8.762	25.786	3.609	3.844	3.860	11.313	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:12	122	123	123	122	123	123	124	122	123	123	75,5	75,9	77,3	76,2	75,7	76,0	77,6	75,3	75,8	77,3	8.529	8.495	8.762	25.786	3.660	3.878	3.877	11.415	0,92	0,90	0,91	0,91	60
04/02	15:13	123	123	124	123	123	123	124	122	123	123	75,5	75,9	77,3	76,2	75,7	76,0	77,6	75,3	75,7	77,1	8.546	8.512	8.762	25.820	3.677	3.895	3.877	11.449	0,91	0,90	0,91	0,91	60
04/02	15:14	122	123	123	122	123	123	124	122	123	123	75,5	75,9	77,3	76,2	75,8	76,0	77,6	75,3	75,7	77,2	8.546	8.512	8.762	25.820	3.660	3.895	3.877	11.432	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:15	122	123	123	122	123	123	124	122	122	123	75,7	75,8	77,3	76,3	75,9	75,9	77,7	75,5	75,7	77,2	8.546	8.495	8.762	25.803	3.643	3.861	3.877	11.381	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:16	122	122	123	122	123	123	123	122	122	123	75,7	75,9	77,4	76,3	75,9	76,1	77,6	75,6	75,8	77,2	8.546	8.495	8.745	25.786	3.643	3.861	3.843	11.347	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:17	122	123	123	122	123	123	123	122	122	123	75,8	76,0	77,2	76,3	75,9	76,1	77,6	75,7	75,9	77,1	8.546	8.512	8.728	25.786	3.677	3.844	3.843	11.364	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:18	122	122	123	122	123	123	123	122	122	123	75,9	76,0	77,1	76,3	76,0	76,2	77,4	75,8	75,9	77,0	8.546	8.528	8.711	25.785	3.677	3.844	3.843	11.364	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:19	122	122	123	122	122	123	123	122	122	123	75,9	76,0	77,2	76,4	76,1	76,2	77,4	75,8	75,9	77,1	8.562	8.528	8.728	25.818	3.643	3.827	3.827	11.297	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:20	122	122	123	122	123	123	123	122	122	123	75,9	75,9	77,1	76,3	76,1	76,1	77,4	75,8	75,8	77,0	8.562	8.512	8.728	25.802	3.677	3.827	3.843	11.347	0,92	0,91	0,91	0,91	60



Data dia/mês	Hora	V1 (V)	V2 (V)	V3 (V)	VIII (V)	Vx1 (V)	Vx2 (V)	Vx3 (V)	Vn1 (V)	Vn2 (V)	Vn3 (V)	A1 (A)	A2 (A)	A3 (A)	AIII (A)	Ax1 (A)	Ax2 (A)	Ax3 (A)	An1 (A)	An2 (A)	An3 (A)	P1 (W)	P2 (W)	P3 (W)	PIII (W)	Q1 (VAr)	Q2 (VAr)	Q3 (VAr)	QIII (VAr)	FP1	FP2	FP3	FPIII	Freq. (Hz)
04/02	15:21	122	123	123	122	123	123	124	122	122	123	75,9	75,9	77,2	76,3	76,1	76,1	77,4	75,7	75,8	77,0	8.579	8.512	8.728	25.819	3.677	3.844	3.860	11.381	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:22	123	123	124	123	123	123	124	122	123	123	75,8	75,8	77,1	76,2	76,0	75,9	77,5	75,6	75,6	77,0	8.579	8.512	8.745	25.836	3.693	3.861	3.894	11.448	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:23	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	75,7	75,8	77,0	76,1	75,9	76,0	77,2	75,6	75,5	76,8	8.562	8.528	8.728	25.818	3.693	3.861	3.860	11.414	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:24	123	123	124	123	123	123	124	123	123	123	75,7	75,8	77,0	76,2	75,9	76,0	77,3	75,5	75,6	76,9	8.562	8.512	8.728	25.802	3.677	3.861	3.860	11.398	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:25	122	123	123	122	123	123	124	122	123	123	75,6	75,9	77,2	76,3	75,8	76,2	77,5	75,5	75,9	77,1	8.546	8.528	8.745	25.819	3.677	3.878	3.860	11.415	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:26	122	123	123	122	123	123	124	122	123	123	75,5	75,9	77,3	76,3	75,7	76,2	77,6	75,4	75,8	77,2	8.529	8.512	8.762	25.803	3.660	3.878	3.843	11.381	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:27	122	123	123	122	123	123	123	122	123	123	75,6	76,0	77,3	76,3	75,8	76,2	77,5	75,5	75,9	77,1	8.529	8.528	8.745	25.802	3.643	3.861	3.827	11.331	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:28	122	123	123	122	123	123	123	122	123	123	75,8	76,0	77,2	76,3	75,9	76,1	77,4	75,6	75,9	77,1	8.546	8.528	8.745	25.819	3.660	3.861	3.843	11.364	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:29	122	123	123	122	123	123	123	122	123	123	75,7	75,9	77,2	76,3	75,9	76,1	77,4	75,6	75,8	77,2	8.546	8.512	8.745	25.803	3.677	3.878	3.877	11.432	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:30	122	123	123	122	123	123	123	122	122	123	75,7	75,9	77,3	76,3	75,9	76,1	77,6	75,6	75,8	77,2	8.546	8.512	8.745	25.803	3.660	3.861	3.860	11.381	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:31	122	123	123	122	123	123	124	122	123	123	75,7	75,9	77,3	76,3	75,9	76,1	77,6	75,5	75,8	77,2	8.546	8.512	8.745	25.803	3.660	3.861	3.860	11.381	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:32	122	123	123	122	123	123	124	122	123	123	75,7	75,9	77,3	76,3	75,9	76,0	77,6	75,6	75,9	77,1	8.546	8.512	8.762	25.820	3.660	3.861	3.860	11.381	0,92	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:33	123	123	124	123	123	123	124	122	123	123	75,6	75,9	77,3	76,3	75,8	76,1	77,6	75,5	75,6	77,1	8.546	8.512	8.762	25.820	3.677	3.878	3.877	11.432	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:34	123	123	124	123	123	123	124	122	123	123	75,5	75,7	77,3	76,2	75,8	75,9	77,6	75,3	75,6	77,1	8.546	8.495	8.762	25.803	3.660	3.878	3.877	11.415	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:35	123	123	124	123	123	123	124	122	123	124	75,4	75,9	77,4	76,2	75,7	76,0	78,1	75,0	75,8	77,2	8.529	8.512	8.779	25.820	3.660	3.895	3.877	11.432	0,91	0,90	0,91	0,91	60
04/02	15:36	123	123	124	123	123	123	124	122	123	123	75,4	75,9	77,2	76,2	75,8	76,1	77,5	75,3	75,7	77,1	8.529	8.512	8.762	25.803	3.677	3.895	3.860	11.432	0,91	0,90	0,91	0,91	60
04/02	15:37	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	75,5	75,9	77,2	76,2	75,8	76,4	77,5	75,3	75,8	77,0	8.546	8.528	8.762	25.836	3.677	3.895	3.860	11.432	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:38	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	75,5	75,9	77,0	76,1	75,9	76,0	77,3	75,4	75,7	77,0	8.546	8.528	8.745	25.819	3.693	3.895	3.877	11.465	0,91	0,90	0,91	0,91	60
04/02	15:39	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	75,6	75,9	77,0	76,1	75,9	76,0	77,2	75,4	75,8	76,9	8.562	8.528	8.728	25.818	3.693	3.878	3.877	11.448	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:40	123	123	124	123	123	123	124	123	123	124	75,5	75,9	77,0	76,1	75,8	76,1	77,0	75,4	75,8	76,9	8.546	8.545	8.728	25.819	3.710	3.895	3.860	11.465	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:41	123	123	124	123	123	123	124	123	123	123	75,6	76,0	77,0	76,2	75,8	76,2	77,2	75,5	75,9	76,9	8.546	8.545	8.745	25.836	3.710	3.895	3.860	11.465	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:42	123	123	124	123	123	123	124	123	123	123	75,6	75,9	77,0	76,2	75,9	76,1	77,2	75,4	75,8	76,9	8.562	8.528	8.728	25.818	3.693	3.861	3.860	11.414	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:43	122	123	123	122	123	123	124	122	123	123	75,7	76,0	77,1	76,3	75,9	76,2	77,3	75,6	75,8	77,0	8.546	8.528	8.728	25.802	3.677	3.861	3.843	11.381	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:44	123	123	123	123	123	123	124	123	123	123	75,7	75,9	77,0	76,2	75,9	76,1	77,2	75,5	75,8	76,9	8.562	8.528	8.728	25.818	3.693	3.861	3.860	11.414	0,91	0,91	0,91	0,91	60
04/02	15:45	123	123	123	123	123	123	124	122	122	123	75,8	75,9	77,0	76,2	75,9	76,3	77,2	75,7	75,8	76,8	8.562	8.528	8.711	25.801	3.693	3.844	3.843	11.380	0,91	0,91	0,91	0,91	60



0810000989

