

TESE

1022

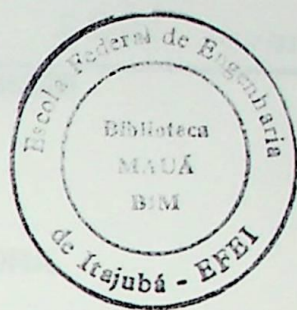
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

**Reabilitação de Pequenos
Aproveitamentos Hidroenergéticos**

Estudo de um Caso — A PCH de “Bicas do Meio”

EDUARDO LUIS BARBOSA MENDES

ITAJUBÁ - Dezembro de 1999



EFEI

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

DEPARTAMENTO DE ELETROTÉCNICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**TÍTULO: REABILITAÇÃO DE PEQUENOS
APROVEITAMENTOS HIDROENERGÉTICOS.
ESTUDO DE UM CASO – A PCH DE “BICAS DO MEIO”**

Autor: Eduardo Luis Barbosa Mendes
Orientador: Prof. Dr Jamil Haddad
Co-orientador: Prof . L.D. Zulcy de Souza

Dezembro / 1999



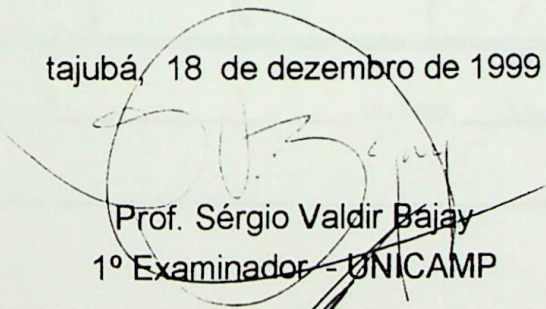
Ministério da Educação
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

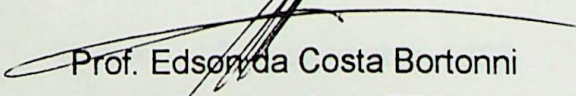
A N E X O I

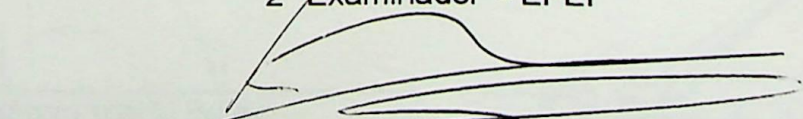
PRONUNCIAMENTO DA BANCA EXAMINADORA

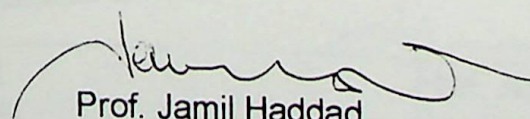
A Banca Examinadora, abaixo assinada, nomeada pela Portaria nº 338 de 17 de dezembro 1999, considerando o resultado do Julgamento da Prova de Defesa Pública da Dissertação de Mestrado intitulada: "**Reabilitação de Pequenos Aproveitamentos Hidroenergéticos**" apresenta pronunciamento no sentido de que o Coordenador dos Cursos de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Escola Federal de Engenharia de Itajubá solicite ao DRA (Departamento de Registro Acadêmico) a expedição do título de **Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica**, na área de **Automação e Sistemas Elétricos Industriais**, satisfeitas as demais exigências regimentais, à **Eduardo Luís Barbosa Mendes**.

Itajubá, 18 de dezembro de 1999


Prof. Sérgio Valdir Bajay
1º Examinador - UNICAMP


Prof. Edson da Costa Borttoni
2º Examinador - EFEI


Prof. Zúlcyr de Souza
3º Examinador - EFEI


Prof. Jamil Haddad
4º Examinador - (Orientador)



Ministério da Educação
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

ANEXO II

FOLHA DE JULGAMENTO DA BANCA EXAMINADORA

Título da Dissertação: **Reabilitação de Pequenos Aproveitamentos Hidroenergéticos**

Autor: **Eduardo Luís Barbosa Mendes**

JULGAMENTO

Examinadores	Conceito	Rubrica
1º	A	
2º	A	
3º	A	
4º	A	

Resultado Médio: Conceito A, ou seja, aprovado

Observações: _____

Itajubá, 18 de dezembro 1999

Prof. Sérgio Valdir Bajay
1º Examinador - UNICAMP

Prof. Edson da Costa Borttoni.
2º Examinador - EFEI

Prof. Zulcy Souza
3º Examinador-EFEI

Prof. Jamil Haddad
4º Examinador - EFEI

Agradecimentos

Agradeço ao Exército Brasileiro pela oportunidade impar a mim oferecida para realização desta dissertação.

À Fábrica de Armas de Itajubá na figura de seu Superintendente Sr. Cel Alte Saturno E. Zilberberg, seus oficiais e seus funcionários por permitirem meu acesso a informações e visitas à Central tema deste trabalho.

Ao Sr. Professor Jamil Haddad pela orientação, ao Grupo de Estudos Energéticos e todos os seus participantes, pelo espaço físico, equipamentos e pela atenção a mim destinada.

Ao Sr Professor Edson Bortoni pelo apoio em vários passos desta dissertação.

A todo o corpo docente do Laboratório Hidráulico de Pequenas Centrais Hidrelétricas – LHPCH pelo apoio.

Ao Sr. Professor Zulcy de Souza, co-orientador responsável pelas principais cadeiras durante a execução dos créditos, por toda a parte intrínseca sobre centrais hidrelétricas em seus principais conceitos e pela satisfação que demonstra em dividir sua imensa experiência na área.

À toda a Escola Federal de Engenharia de Itajubá – EFEI pela acolhida e pelo dinamismo de seus funcionários que tornam esta Escola um local fácil de ser admirado.

Em particular a minha esposa Sra. Amabeni Alvim Mendes pelo carinho e atenção presente em todos momentos da realização deste trabalho.

	Pag.
Agradecimentos	i
Índice	ii
Índice de Figuras	iv
Índice de Tabelas	vi
Simbologia	vii
Resumo	ix
Abstract	x
Introdução	xi
Capítulo 1 – Levantamento histórico	
1.1 Origens e objetivos	01
1.2 Estudos para implantação	01
1.3 Sistema operacional previsto	05
1.4 Alterações ocorridas	07
Capítulo 2 - Situação atual, aspectos institucionais e legais	
2.1 Características do sistema de geração	11
2.1.1 Central auxiliar – CA	11
2.1.2 Central principal – CP	23
2.2 Características do mercado	49
2.2.1 – Cálculo do custo do MWh médio mensal da geração posto IMBEL – Fábrica de Itajubá	50
2.2.1.1 - Custos mensais com pessoal	51
2.2.1.2 - Custos médios mensais com materiais e manutenção.	52
2.2.1.3 – Custos médios mensais com impostos	52
2.2.1.4 - Cálculo do consumo médio mensal da energia gerada que não é transmitida para Itajubá	52
2.2.1.5 - Levantamento do consumo médio mensal da fábrica de Itajubá	53
2.2.1.6 - Cálculo do custo médio mensal da energia gerada em Bicas do Meio	55
2.2.1.7 - Cálculo do valor que seria pago à Concessionária no caso de fornecimento total desta para a Fábrica	56
2.3 Tabela Comparativa	58
2.4 Aspectos institucionais e legais	58
2.4.1 Principais características técnicas da central para fins de enquadramento legal quanto ao tipo	58
2.4.2 Principais características para enquadramento legal	59
2.4.3 Situação atual	60
2.5 Análise Técnica e Econômica	60
2.5.1 Em relação aos equipamentos existentes	60
2.5.2 Em relação aos custos atuais	60

Capítulo 3 – Planejamento futuro

3.1 Roteiro geral	61
3.2 Planejamento da geração e do mercado	62
3.2.1 Estudos hidrológicos	62
3.2.2 Metodologia utilizada	63
3.2.3 Resultados obtidos	65
3.2.4 Estudos para vazão de projeto	77
3.2.4.1 Primeira análise dos dados de vazão	78
3.2.4.2 Análise para a central principal	80
3.2.4.3 Análise para a central auxiliar	105
3.2.4.4 Análise para toda a central	105
3.3 Estudos de repotenciação e modernização	105
3.3.1 O investimento	107
3.3.2 Comentários	109
3.4 Análise técnico econômica financeira	110
3.4.1 Duração das potências	110
3.4.2 Duração da demanda	110
3.4.3 Energia excedente	112
3.4.4 Tarifa a ser aplicada	115
3.4.5 Análise econômica financeira para venda da energia excedente em tempo integral	115
3.4.6 Análise econômica financeira para venda da energia excedente no horário de ponta	117
3.5 Análise comparativa das opções, considerando valores atuais do mercado financeiro	118
3.5.1 Valores de mercado	118
3.5.2 Análise comparativa: Tempo integral x Ponta	118
3.5.3 Conclusão parcial	119

Capítulo 4 – Conclusões e Recomendações

4.1 Conclusões	120
4.2 Recomendações	122

Bibliografia	123
Anexo 1 à Bibliografia	127
Anexo 2 à Bibliografia	128
Anexo 3 à Bibliografia	146
Anexo 4 à Bibliografia	148

Índice de Figuras

	Pag	
Capítulo 1		
1.1	Esquema da central de Bicas do Meio	02
1.2	Localização na carta geográfica	03
1.3	Esquema da barragem vista de montante	03
1.4	Planta da central de Bicas do Meio	05
1.5	Barragem em construção. Desvio do rio Bicas	07
1.6	Construção da barragem	08
1.7	Grupo gerador de 165 kVA	09
1.8	Barragem concluída, central auxiliar e a vegetação ao fundo	09
Capítulo 2		
2.1	Esquema do perfil de queda	11
2.2	Barragem de regularização perfil creager	12
2.3	Barragem de 1957. Vista de montante	12
2.4	Registros de dreno do reservatório	13
2.5	Grade do Rio de Bicas (Lajeado)	14
2.6	Canal adutor do Ribeirão Quilombo	14
2.7	Registro de entrada da caixa espiral	15
2.8	Câmara de sucção do canal de fuga	16
2.9	Grupo gerador da central auxiliar	17
2.10	Casa de máquinas da central auxiliar	18
2.11	Painel de comando da CA	18
2.12	Torres de transmissão	20
2.13	Detalhe do painel de comando da central auxiliar	21
2.14	Reservatório 1932. Paramento seco	23
2.15	Vertedouro e canal	24
2.16	Barragem submersa	24
2.17	Final do túnel de descarga, à esquerda o local da antiga Cachoeira	25
2.18	Comportas da tomada d'água	25
2.19	Casa de válvulas e início dos condutos forçados	26
2.20	Trecho final dos condutos forçados	27
2.21	Casa de máquinas da CP	27
2.22	Conexão Y da tubulação forçada	28
2.23	Alimentação das turbinas em linha	28
2.24	Engrenagens da válvula de entrada	29
2.25	Tubos de sucção retos	30
2.26	Disposição dos GG na casa de máquinas da CP	30
2.27	Canal de fuga do GG 05	33
2.28	Grupo gerador 06 – 165 kVA	34
2.29	Disposição típica dos GG da central principal	35
2.30	Mezanino da central principal	37
2.31	Painel de controle no mezanino da central principal	38
2.32	Sincronoscópio acima do painel de controle	39
2.33	Túnel sob o piso entre a casa de máquinas e a subestação da CP	40
2.34	Subestação elevadora - 1º Piso, Equipamentos em 2,2 kV	41
2.35	Subestação elevadora 2º Piso, Equipamentos em 30 kV	44
2.36	Linhas de transmissão. Detalhe do pára-raios no solo	45
2.37	Painel de circuitos auxiliares sob o mezanino	46
2.38a	Grupo gerador diesel	47
2.38b	Transformador da subestação diesel	47

2.38c	Painel de comando da subestação diesel	47
2.39	Diagrama de blocos. Cargas da central de Bicas do Meio	49
2.40	Curvas de carga típicas da Fábrica	55
2.41	Construção da barragem em 1955	59
2.42	Barragem concluída. Década de 60	59

Capítulo 3

3.1	Curva chave obtida para estação 61250000	66
3.2	Curva chave obtida para estação 61255000	66
3.3	Curva chave obtida para estação 61261000	66
3.4	Curva chave obtida para estação 61264000	67
3.5	Curva chave obtida para estação 61265000	67
3.6	Curva chave obtida para estação 61260000	67
3.7	Curva chave obtida para estação 61267000	68
3.8	Curva chave obtida para estação 61269000	68
3.9	Curva chave obtida para estação 61270000	68
3.10	Curva chave obtida para estação 61280000	69
3.11	Curva chave obtida para estação 61285000	69
3.12	Curva chave obtida para estação 61295000	69
3.13	Curva chave obtida para estação 61320000	70
3.14	Curva chave obtida para estação 61343000	70
3.15	Curva chave obtida para estação 61350000	70
3.16	Curva chave obtida para estação 61360000	71
3.17	Gráfico de correlação entre as estações FZG x BSC	72
3.18	Gráfico de correlação entre as estações FZG x SJI	72
3.19	Gráfico de correlação entre as estações FZG x BDA	73
3.20	Gráfico de correlação entre as estações FZG x CDO	73
3.21	Gráfico FT x FA	75
3.22	Fluviograma de vazões médias mensais da Central	78
3.23	Curva de permanência de vazões. Médias mensais	78
3.24	Diagrama de Rippl	79
3.25	Gráfico Perda de carga x Vazão	102
3.26	Gráfico Potência x Vazão	102
3.27	Gráfico de duração de potências para a central Principal	103
3.28	Gráfico Energia x Potência	104
3.29	Curva de duração de potências	110
3.30	Discretização da curva de carga	111
3.31	Curva de duração da demanda	112
3.32	Gráfico: Potência excedente x Probabilidade de ocorrência	113
3.33	Gráfico: Energia excedente anual x Probabilidade de ocorrência	114
3.34	Gráfico: Energia excedente x Risco	114
3.35	Gráfico comparativo: TIR x Tarifa	119

Capítulo 4

4.1	Gráfico: Tempo de retorno x Tarifa. Risco (5%)	121
4.2	Gráfico: Tempo de retorno x Tarifa. Risco (10%)	121

Índice de Tabelas

	Pag.
Capítulo 2	
2.1	Características atuais da central auxiliar 22
2.2	Características atuais da central principal 48
2.3	Folha de pagamento dos funcionários da central 51
2.4	Legenda da Tabela 2.3 51
2.5	Custos médios mensais com materiais e manutenção da central 52
2.6	Custo médio mensal total da central de Bicas do Meio 52
2.7	Consumo médio interno e da Vila de Funcionários 53
2.8	Consumo médio mensal total da central de Bicas do Meio 55
2.9	Valores médios mensais 56
2.10	Comparação de custos 58
2.11	Potência instalada na central de Bicas do Meio (dados de placa) 58
Capítulo 3	
3.1	Estações constantes no inventário no Município de Delfim Moreira 63
3.2	Estações hidrométricas escolhidas para a transposição 65
3.3	Estações após a seleção 71
3.4	Fatores de transposição 74
3.5	Estações extintas do aproveitamento 74
3.6	Histórico de vazões obtido para o local do aproveitamento 76
3.7	Relação de vazões, potências e perdas de carga associadas 101
3.8	Expectativa de aumento da capacidade operativa da central 106
3.9	Serviços essenciais a central de Bicas do Meio 107
3.10	Estimativa de investimento para a central de Bicas do Meio (novembro de 1999) 108
3.11	Consumos médios mensais de 1998 111
3.12	Porcentagem dos intervalos em relação a demanda média mensal 112
3.13	Rentabilidade anual de outros investimentos 118

Símbologia

ABREVIATURAS:

CP – Central Hidrelétrica Principal
 CA – Central Hidrelétrica Auxiliar
 GG – Grupo Gerador
 GE – Gerador Elétrico
 TH – Turbina Hidráulica
 CC – Corrente Contínua
 CA – Corrente Alternada
 TC's – Transformadores de corrente
 TP's – Transformadores de potencial
 4º BECmb – 4º Batalhão de Engenharia de Combate
 Niv. – Nível
 Qte – Quantidade
 Vencto – Vencimento
 Tarf. – Tarifa
 Dreng. – Área de Drenagem
 Htp – Altura total perdida (m)
 Hb – Altura bruta (m)
 Pca – Potência da Central Auxiliar
 Pcp – Potência da Central Principal
 Und, und – Unidade
 Resvt. – Reservatório
 Mnt. – Manutenção
 Cmdo – Comando
 Subst. – Substituição
 Equip. – Equipamento
 Protç. – Proteção
 Desc. – Descargas
 Atm. – Atmosférica
 MSDHD – Microssistemas de Dados Hidrometeorológicos

SÍMBOLOS

H_{psi} – Perda de energia em metros
 λ_{psi} – Coeficiente de perda
 V_i – Velocidade do escoamento (m/s)
 g – Aceleração da gravidade (m/s²)
 Q – Vazão (m³/s)
 D_t – Diâmetro da tubulação
 β - Fator de perda de carga referente ao tipo de grade em tomadas d'água
 d – Distância (mm) entre barras da tomada d'água
 v – Velocidade da água (m/s) na projeção da abertura sobre um plano vertical sem se descontarem as barras da grade
 H_t – Altura total perdida em metros
 S_p – Área projetada (m²) da grade em um plano vertical
 θ – Ângulo em graus de curvas na tubulação
 H_d – Perda de carga na grade da tomada d'água
 δ - Ângulo em graus em estreitamentos
 ε - Rugosidade equivalente (mm) para tubos
 ε_0 – Rugosidade equivalente inicial (mm)
 α - Coeficiente de aumento de rugosidade (mm / ano)
 t – Anos de uso
 H_s – Altura em metros perdida na saída do reservatório
 λ_s – Coeficiente de perda na saída do reservatório
 λ_e – Coeficiente de perda em estreitamento da tubulação
 H_e – Perda de carga em estreitamento cônico da tubulação (m)
 H_v – Perda de carga em válvula tipo borboleta (m)

Símbologia

λ_c – Coeficiente de perda em curva

H_c – Perda de carga em curva (m)

λ_g – Coeficiente de perda em válvula tipo gaveta

H_g – Perda de carga em válvula tipo gaveta (m)

λ_a – Coeficiente de perda em alargamento

H_a – Perda de carga em alargamento (m)

H_{yt} – Perda de carga em conexão “Y” (m)

H_t – Perda de carga em estreitamento para entrada na turbina (m)

H_t – Perda de carga total do conduto (m)

P_d – Potência disponível (kW)

Resumo

Este trabalho apresenta o estudo de um caso de restauração de uma Pequena Central Hidroelétrica – PCH de menor porte do tipo com a intenção de automatizar as operações.

O desenvolvimento da dissertação é fruto de pesquisas de natureza técnica realizada em várias visitas às instalações da central, do levantamento de dados hidrologicos de uma 30 aproveitamento e de áreas vizinhas, de consulta e obtenção de equipamentos empregados em reconstrução e modernização de hidrelétricas e, finalmente, de uma análise econômica para verificação de sua viabilidade.

As conclusões deste trabalho apresentam um resultado favorável e tal aproveitamento e são sugeridas em propostas técnicas, com finalidade direta de aplicação de investimentos em estabilização, propostas para este campo.

Resumo

Este trabalho apresenta o estudo de um caso de reabilitação de uma Pequena Central Hidrelétrica – PCH de nome Bicas do Meio com o objetivo de sistematizar tal procedimento.

O desenvolvimento da dissertação é fruto de pesquisas de conotação histórica realizada em muitas visitas às instalações da central, do levantamento de dados hidrológicos da área do aproveitamento e de áreas vizinhas, de consulta a fabricantes de equipamentos empregados em repotenciação e modernização de hidrelétricas e, finalmente, de uma análise econômica para verificação de sua viabilidade.

As conclusões deste trabalho apresentam um resultado favorável a tal empreendimento e são baseadas em projeções futuras, conseqüência direta da aplicação de investimentos em reabilitação, propostas para esta central.

Introdução

A recuperação de centros hidroelétricos tem se mostrado um bom investimento em relação aos benefícios alcançados. A evolução de materiais, a aplicação de modernas tecnologias de construção de turbinas e um melhor aproveitamento dos recursos hídricos na grande maioria dos casos resulta em geração de maiores valores de potência e de energia, com impacto ambiental incremental bastante reduzido, fazendo uso das estruturas civis e hidráulicas existentes.

Este trabalho realiza o estudo de um caso de uma Pequena Central Hidroelétrica (PCH) situada no Município de Mandacaru - PB, na rodovia que liga João Pessoa - PB à Lagoa - PB, próxima ao km 25. Esta central existe desde 1937, sua construção e todo o seu ciclo hidrológico são de posse da União. Sua operação é restrita, atualmente, pelo Plan 5 de concessão de Material Básico do Brasil - MBBS.

Devido ao fato de a época de sua construção, a mesma teve grande impacto social positivo e gerou crescimento na área local onde foi instalada durante aproximadamente 40 anos. Durante todo seu existência esta nunca recebeu investimentos de modernização.

Abstract

Com o intuito de se analisar a viabilidade econômica, com ênfase para a produção de energia elétrica, esta PCH sofre com muitos problemas técnicos e operacionais e não sendo possível suprir a demanda local para a qual existe todo o seu ciclo hidrológico, a mesma encontra-se em situação de abandono.

This work shows the rehabilitation study of small power plant named Bicas do Meio. It has the purpose of systematize the procedure.

The dissertation development is result of historical research made through of many visits in power plant installation's, ask manufactures of power plant equipment's used in modernization and rehabilitation and, finally, a economical analysis of feasibility.

The conclusions of this work show favorable results for the enterprise and are based in future plans. They are direct consequence of investment application in the power plant rehabilitation.

Todo o trabalho de construção civil é um período longo para levantamento de um real valor. Um levantamento mais criterioso é apresentado no capítulo 3 desta dissertação, com determinação de um valor concreto de descarga, o qual é fundamental para todo o planejamento de obras no fornecimento tanto para a cidade local, como, principalmente, para a possível comercialização de excedentes.

De todo o universo de possibilidades a serem analisadas neste trabalho destacamos uma área de trabalho que foi considerada a menos dispendiosa, o investimento através das instalações existentes, devido a sua qualidade das mesmas, a utilização de seu site físico de construção como ferramenta de trabalho em qualquer possível cronograma de obras que não seja necessária a construção do real durante a execução integral de sua recuperação e por ser uma opção econômica viável.

Essa pesquisa tem por objetivo apresentar uma forma alternativa de recuperação de pequenas aproveitamentos hidroelétricos e um exemplo de utilização.

Introdução

A reabilitação de centrais hidrelétricas tem se mostrado um bom investimento em relação aos benefícios alcançados. A evolução de materiais, a aplicação de modernas tecnologias de construção de rotores e um melhor aproveitamento dos recursos hídricos na grande maioria das vezes resulta em obtenção de maiores valores de potência e de energia, com impacto ambiental incremental bastante reduzido, fazendo uso das estruturas civis e hidráulicas existentes

Esse trabalho realiza o estudo de um caso de uma Pequena Central Hidrelétrica - PCH situada no Município de Wenceslau Bráz – MG, na rodovia que interliga Itajubá – MG à Lorena – SP, próximo ao seu km 23. Esta central existe desde 1932; suas instalações e todo o sítio hidrológico são de posse da União. Sua operação é realizada, atualmente, pela Filial 5 da Indústria de Material Bélico do Brasil – IMBEL.

Devido ao local e à época de sua construção, a mesma teve grande impacto social positivo e gerou crescimento na micro região onde foi instalada durante aproximadamente 40 anos. Durante toda sua existência esta nunca recebeu investimentos de modernização.

Com potencial para atender não somente à referida fábrica, como também para vender energia excedente, esta PCH opera com muitas deficiências técnicas e operativas e nem mesmo consegue suprir totalmente a fábrica para a qual destina toda a sua geração devido a necessidade que novos equipamentos, existentes na fábrica, exigem quanto à qualidade de sua alimentação. Não há qualidade na energia gerada pela PCH no tocante a estabilidade de tensão e frequência.

A falta de investimentos trouxe como conseqüências não somente o atraso tecnológico, como, também, o acúmulo de pequenos defeitos, os quais representam atualmente uma grande parcela no custo de sua reabilitação e que em hipótese alguma, podem ser desprezados sob pena de desativação da central. O capítulo 2 desse trabalho realiza um levantamento destes defeitos, com o critério possível de ser adotado em uma central em operação.

Com sua operação em sistema isolado e consumo total da energia gerada teria seu enquadramento legal atual como autoprodutor, mas, devido aos fatos da época de sua construção anteceder até mesmo o extinto DNAEE, pertencer é ser operada pelo Exército Brasileiro, este representando a União, desde quando construída até a década de 70, e a partir daí ser operada pela IMBEL, houve um descompasso legal e encontra-se atualmente mantendo estreito contato com o Órgão Regulador para regularização de sua operação.

Todo o histórico de construção relata um período exíguo para levantamento de sua real vazão. Um levantamento mais criterioso é apresentado no capítulo 3 desse trabalho para determinação de um valor concreto de descarga, o qual é fundamental como dado para determinação de riscos no fornecimento tanto para a referida fábrica, como, principalmente, para a possível comercialização de excedentes.

De todo o universo de possibilidades a serem analisadas nesse trabalho escolheu-se uma linha de raciocínio que foi considerada a menos dispendiosa: o aproveitamento máximo das instalações existentes, devido a boa qualidade das mesmas, a utilização de seu alto índice de motorização como ferramenta para aplicação em qualquer possível cronograma, de forma que não seja necessária a paralisação da central durante a execução integral de sua reabilitação e, por fim, uma análise econômica associada.

Esse trabalho tem por objetivo apresentar uma forma sistemática de reabilitação de pequenos aproveitamentos hidroenergéticos e um exemplo de caso real.

Capítulo 1

LEVANTAMENTO HISTÓRICO

1.1 – Origens e objetivos

O panorama político social do princípio da década de 30 exigia, de forma crescente, uma expansão das fábricas de material bélico do País. A limitação de produção da Fábrica Getúlio Vargas de Explosivos e Pólvoras localizada na cidade de Piquete – SP era um problema a ser resolvido com determinada urgência.

A produção da referida fábrica tinha como um de seus principais insumos a energia elétrica, a qual era obtida através de uma geração local (hidrelétrica de Piquete) situada no Ribeirão Sertão, afluente do Rio Paraíba, com uma queda bruta de 84 m e um represamento de aproximadamente 40.000 m³. A Central compreendia 03 grupos geradores, compostos, cada um, de uma turbina de ação, com rotor Pelton de dois jatos e eixo horizontal acoplada diretamente a um gerador elétrico trifásico. O controle da velocidade de cada grupo era realizado através de um regulador a óleo-hidráulico, o qual possuía sensibilidade de $\pm 5\%$ da rotação nominal, conforme relatório encontrado em um armário de documentos existente no escritório da central objeto deste estudo [1].

A potência total desta Central era de 375 CV distribuídos em 125 CV por grupo e limitados pela vazão do Ribeirão Sertão que, em épocas de seca, era capaz de manter apenas um Grupo Gerador operando.

A potência insuficiente para a Fábrica, em determinadas épocas do ano, levou a mesma a utilizar sistemas auxiliares de geração de emergência, tais como, grupos geradores à diesel e a vapor.

A importância da produção da Fábrica de Piquete, a necessidade de expansão da indústria de material bélico e os custos da energia para tal levaram à necessidade de se estudar a possibilidade de ampliar a geração hidrelétrica utilizando a bacia do Rio de Bicas, em um local denominado Bicas do Meio, na época pertencente ao município de Itajubá.

1.2 – Estudos para implantação

Dada a necessidade gerada pelas condições citadas no item 1.1 iniciaram-se os estudos para implantação de tal empreendimento. O estudo do local foi realizado com base em mapas da Comissão Geográfica e Geológica de Minas Gerais, o levantamento topográfico da área foi executado por uma firma civil contratada, e de posse de dados hidrológicos de apenas poucos anos (mais precisamente de 1922 a 1927)[1]. Após os levantamentos topográficos e primeiros estudos, quando já era conhecida a área necessária à construção da central e suas instalações, iniciou-se a fase de questões patrimoniais com uma série de desapropriações e, até mesmo, doações realizadas nesta época, conforme dados pesquisados em [1].

Os levantamentos geológicos do local ficaram sob responsabilidade da Diretoria de Engenharia, “Comissão C. F. Trotyl”, 2ª Seção e estão apresentados na relação de desenhos [1] em anexo. A planta da Central hidrelétrica e barragem em Bicas do Meio também foi executada pela mesma Comissão, estando esquematizada na Fig. 1.1.

[1] Anexo 1 à Bibliografia

Situação da Central de Bicas do Meio

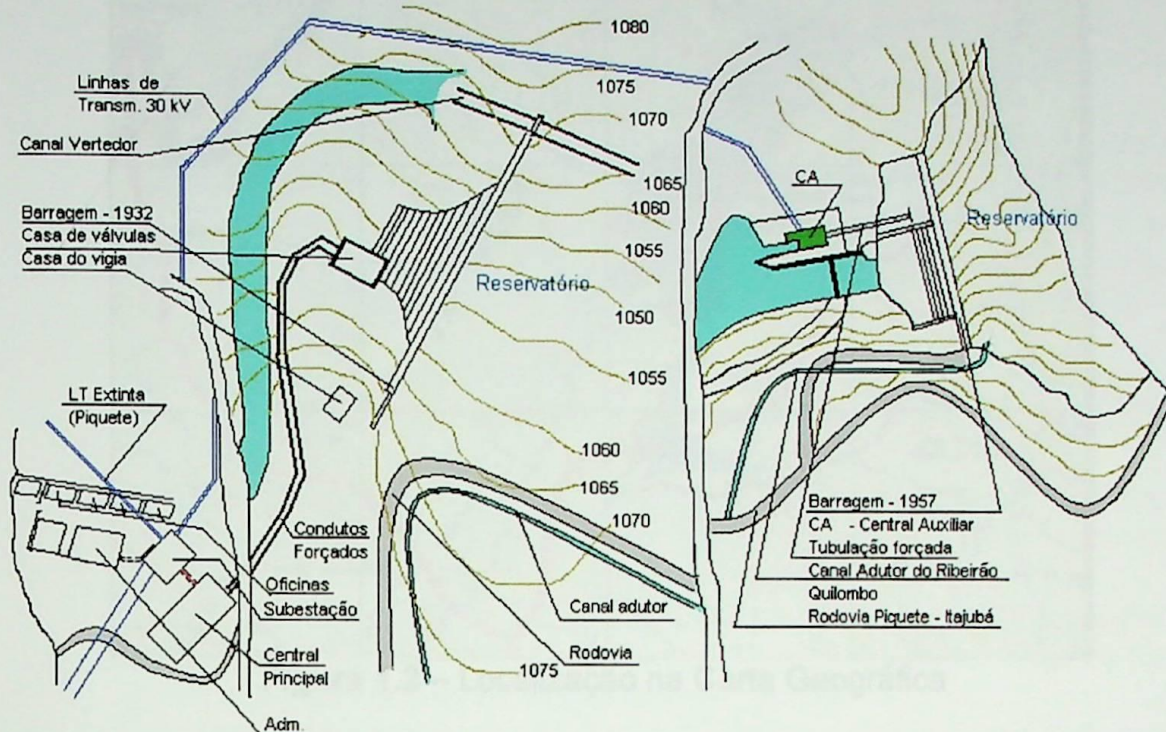


Figura 1.1 – Esquema da Central de Bicas do Meio

A Bacia hidrográfica local ficou constituída basicamente pelos Rios Bicas e Comprido, nascentes de um local denominado “Serra do Alto da Pedra”, conforme poderá ser verificado na Fig. 1.2.

O Rio de Bicas, principal contribuinte, é caracteristicamente um rio de montanha com escoamento em regime torrencial.

Inicialmente projetada para a produzir energia elétrica primordialmente às Fábricas de Pólvora e Explosivos em Piquete – SP, às futuras instalações da nova Fábrica de Canos e Sabres (futura Fábrica de Itajubá) - MG e ao Quartel do 4º Batalhão de Engenharia de Itajubá - MG, a Central de “Bicas do Meio” teve sua construção iniciada em 1922, sendo concluída em 1932.

A Central, que doravante será assim denominada, e obras anexas posicionaram-se na margem direita do Rio de Bicas, no local denominado “Bicas do Meio”, (hoje, Município de Wenceslau Brás), Minas Gerais, distante 22 km da cidade de Itajubá, à qual se interligava por estrada de rodagem de terra batida.

Sua exata localização é descrita na Carta do IBGE, Departamento de Cartografia, em sua Folha SF – 23 – Y – B – VI – 1 (Delfim Moreira) com Latitude 45° 22' 00" e Longitude 22° 33' 00" .

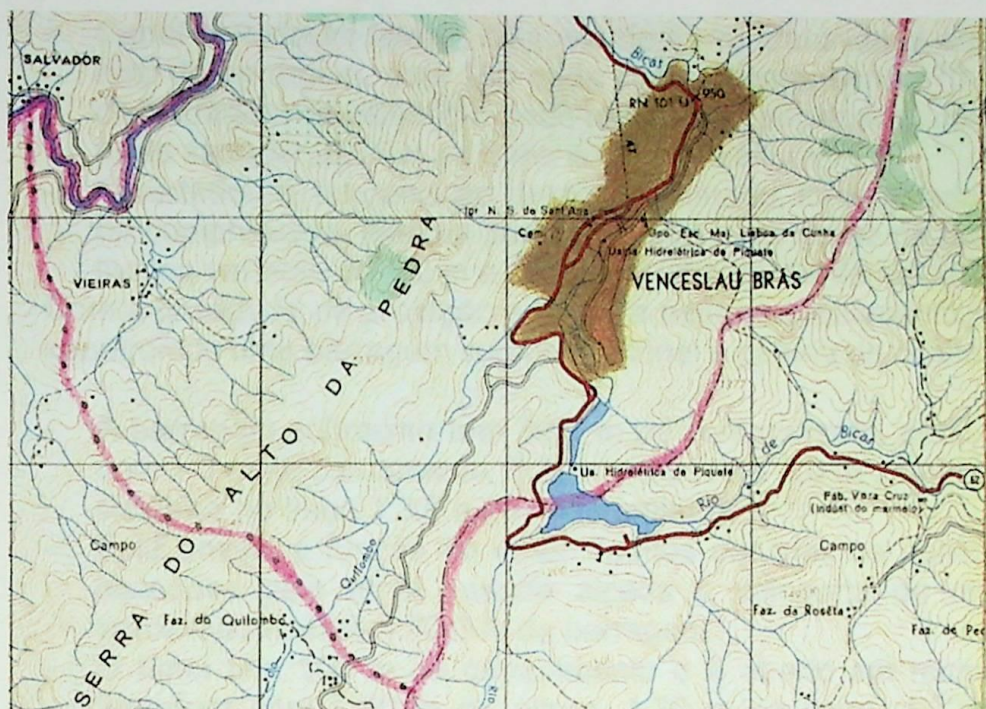


Figura 1.2 – Localização na Carta Geográfica

Mais conhecida pelo termo “REPI” devido a “Rede Elétrica Piquete Itajubá” iniciou suas operações em 08 de dezembro de 1932 e, a partir do ano de 1935, passou também a fornecer energia para Fábrica de Canos e Sabres, hoje Filial 5 da Indústria de Material Bélico do Brasil - IMBEL.

A barragem foi construída 34 m a montante da Cachoeira dos Negros no Rio de Bicas e apresenta as seguintes características, retiradas de [1] e esquematizadas na Fig. 1.3:

Esquema da barragem 1932. Perfil do paramento molhado

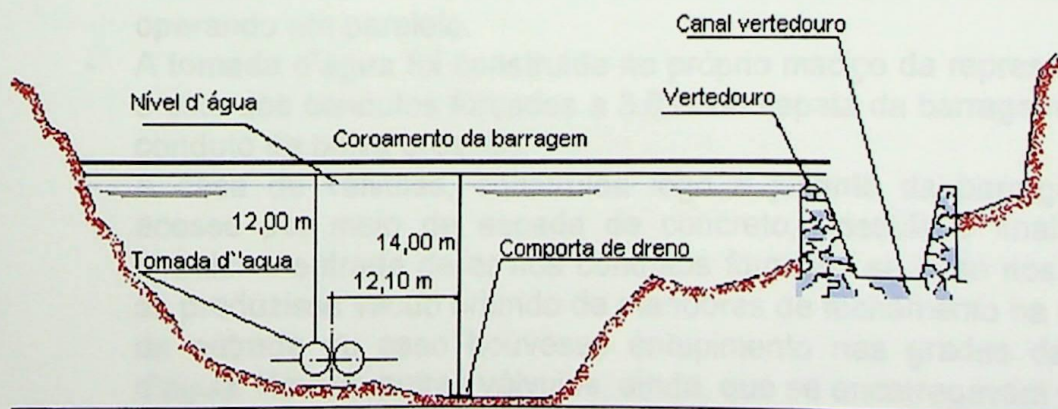


Figura 1.3 – Esquema da barragem vista de montante

- Seção transversal com: 2,40 m no coroamento, 12 m na base e 15 m de altura;
- Seção longitudinal com: 60,0 m de comprimento no coroamento e 16,50 m de comprimento em suas sapatas;
- Volume de 4440 m³ de concreto ciclópico a 1:3:6 e 12,5% de matacões;
- Reservatório responsável pela elevação de 14,0 m do nível do rio, com capacidade de 195 milhões de litros e aproximadamente 50000 m² de área inundada;

- Canal vertedouro lateral, disposto de forma transversal em relação ao eixo da barragem, com 180 m de comprimento, sendo 70 m a jusante da barragem de retenção, perfil transversal trapezoidal com 4,25 m na parte superior, 8,25 m na base e 4,0 m de altura;
- O vertedouro, tangente ao canal mencionado, foi projetado com 110 m de comprimento, esta na parte do canal a montante da barragem com lâmina vertente de 1,0 m e comporta uma vazão de até 200 m³/s.

Com a finalidade de proteção e limpeza neste represamento, ainda foram construídos uma barragem submersa, túnel e galeria de descarga.

- A barragem submersa tem 80,0 m de comprimento, perfil trapezoidal, com 1,0 m no coroamento, 5,20 m na base e 6,0 m de altura. Concreto ciclópico no traço 1:3:6 e 20 % de matacões;
- Esta possui a função de deter detritos pesados os quais devem ser escoados pelo túnel quando alçada a comporta do mesmo. Está aproximadamente a 70,0 m da barragem.
- O túnel tem 100 m de comprimento e é aberto em rocha. Perfil em ferradura com 1,60 m de altura, 1,20 m na base, 1,32 m no bojo. Vazão de 1600 l/s na velocidade de 14 m/s.
- Para a limpeza do trecho de 70,0 m entre a barragem submersa e a de retenção foi projetada uma galeria de descarga no fundo da barragem com comporta manual.
- Os condutos forçados foram dispostos em uma linha dupla, com a extensão de 1640 m cada. No local da tomada d'água seu diâmetro é de 1,50 m A tubulação compreende, ao longo de seu percurso, 4 seções de diâmetros decrescentes, onde, no final, próximo à Casa de máquinas, passa a 0,90 m. São tubos de aço estirado, com 6,0 m de comprimento cada peça, unidos entre si através de flanges parafusados. As duas linhas permitem uma vazão de 3125 l /s cada necessária ao funcionamento simultâneo das 5 turbinas da Central operando em paralelo.
- A tomada d'água foi construída no próprio maciço da represa, ficando o eixo dos condutos forçados a 3,0 m da sapata da barragem. Não há conduto de baixa pressão.
- A casa de válvulas, construída logo a jusante da barragem, com acesso por meio de escada de concreto, possuía a finalidade de permitir a entrada de ar nos condutos forçados se caso nos mesmos se produzisse vácuo oriundo de manobras de fechamento na comporta de entrada ou caso houvesse entupimento nas grades da tomada d'água. Havia outras válvulas, ainda, que se encarregavam de fechar a entrada d'água nos condutos, funcionando quando houvesse um acréscimo anormal de vazão indicando um provável rompimento da tubulação. Desta forma os condutos forçados ficavam protegidos contra sub e sobre pressões.
- O desnível apresenta uma queda bruta de aproximadamente 103 m.
- Na entrada d'água da casa de máquinas os condutos forçados uniam-se em um só por meio de uma conexão em "Y", através de um processo de soldagem. Adufas de alta pressão permitiam a obturação de cada conduto antes da conexão "Y". O conduto único (após o "Y") passava por sob o piso das turbinas através de uma galeria de

concreto onde havia uma conexão para cada turbina, estas dispostas em linha.

- É importante salientar que todos os equipamentos foram dimensionados para operação em 50 Hz.

A central foi disposta em dois edifícios conforme esquema da Fig. 1.4.

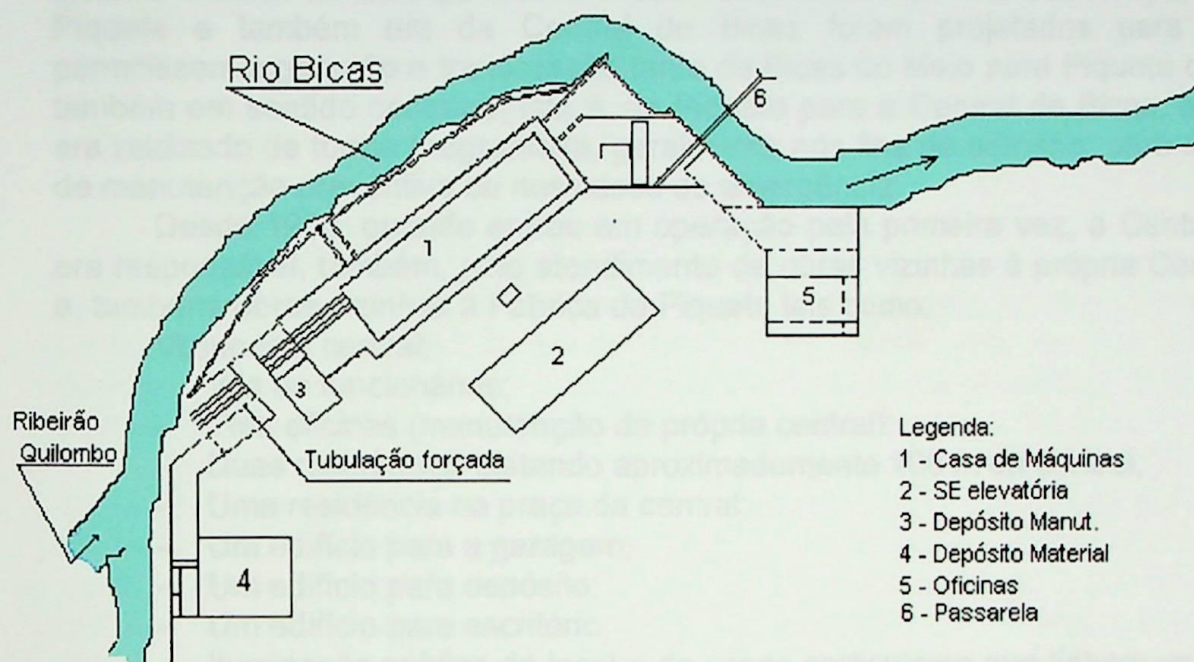


Figura 1.4 – Planta da Central de Bicas do Meio

No primeiro edifício está a casa de máquinas, onde haviam 5 grupos geradores, com potência total de 3200 CV, dispostos da seguinte forma, dois geradores de 1000 CV, dois geradores de 500 CV e, finalmente, um de 200 CV. Todos acoplados a turbinas Francis em caixa espiral.

O segundo edifício possui dois andares, onde se localiza a estação transformadora e esta composta de:

- Primeiro piso com transformadores elevadores (2,2 / 30 kV), transformador para iluminação da central e obras anexas, barramento de 2,2 kV, disjuntores, seccionadoras, TC's (transformadores de corrente) e TP's (transformadores de potencial) e a saída de linha para a represa. Todos os equipamentos em 2,2 kV.
- No segundo piso encontram-se todos os equipamentos conectados a saída dos transformadores elevadores, portanto 30 kV, tais como relés de sobre tensão, barramento de 30 kV, aparelhos de proteção da linha telefônica etc.

1.3 – Sistema operacional previsto

Nos estudos de implantação a energia gerada pelos grupos era transmitida da seguinte forma:

- Para fábrica Presidente Vargas, em Piquete, através de duas linhas trifásicas de 30 kV;
- Para a Fábrica de Canos e Sabres e o Quartel do 4 BECmb, através de uma linha de 30 kV;

- Para a represa de Bicas, por uma linha trifásica de 2,2 kV;

Provida de melhor tecnologia e maior potência em relação a hidrelétrica de Piquete, possuía linhas de transmissão duplicadas para fábrica de Piquete, a qual dista aproximadamente 60 km, e uma linha de transmissão para a cidade de Itajubá, distante aproximadamente 18 km, que atendia o 4º BECmb e, a partir de 1935, passou também a alimentar a então Fábrica de Canos e Sabres.

Tais condições levaram a pequena hidrelétrica de Piquete à condição de sistema auxiliar de emergência. Um dos transformadores das subestações de Piquete e também um da Central de Bicas foram projetados para que permitissem a geração e transmissão tanto de Bicas do Meio para Piquete como também em sentido contrário, isto é, de Piquete para a Central de Bicas, o que era realizado de forma programada, geralmente nos fins de semana, para efeito de manutenção preventiva ou nos casos de emergência.

Desde 1932, quando entrou em operação pela primeira vez, a Central já era responsável, também, pelo atendimento de obras vizinhas à própria Central, e, também, obras vizinhas à Fábrica de Piquete tais como:

Vizinhos à central:

- Vila de funcionários;
- Três oficinas (manutenção da própria central);
- Duas residências distando aproximadamente 100 m da central;
- Uma residência na praça da central;
- Um edifício para a garagem;
- Um edifício para depósito;
- Um edifício para escritório
- Iluminação pública do local e de casas particulares que tinham caráter provisório previsto e perduraram até 1977.

Vizinhos à fábrica em Piquete:

- Rede geral de iluminação das fábricas de pólvoras e explosivos de Piquete;
- A subestação da “Vila da Estrela do Norte” (Vila Residencial da Fábricas de pólvoras e trotil);
- A subestação da cidade de Piquete;
- A subestação da estação ferroviária de Estrela;
- A subestação da Fábrica de Trotil;
- Venda de energia a particulares.

A Central de Bicas do Meio possuía uma potência aparente instalada, em grupos geradores, de 2765 kVA e, em transformadores de 30 kV, 2650 kVA e era distribuída da seguinte forma:

Em 30 kV:

- 2600 kVA para a subestação principal de Piquete;
- 50 kVA para a subestação do 4 BECmb;

Em 2,2 kV:

- 60 kVA para o transformador de baixa da central;
- 15 kVA para a subestação da represa

1.4 – Alterações ocorridas

A unidade fabril criada em 20 de dezembro de 1933 pelo decreto Lei n.º 23.624, com a denominação “Fábrica de Canos e Sabres,” entrou em funcionamento em 16 de julho de 1935. Em 02 de Fevereiro de 1939 passou a ter a denominação de “Fábrica de Armas Portáteis de Itajubá” e, após seis meses, “Fábrica de Itajubá”. Em 05 de maio de 1977 foi absorvida pela Indústria de Material Bélico do Brasil, passando a constituir-se na Filial n.º 5, mantendo a sua última denominação, conforme [1].

Em 1947 a conclusão de uma segunda linha de transmissão com destino à Itajubá, com postes de madeira, duplicou o circuito de alimentação à promissora fábrica.

O menor grupo gerador da casa de máquinas, de 165 kVA, que havia sido projetado exclusivamente para fornecimento de energia ao consumo interno da central e da represa de Bicas, portanto, ligado diretamente a um transformador abaixador, posteriormente foi ligado também ao barramento de 2,2 kV, da estação transformadora, que reunia todos os outros grupos geradores. Este fato ocorreu devido a razões de reserva de potência disponível para Piquete.

Devido a uma exposição de motivos encontrada em relatórios [1], nos quais se destacava a necessidade de uma regularização de vazões para um aumento da potência instalada na central, esta sofreu uma ampliação significativa de potência com a construção de um reservatório de 2.200.000 m³, distante 500 m a montante do local onde fora construída a primeira barragem, conforme ilustrado nas Figs.1.5 e Fig. 1.6. Esta teve a finalidade de realizar a regularização das vazões e, também, a instalação de uma Central Auxiliar, situada neste reservatório, com a potência de 700 kVA.

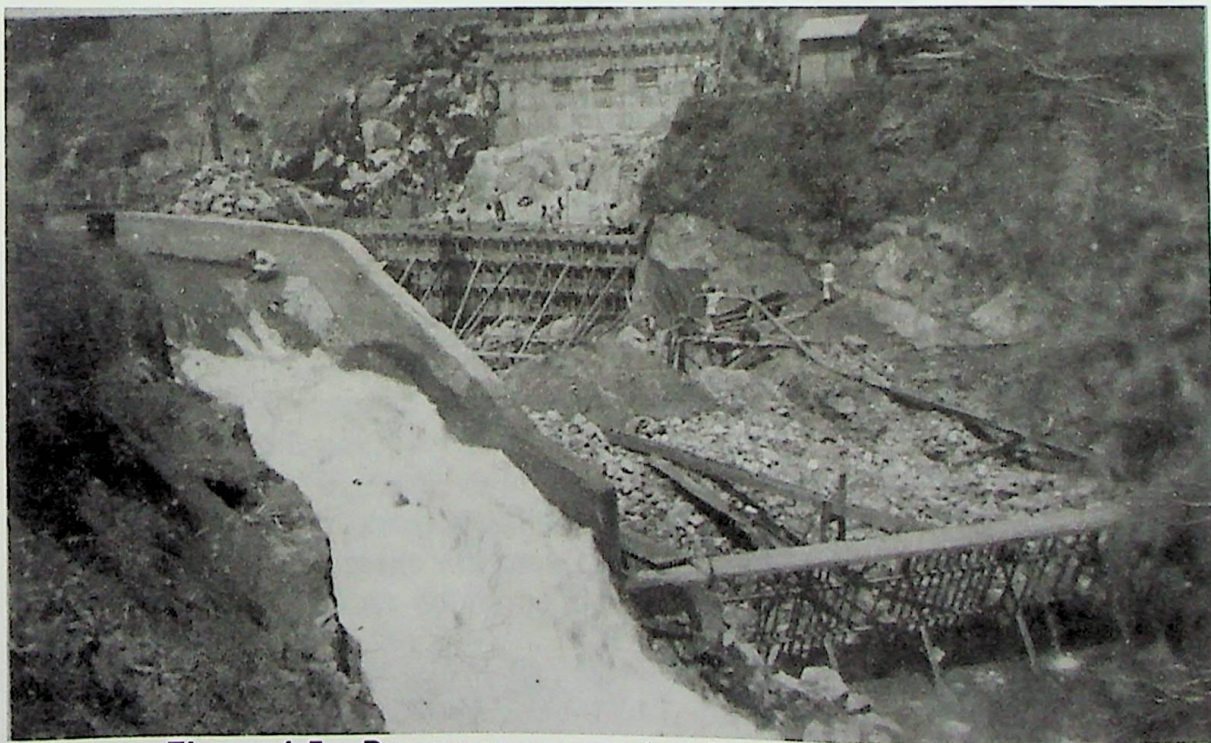


Figura 1.5 – Barragem em construção. Desvio do Rio Bicas

Após a construção do reservatório de regularização, a primeira barragem passou a possuir a finalidade apenas de regulação para a tomada d’água e, por este motivo, passou a ser denominado como “barragem de regulação”.

As sondagens para a barragem de regularização datam de 1942. A própria barragem e a construção de um canal de desvio de um novo contribuinte, o Ribeirão Quilombo, tiveram suas obras concluídas em 1951 conforme relatos e fotos em [1].



Figura 1.6 – Construção da barragem

Em 1955 iniciaram-se as obras para instalação da central auxiliar e, em 1957, as mesmas foram concluídas.

Em 1959 foi removido o grupo gerador de 165 kVA de seu local de origem e a Central Principal recebeu a instalação de mais uma máquina de 875 kVA, a qual foi instalada exatamente no local do grupo que havia sido removido.

Em 1961 o grupo gerador de 165 kVA foi reinstalado, para assegurar reserva de equipamento em uma posição deslocada de seu local original para um ponto mais adiante, conforme indicado na Fig. 1.7.

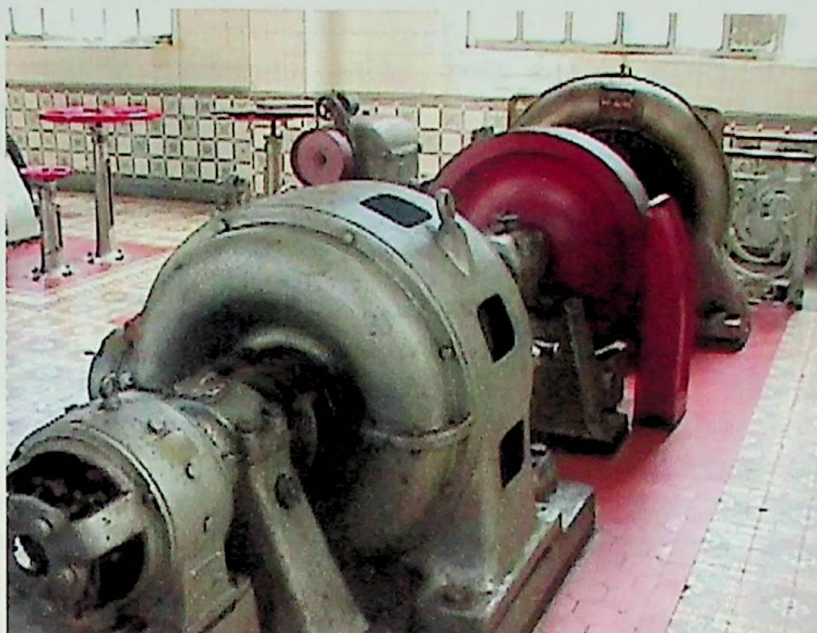


Figura 1.7 – Grupo gerador de 165 kVA

Em 1º de março de 1963 emancipou-se o município de Wenceslau Bráz (antigo Bairro de Pedra Preta, pertencente a Itajubá), no local denominado Bicas do Meio, nas imediações da Central, [1]. A emancipação da cidade de Wenceslau Bráz ocorreu pelo crescimento do local, em função da própria central hidrelétrica, que mantinha efetivos permanentes militar e civil responsáveis pela guarda, operação e manutenção da própria. A cidade e a central se confundiam por vezes. O fornecimento de energia elétrica não somente da cidade, como de toda a vizinhança (fazendas, torre repetidora de TV etc.), era totalmente dependente de sua geração. Quase toda a movimentação da cidade, em termos comerciais, esportivos e culturais eram consequência da utilização de suas instalações, tais como escola, campo de futebol e quadra poliesportiva.

A partir de 1968 após a implantação na central auxiliar e do novo grupo gerador na Central Principal, a potência total, instalada, da Central de Bicas passou a ser de 4900 CV.

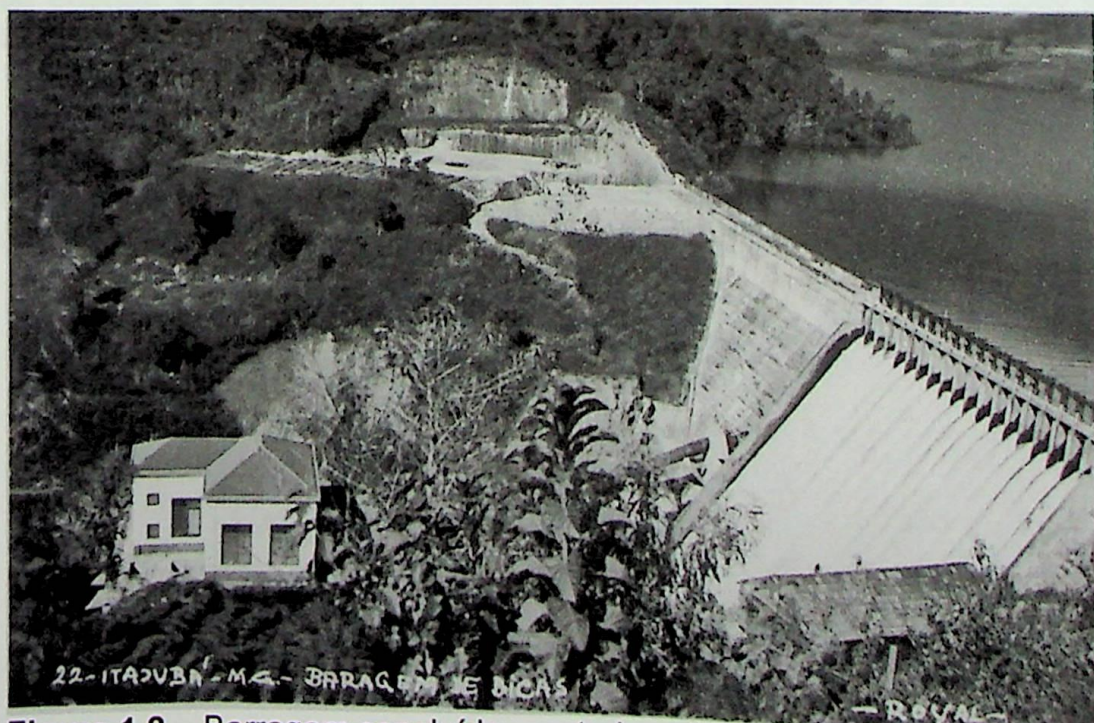


Figura 1.8 – Barragem concluída, central auxiliar e a vegetação ao fundo

O conjunto composto, então, pela central principal, central auxiliar e demais instalações passou a possuir uma área construída de 9200 m², em um terreno de aproximadamente 4.500.000 m², a maior parte coberta de variada vegetação, ilustrada parcialmente pela Fig. 1.8.

Em meados de 1977 a Central de Bicas do Meio foi desativada e sofreu mudanças de grande importância. Mais precisamente em maio de 1977, passou a integrar a IMBEL, juntamente com os outros estabelecimentos fabris. Foram retiradas parte das torres de transmissão que a interligavam a Piquete; a Fábrica Presidente Vargas passou, então, a ser alimentada por uma concessionária de São Paulo. Foi retirado o efetivo militar e reduzido o efetivo civil.

Em 1977 e princípio de 1978 os grupos geradores sofreram alterações físicas em seus reguladores de velocidade para operarem em 60 Hz. As turbinas da Central de Bicas continuaram com rotores projetados para 50 Hz, operando com uma velocidade 20% maior em 60 Hz.

Durante este período, a Fábrica de Itajubá foi abastecida pela Concessionária Local, a CEMIG. Para tanto foi instalado um cubículo de medição com uma subestação em 13,8 kV no interior da referida fábrica.

Em março de 1978 a Central de Bicas passou à administração da Filial 5 – Fábrica de Itajubá. Foi cortado o fornecimento de energia para a cidade de Wenceslau Bráz, a qual passou a ser alimentada pela concessionária local (CEMIG). Também foi cortado o fornecimento para o 4^oBECmb. Toda a geração da central passou a ser para a Fábrica de Itajubá.

Em 1985 a Central de Bicas alimentava aproximadamente 98% das necessidades da fábrica, não por falta de potência, mas, por não sofrer investimentos de modernização tecnológica, não conseguia manter um controle rígido de frequência que máquinas mais modernas, adquiridas pela fábrica, exigiam. Através de um relatório elaborado em setembro de 1985 pelo eng^o. eletricista, Chefe da SMT, Sr José Lúcio de Oliveira Rosa, foram observados os primeiros estudos de uma provável interligação com o sistema CEMIG, dada a necessidade de ambas as partes.

O objetivo de tais estudos obviamente era o aproveitamento do excedente de energia à disposição na central e propiciar, através da interligação com um sistema de grande porte, tensão e frequência constantes para atendimento de 100% da Fábrica.

Foram realizados, também, alguns estudos em relação a reutilização das linhas de transmissão para novamente atender, parcialmente, a Fábrica de Piquete, dada a disponibilidade de potência existente. De todos estes estudos, nada foi efetivamente realizado. Este panorama mantém-se até os dias atuais.

Capítulo 02

Situação atual, aspectos institucionais e legais

2.1 Características do sistema de geração

Utilizando como referência a Fig. 2.1, a situação atual da Central de Bicas é descrita de montante para jusante.

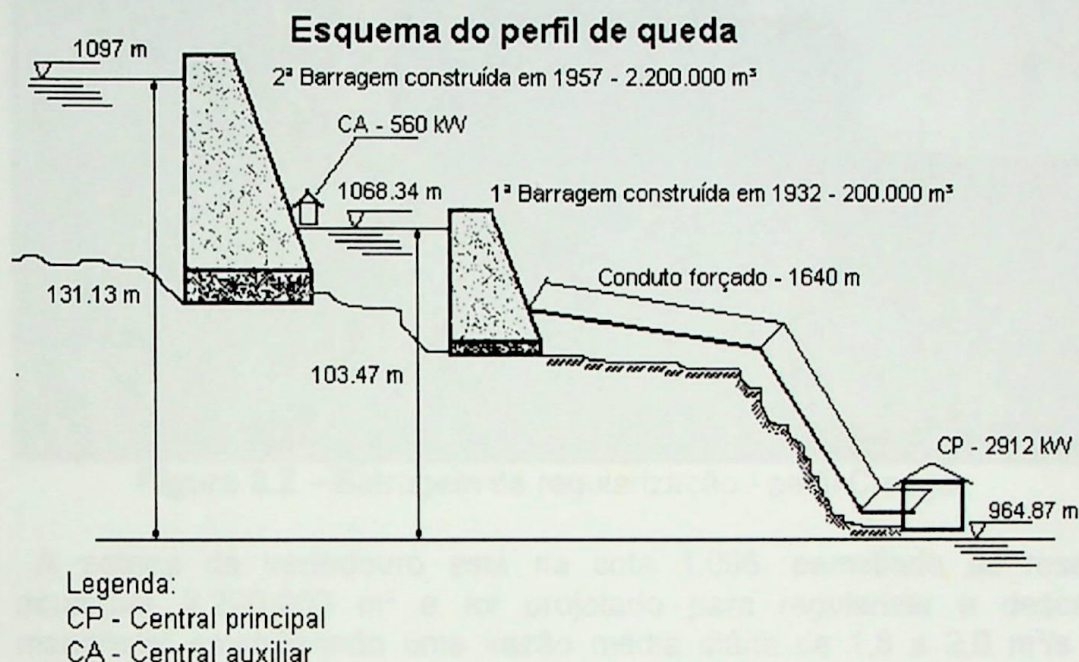


Figura 2.1 – Esquema do Perfil de queda

2.1.1 Central auxiliar - CA

Barragem de regularização, localizada a 1,5 km a montante da “Cachoeira dos Negros”, da qual foi possível obter as seguintes características, através de relatórios em [1]:

Barragem de concreto ciclópico insubmersível, do tipo gravidade, perfil CREAGER conforme Fig. 2.2, com as seguintes dimensões gerais:

- Comprimento no coroamento 112 m
- Altura do trecho de profundidade máxima 33 m
- Vertedouro com 38 m de comprimento para descarga máxima secular de 221 m³/s
- Comportas automáticas no vertedouro no total de 9 ao centro
- Comportas manuais no vertedouro em número de 10, sendo 5 à direita e 5 à esquerda das comportas automáticas
- Largura no coroamento 3 m
- Largura na base 25 m
- Possui um túnel de inspeção no sentido longitudinal

[1] Anexo 1 à Bibliografia



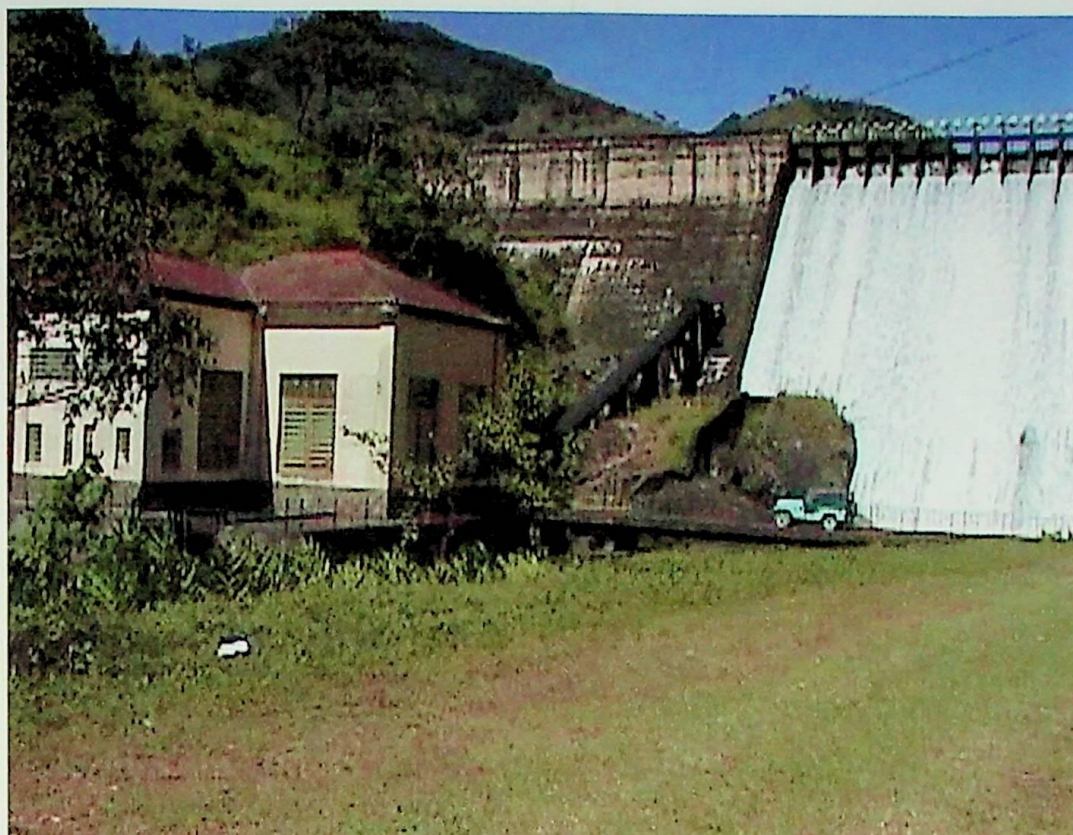


Figura 2.2 – Barragem de regularização - perfil Creager

A soleira de vertedouro está na cota 1.096, permitindo ao reservatório acumular 2.200.000 m³ e foi projetado para regularizar a descarga do manancial estabilizando uma vazão média diária de 1,8 a 2,0 m³/s no pior período, Fig. 2.3.

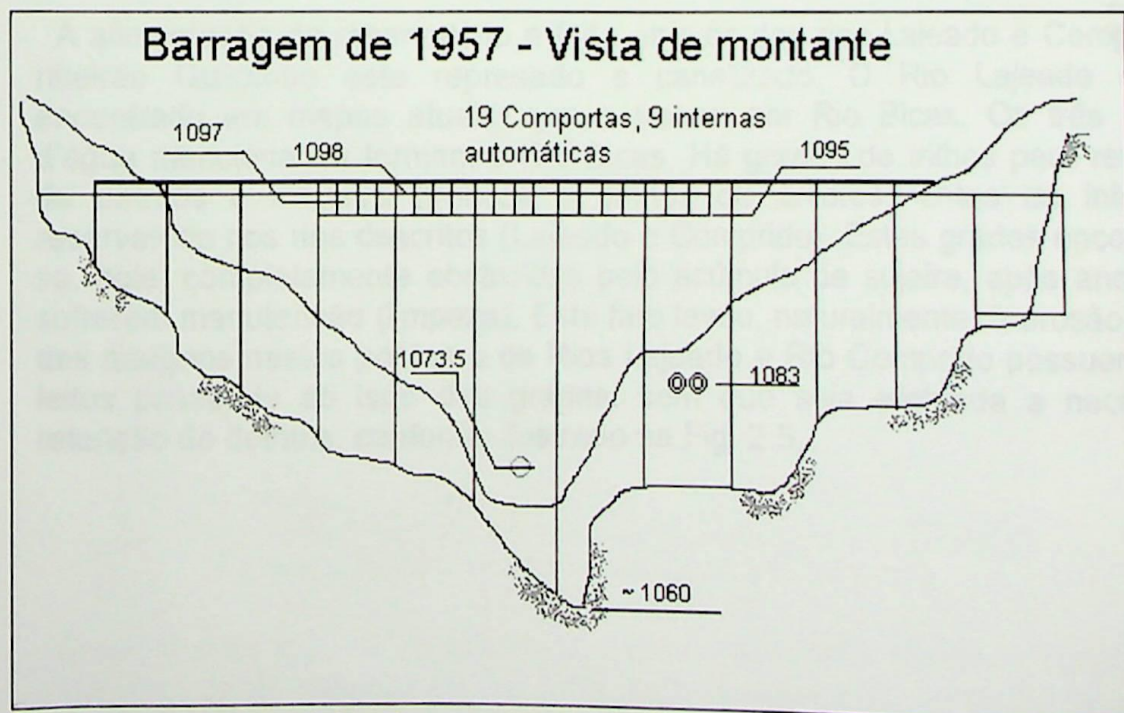


Figura 2.3 – Barragem de 1957. Vista de Montante

Para esgotamento da barragem, a mesma possui uma comporta de dreno no próprio maciço, localizado na cota 1073,5 m, composto por tubulação e dois registros dispostos em série, conforme indicado na Fig. 2.4.



Figura 2.4 – Registros de dreno do reservatório

O registro de montante (na Fig. 2.4 à direita), por ficar exposto diretamente a pressão e a umidade, encontra-se em estado precário de funcionamento. Há o risco de emperramento e de não ser possível esgotar o reservatório pelo dreno.

O reservatório, hoje, encontra-se em um estado de assoreamento excessivo e não há nenhuma manutenção registrada desde 1971.

A alimentação do reservatório é feita através dos rios Lajeado e Comprido e ribeirão Quilombo este represado e canalizado. O Rio Lajeado não é encontrado em mapas atuais, que o tratam por Rio Bicas. Os três cursos d'água mencionados formam o Rio Bicas. Há grades de trilhos para retenção de detritos e madeira (troncos e galhos de árvores) antes do início do reservatório nos rios descritos (Lajeado e Comprido). Estas grades encontram-se, hoje, completamente obstruídas pelo acúmulo de sujeira, após anos sem sofrerem manutenção (limpeza). Este fato levou, naturalmente, à erosão lateral das margens nestes pontos e os Rios Lajeado e Rio Comprido possuem seus leitos passando ao lado das grades, sem que seja efetuada a necessária retenção de detritos, conforme ilustrado na Fig. 2.5.



Figura 2.5 – Grade do Rio Bicas (Lajeado)

O Ribeirão Quilombo, captado por uma pequena barragem de derivação, é aduzido para um canal, locado a meia encosta, até o reservatório, (Fig. 2.6).



Figura 2.6 – Canal adutor do Ribeirão Quilombo

O canal possui 3 km de extensão, seção trapezoidal aberta, e foi projetado para uma vazão máxima de $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$, com revestimento de tijolos rejuntados, de acordo com dados encontrados em relatórios (1). Ele assegura uma vazão permanente de $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$.

A barragem do Ribeirão Quilombo é de terra, com impermeabilização a montante, e encontra-se bastante assoreada atualmente.

A tomada d'água da barragem de regularização se faz através de dois tubos implantados na barragem, na cota 1083 m. Duas comportas, manobradas manualmente, foram instaladas para o fechamento desses tubos; atualmente não podem ser operadas devido ao fato de estarem completamente emperradas e, havendo o risco de, caso se consiga fechá-las, não mais se consiga abri-las. Portanto permanecem abertas permanentemente. Para o caso de manutenção na tubulação forçada da CA, esta somente poderá ser realizada com o esvaziamento do reservatório, através do dreno já mencionado. Não há tubulação de baixa pressão.

Na tomada d'água ainda se encontra, logo depois dos tubos que saem das comportas, a conexão dos dois tubos de saída através de um "Y" e, conectado ao mesmo, a jusante, uma válvula de fechamento automático em caso de excesso de velocidade de água na tubulação e uma ventosa para prevenção de vácuo na tubulação forçada. A válvula mencionada possui acionamento automático através de sensor e sistema de fechamento situado em seu interior. A rede de cabos que comunicam o estado desta válvula para a Casa de Máquinas encontra-se interrompida.

O conduto forçado inicia-se na própria tomada d'água descrita e é composto por uma linha singela com extensão de 40 m e diâmetro de 0,90 m, formado por tubos de aço doce básico unidos por flanges parafusados. Prolonga-se por sob o piso da casa de máquinas até o ponto de encontro com a caixa espiral da turbina hidráulica, onde há um registro de alta pressão em bom estado, Fig.2.7. Encontra-se aparentemente em excelente estado de conservação externa.

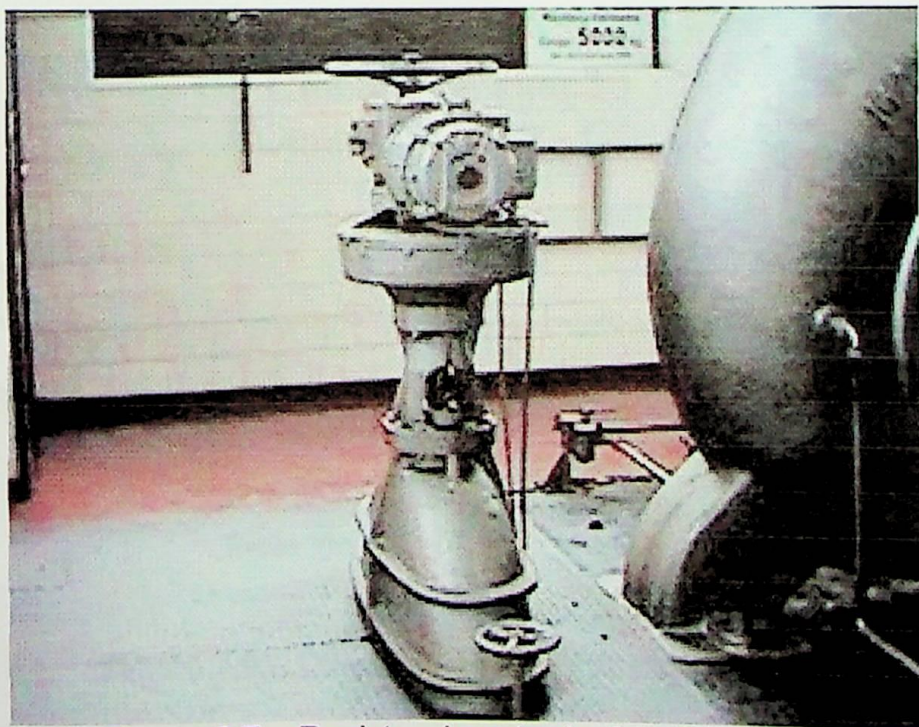


Figura 2.7 – Registro de entrada da caixa espiral

A diferença de nível normal é de 27 m. Este desnível é assegurado folgadoamente no período das águas, quando a vazão mínima do reservatório se mantém acima de 3 m³/s, valor este que garante o desenvolvimento máximo das duas centrais conforme descrito em relatórios [1]. No período da estiagem, o desnível poderá baixar até dois metros acima da tomada d'água com a usina

em operação praticamente normal. Deste nível em diante a operação torna-se irregular.

A turbina hidráulica, de eixo horizontal, do tipo FRANCIS dupla, em caixa espiral, fabricada por Maschinenfabrik B. Maier foi projetada para 50Hz possui os seguintes dados de placa:

Bracwede Turbinen	-	Nr.º 1699
H max 27,0 m	-	Q max 2,7 m ³ /s
N max 836 PS	-	n 750 U/min

Seu rotor original sofreu problemas de cavitação provavelmente por não ter sido projetado para operação a 60 Hz e em meados de 1991, após grande erosão em suas pás, quebrou-se. Foi substituído por um novo, porém mantendo a geometria original. Atualmente encontra-se em funcionamento em 60Hz e produzindo uma potência máxima de 600 kW.

Do tubo de sucção desta turbina foi possível obter as seguintes características:

- Quantidade: 02 (rotor Francis duplo)
- Altura do eixo da turbina até a extremidade no canal de fuga: 4,5m
- Diâmetro inicial interno: 0,80 m
- Diâmetro final interno: 1,20 m

O canal de fuga possui uma câmara de sucção assegurando uma altura de sucção máxima de 4,00 m com a turbina em operação, (Fig. 2.8).

Câmara de sucção Central Auxiliar - CA

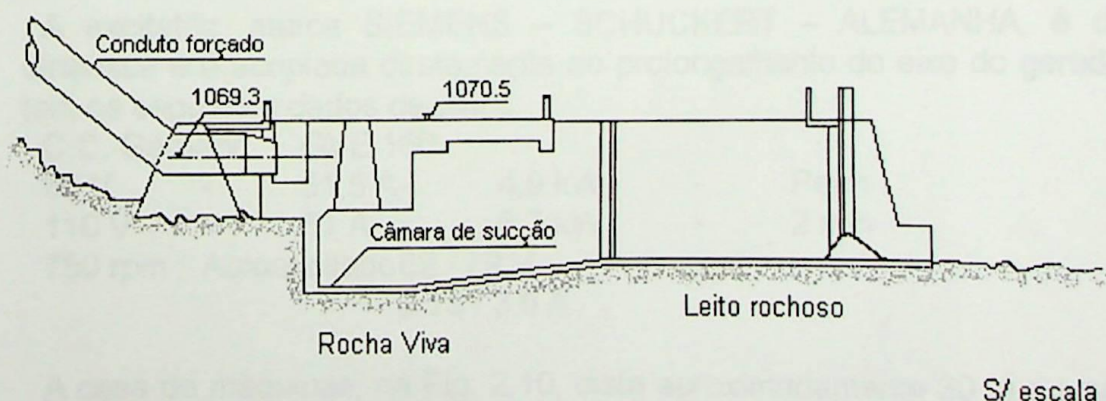


Figura 2.8 – Câmara de sucção do canal de fuga

Ao final do canal de fuga encontra-se uma comporta de madeira e um local destinado à instalação de uma bomba submersa para ocasiões de limpeza do canal. Esta comporta encontra-se em estado precário e a referida bomba indisponível.

O gerador elétrico consta de um alternador trifásico, projetado para operação em 50 Hz, acoplado diretamente a turbina e com os seguintes dados de placa:

SIEMENS – SCHUCKERT – ALEMANHA

Trif gerador N.º 346695

Tipo – F 354 m – 8 B3

Y 2200V

700 kVA $\cos\phi$ 0,8

750 rpm 50 Hz

Exc 110 V 48 A

Do volante de inércia foram obtidos as seguintes características:

Diâmetro: 1,5 m

Largura: 0,30 m.

O grupo completo se apoia sobre 4 (quatro) mancais, (Fig.2.9).

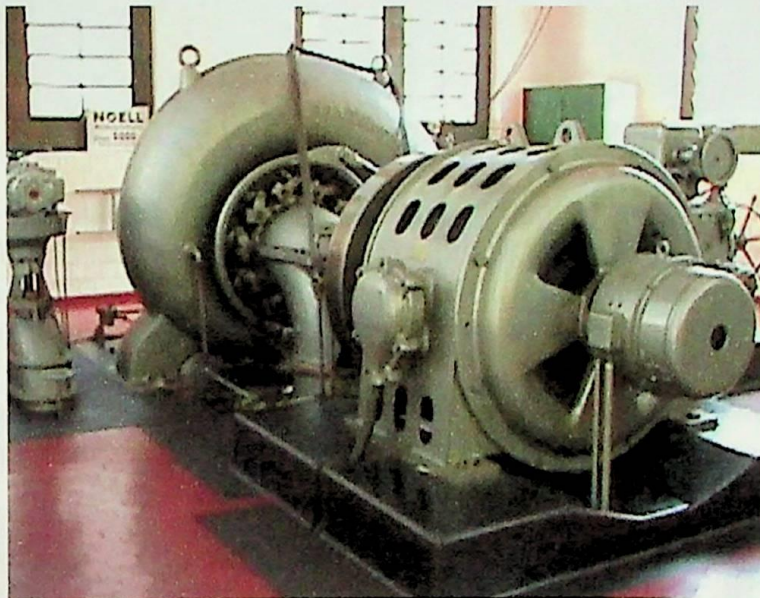


Figura 2.9 - Grupo gerador da central auxiliar

A excitatriz, marca SIEMENS – SCHUCKERT – ALEMANHA, é do tipo dinâmica e é acoplada diretamente ao prolongamento do eixo do gerador. Ela tem os seguintes dados de placa:

C.C. Gerador GVE 160

95 V - 51,5 A - 4,9 kW - Perm

110 V - 61 A - 6,7 kW - 2 min

750 rpm Autoexcitado 62 / 79 V

2,75 / 3,5 A

A casa de máquinas, na Fig. 2.10, dista aproximadamente 30 m a jusante do paramento seco da barragem e possui 156 m² com 7,10 m de altura útil. A casa de máquinas possui ainda uma ponte rolante manual com capacidade de 5.000 kg.

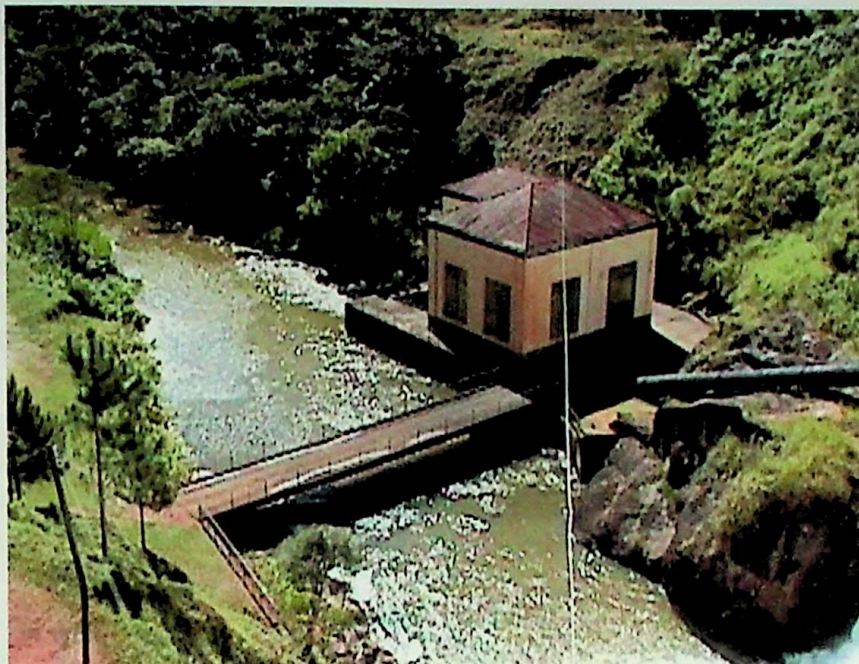


Figura 2.10 – Casa de Máquinas da central auxiliar

A casa de máquinas possui em seu interior, divisões internas para uma subestação elevadora composta de transformador, equipamentos de medição e proteções e disjuntor telecomandado. Há, ainda, uma saleta onde ficam baterias e um circuito elétrico de carga, em estado precário.

O quadro de comando e proteção deste grupo é composto por três divisões verticais conforme indicado na Fig. 2.11.

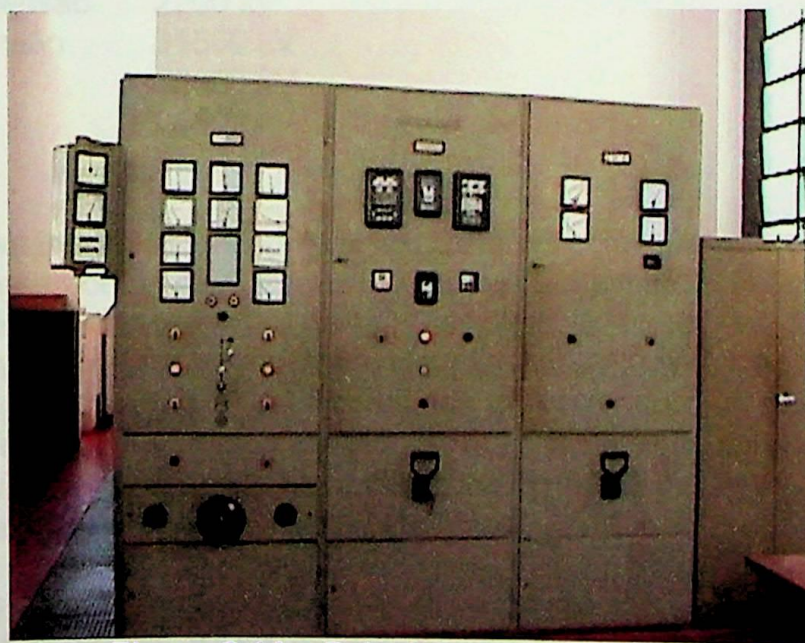


Figura 2.11 – Painel de comando da CA

As divisões são respectivamente para o painel de comando do grupo gerador, painel de proteção do gerador elétrico e painel de consumo interno.

O gerador elétrico conecta-se ao painel através de instalação sob o piso, com os cabos lançados em canaleta de concreto com tampa de ferro, atualmente em bom estado.

A conexão com o transformador também foi realizada através de canaleta sob o piso saindo por trás do quadro em direção ao compartimento da subestação. Estas instalações encontram-se em bom estado.

No Livro REPI – Roteiro técnico, documentos [1], encontra-se, com maiores detalhes, a descrição dos circuitos de comando e proteção existentes. Como trata-se de um texto elaborado em 1962, o mesmo trata ainda de alguns circuitos que atualmente não funcionam mais, alguns substituídos e outros abandonados.

O regulador de velocidade é óleo-hidráulico, fabricado pela Maschinenfabrik B. Maier e justifica hoje a existência de uma linha de transmissão de 2,2 kV oriunda da central principal. Ele foi inicialmente projetado para 50 Hz tendo sido devidamente adaptado para 60Hz. Seus dados de placa são:

Type W 250
Nr.º 1035
Baujahr – 1956

A tensão gerada em 2,2 kV nos terminais do gerador é elevada para 30 kV através de um transformador, marca SIEMENS DO BRASIL, situado em uma subestação localizada em uma divisão, já citada, da própria casa de máquinas. O referido transformador possui os seguintes dados de placa:

3 ~ - 50 Hz
700 kVA
N.º 33232 Serv.: Contínuo
Baixa tensão 2200 kV
Alta tensão 31500 kV
30000 kV
28500 kV

Y – Y

Este equipamento encontra-se atualmente com sua carcaça apresentando pequeninos pontos de vazamento de óleo e alguma corrosão externa. Não há dados de quando o mesmo passou por algum processo de manutenção geral. Não há plano de manutenção preventiva. Os funcionários anualmente realizam o recompletamento e o teste de rigidez dielétrica do óleo mineral isolante. Os transformadores de corrente e tensão (TC's e TP's) encontram-se no cubículo do transformador de potência mencionado e estão em bom estado apesar de possuírem tecnologia de isolamento da década de 50.

Após a elevação de tensão para 30 kV a energia gerada é transmitida para um barramento de 30 kV da subestação elevadora da CP, distante 2,0 km desta última. A linha de transmissão foi construída utilizando torres de treliça em aço, em uma extensão total de 2100 m, com condutores dispostos em triângulo e isoladores de pino com isolamento para 44 kV. As proteções contra descargas atmosféricas existentes são pára-raios instalados nas extremidades da referida linha. As torres são aterradas. A limpeza da vegetação sob sua faixa de passagem é realizada a contento.

As mesmas torres suportam de um lado os condutores com 30 kV, e o outro, também em disposição triangular, os condutores com 2,2 kV oriundos da central principal, que são responsáveis pelo consumo interno da central auxiliar, (Fig. 2.12).



Figura 2.12 – Torres de transmissão

A CA foi projetada para ser completamente operada do mezanino do prédio da casa de máquinas da CP e pelo próprio operador desta. Quando desligado o sistema de controle remoto ela pode ser operada no local. A instalação do controle remoto tinha a finalidade de permitir:

- Comando a distância e aviso retrocessivo – Do mezanino da CP, por telecomando, pode-se atuar diretamente no ligamento ou desligamento do disjuntor da CA e no da subestação da central principal recebendo, no sentido inverso, o aviso de posição dos mesmos.

- Regulação à distância – Do mezanino da CP o operador, por telecomando, pode atuar contínua e diretamente sobre os equipamentos de regulação das grandezas atuantes na CA.

- Alarme – Do mezanino da CP o operador recebe os avisos de alarme suscitados pelo sistema de proteção da CA.

- Medição à distância – Do mezanino da CP o operador recebe continuamente, transmitida da CA, a medida do nível de água no reservatório de regularização, medida esta fornecida em duas parcelas, sendo uma primeira bruta e a outra mais precisa. Os valores compreendidos entre 0 e 14 m e 0 e 100cm respectivamente, (14 m correspondente ao nível na cota 1097 e 0 m correspondente ao nível na cota 1083 m (ver Fig. 2.13). Este comando não esta funcionando atualmente, devido à ausência de cabos responsáveis pelo envio de sinais da CA para a CP e a queima de alguns relés.

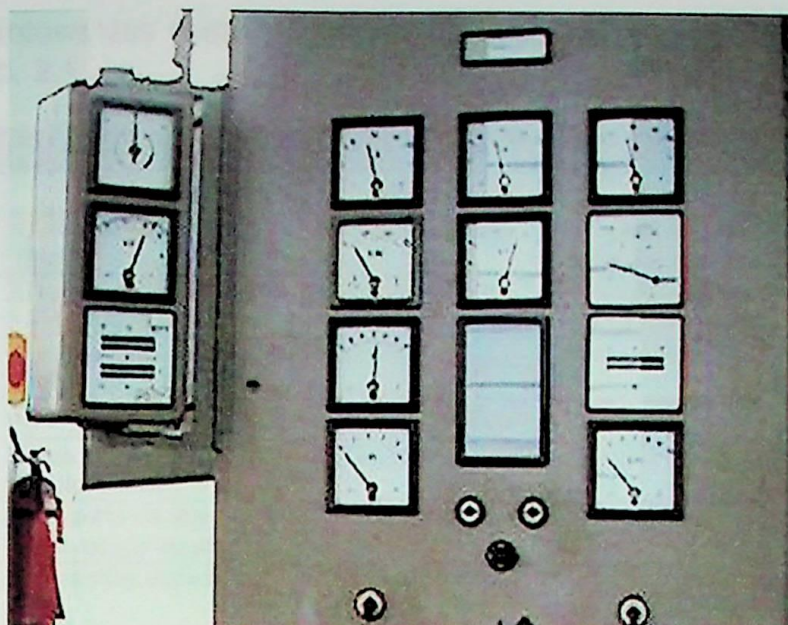


Figura 2.13 – Detalhe do painel de comando da central auxiliar

A CA, projetada para ser totalmente automatizada, operou por pouco tempo desta forma. Atualmente ele opera de forma parcialmente automatizada, havendo necessidade de operação manual apenas para colocá-la em paralelo com a CP. Todo seu controle de carga é automatizado e trabalha a maior parte do período sem assistência. Sua automatização, toda a relés, apesar de dar provas de consistência sofre com a falta de manutenção por pessoal especializado e um plano de manutenção preventiva.

O paralelismo citado anteriormente é realizado sobre o barramento de 30 kV, no segundo piso da subestação transformadora na CP através de disjuntor próprio e pode ser feito apenas da CA, isto é, a CA somente é colocada em operação com a presença de operários no local. Em dias de funcionamento típico é conectada às 7:00hs para ser desligada às 17:00 hs. No período das águas a CA não funciona aos finais de semana. No período da seca apenas a CA opera aos finais de semana em tempo integral.

Escolhido um dia útil comum, foi verificado que o grupo gerador forneceu, neste dia, em média, 380 kW, havendo uma demanda máxima de 600 kW e uma mínima de 80 kW no decorrer do período. Observa-se que, através de seus dados de placa, operando em 50 Hz, sua potência nominal a um fator de potência de 0,8 indutivo seria de 560 kW.

Uma síntese dos componentes da CA e sua situação atual encontram-se na Tab. 2.1.

Tabela 2.1 – Características atuais da central auxiliar			
Item	Componente	Situação	Necessidade
01	Grade do Rio Lajeado (Bicas)	Estado precário	Limpeza e recomposição das margens originais
02	Grade do Rio Comprido	Estado precário	Limpeza e recomposição das margens originais
03	Reservatório do Ribeirão Quilombo	Assoreado	Limpeza e retirada do lodo
04	Canal do ribeirão Quilombo	Vazamentos	Retificação
05	Reservatório de regularização	Assoreado	Limpeza e retirada do lodo
06	Comporta de dreno reservatório regularização	Estado precário	Substituição do registro
07	Comportas vertedouro	Estado precário	Reforma das instalações elétricas e substituição das peças de madeira
08	Comportas tomada d'água	Estado precário	Manutenção geral
09	Casa de válvulas	Estado razoável	Limpeza da casa e manutenção no circuito de comunicação
10	Condutos forçados	Bom estado	Verificação da superfície interna
11	Registro de alta pressão	Bom estado	Aferição de seu manômetro
12	Rotor Duplo Francis	Estado ignorado	Projeto para rotação adequado, substituição do mesmo
13	Tubos de sucção	Bom estado	Instalação de seu vacuômetro
14	Distribuidor	Estado precário	É necessária a verificação de sua situação.
15	Gerador	Bom estado	Repotenciação ou substituição do mesmo
16	Excitatriz dinâmica	Bom estado	Substituição por excitatriz estática (eletrônica)
17	Comporta de limpeza do Canal de fuga	Estado precário	Substituição das peças de madeira e instalação de uma bomba p/ drenagem
18	Sala de baterias	Estado precário	Instalação de um novo sistema auxiliar de carga
19	Painel de comando e proteção	Estado precário	Aferição de seus instrumentos, recuperação de circuitos.
20	Subestação 2,2 kV / 30 kV	Estado precário	Manutenção geral do trafo e proteções
21	Linha de transmissão	Estado precário	Instalação de cabo guarda ao longo da linha
24	Sistema de telecomando	Estado precário	Substituição do sistema de telecomando.

2.1.2 Central principal - CP

A barragem de regulação pode ser vista na Fig. 2.14.



Figura 2.14 – Reservatório de 1932. Paramento seco

Projetada para 195.000 m³, a barragem de regulação encontra-se atualmente assoreada e não possui dados oficiais de manutenção realizada desde a época de sua construção. Foram pesquisados relatos de funcionários que fizeram seu esgotamento em 1992. Ela Possui as seguintes características obtidas em relatórios [1]:

- Seção transversal com: 2,40 m no coroamento, 12 m na base e 15 m de altura;
- Seção longitudinal com: 60,0 m de comprimento no coroamento e 16,50 m de comprimento em suas sapatas;
- Volume de 4440 m³ de concreto ciclópico a 1:3:6 e 12,5% de matacões;
- Reservatório responsável pela elevação de 14,0 m do nível do rio, com capacidade de 195 milhões de litros e aproximadamente 50000 m² de área inundada;
- Canal vertedouro com 180 m de comprimento, sendo 70 m a jusante da barragem de retenção, perfil transversal trapezoidal com 4,25 m na parte superior, 8,25 m na base e 4,0 m de altura;
- Dos 180 m do canal vertedouro 107,60 m encontram-se a montante da barragem. O vertedouro, conforme ilustrado na Fig.2.15, é tangente ao canal mencionado, está situado na lateral direita da barragem (vista de montante), com crista na cota 1068,34 m, foi projetado para uma lâmina vertente máxima de 1,0 m e comporta uma vazão de até 200 m³/s.

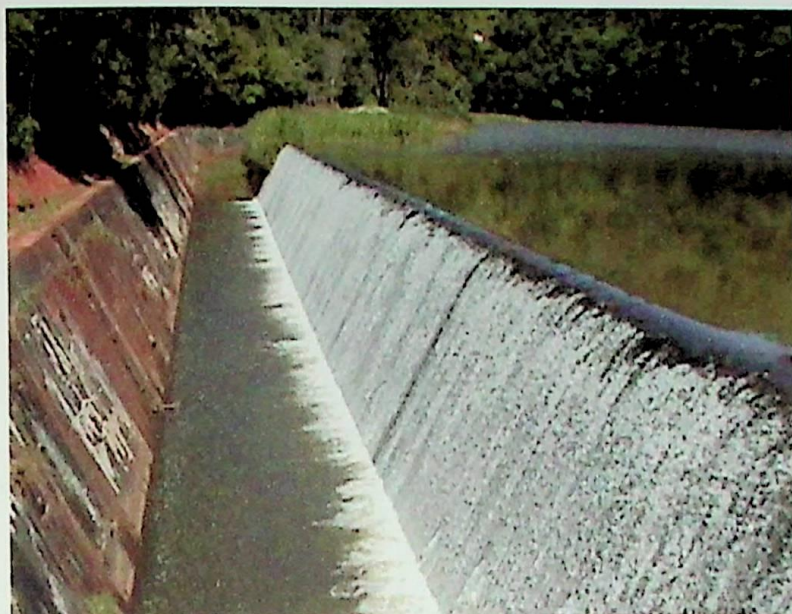


Figura 2.15 – Vertedouro e canal

Com a finalidade de proteção e limpeza, neste represamento ainda existem uma barragem submersa, um túnel e uma galeria de descarga.

- A barragem submersa tem 80,0 m de comprimento, perfil trapezoidal, com 1,0 m no coroamento, 5,20 m na base e 6,0 m de altura. Ela foi construída com concreto ciclópico no traço 1:3:6 e 20 % de matacões. (Ver Fig. 2.16).



Figura 2.16 – Barragem submersa

Sua a função é deter detritos pesados os quais devem ser escoados pelo túnel quando alçada a comporta do mesmo. Está a 70,0 m do paramento molhado da barragem. A comporta foi projetada para operar de duas formas, manual, ou elétrica com comando remoto situado em uma torre que garantia seu acionamento total em 6 minutos eletricamente e em 2 h no caso do acionamento manual. Esta comporta hoje apresenta vazamentos que, na época da seca, são parcialmente resolvidos pelo lançamento de pequenos sacos de areia em sua direção e, através do acúmulo dos mesmos, obtém-se a diminuição do vazamento.

- O túnel tem 100 m de comprimento e é aberto em rocha. Ele possui perfil em ferradura com 1,60 m de altura, 1,20 m na base e 1,32 m no bojo. Comporta uma Vazão de 1600 l/s com uma velocidade máxima de 14 m/s. O túnel termina no local da antiga “Cachoeira dos Negros”, conforme ilustrado na Fig. 2.17.



Figura 2.17 – Final do túnel de descarga, local da antiga Cachoeira dos Negros

- Para a limpeza do trecho de 70,0 m entre a barragem submersa e a de regulação há uma galeria de descarga no fundo da barragem de regulação, com uma comporta manual acionada no coroamento da barragem. Esta comporta mantém uma pequena passagem de água durante todo o ano a fim de preservar o curso d'água existente outrora.

- A tomada d'água foi construída no próprio maciço da represa, ficando o eixo dos condutos forçados a 3,0 m da sapata da barragem. Não há tubulação de baixa pressão. Na entrada dos condutos existem grades. Há uma comporta para cada linha adutora, conforme indicado na Fig.2.18, operada manualmente. Estas comportas, deterioradas pela ação do tempo, encontram-se na posição aberta e, para que possam operar com segurança novamente, deverão ser restauradas.

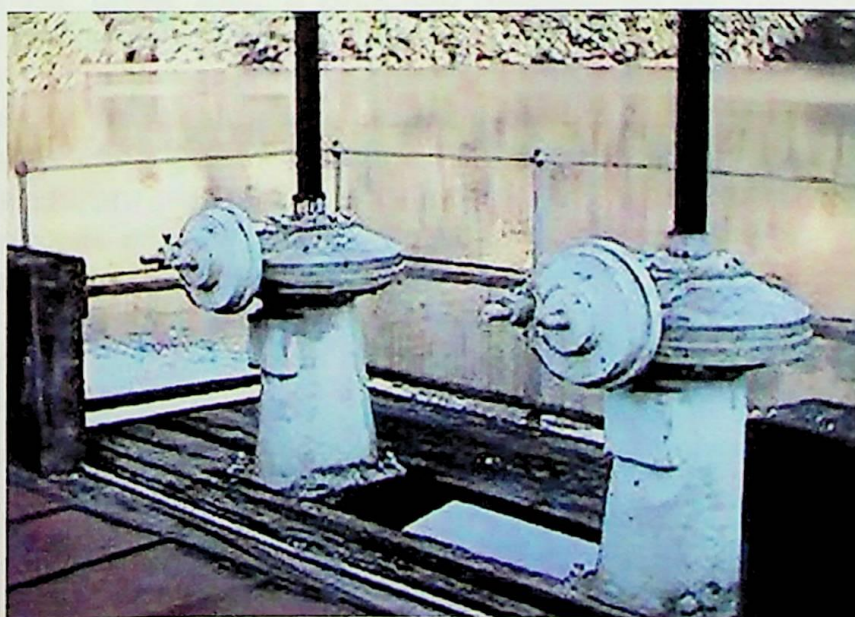


Figura 2.18 – Comportas da tomada d'água

A Casa das Válvulas, tangente ao paramento seco da barragem, é atravessada pelos condutos, logo a jusante da barragem. Seu acesso é realizado através de uma escada de concreto localizada na lateral esquerda do paramento de jusante. As válvulas em cada tubulação, logo ao sair da barragem, foram projetadas para permitir a imediata entrada de ar nos condutos caso nos mesmos se produza vácuo pelo fechamento da comporta de entrada ou pelo entupimento das grades. Outras duas válvulas ainda vedam a entrada de água nos condutos para o caso de rompimento dos mesmos funcionando estas pelo acréscimo exacerbado do valor de descarga.



Figura 2.19 – Casa de Válvulas e início dos condutos forçados

Os condutos forçados, ilustrados na Fig. 2.19, são constituídos por tubos de aço “doce”, básico, “SIEMENS – MARTIN”, com 7 a 8 mm de espessura e foram dispostos em uma linha dupla com a extensão de aproximadamente 1640 m, cada. No local da tomada d’água seu diâmetro é de 1,50 m. A tubulação compreende, ao longo de seu percurso, 4 seções de diâmetros decrescentes, onde, logo a princípio modifica-se de 1,5 m para 1,1 m e com este permanece por aproximadamente um terço do percurso, no terço médio passa a 1,0 m e, no terço final até a entrada na Casa de Máquinas com 0,9 m. Toda a tubulação forçada é constituída por tubos de aço estirado com 6,0 m de comprimento cada peça, unidos entre si através de flanges parafusados. As duas linhas foram projetadas para permitirem uma vazão máxima de 3125 l /s cada, de acordo com registros encontrados no Livro REPI – Documentos [1].

A queda bruta, considerando a cota da crista do vertedouro e o nível mínimo do canal de fuga, é de 103,47 m. A Fig. 2.20 mostra o final da tubulação forçada, já próxima a casa de máquinas.



Figura 2.20 - Trecho final dos condutos forçados

A casa de máquinas é um prédio que contém os equipamentos a seguir mencionados onde se operam os grupos geradores da CP (Fig. 2.21). Ela possui uma área de 424,44 m² e 8,0m de altura útil. Sua ponte rolante, de capacidade não disponível, opera eletricamente, com alimentação dependente de fonte de corrente contínua. A operação de seus grupos geradores é realizada em um mezanino construído em uma lateral interna à casa de máquinas, onde no interior deste estão os painéis de comando dos grupos citados adiante.



Figura 2.21 – Casa de máquinas da CP

Os condutos forçados na entrada da casa de máquinas terminam em dois registros de alta pressão, os quais possuem processos manuais e elétricos para abertura e fechamento; o acionamento elétrico de ambos encontra-se avariado. Além dos registros principais, há registros menores que interligam os condutos com o canal de fuga e também criam um by-pass aos registros

principais. Eles existem para permitir uma manobra eficiente e rápida dos registros principais, se necessário. Encontram-se em estado precário e apresentam vazamentos.

Os condutos forçados unem-se em um só por meio de uma conexão em “Y” (Fig. 2.22), através de um processo de soldagem reforçado por rebites. O conduto único (após o “Y”) passa por sob o piso das turbinas, por uma galeria de concreto, onde há uma tomada para cada uma das turbinas dispostas em linha, conforme indicado na Fig. 2.23.



Figura 2.22 – Conexão Y da tubulação forçada

Há válvulas de entrada d’água individuais para cada turbina com acionamento manual através de engrenagens, que permitem sua utilização sobre o piso ao lado da turbina correspondente, (Fig. 2.24). Elas encontram-se em estado precário e apresentam pequenos vazamentos quando operadas.



Figura 2.23 – Alimentação das turbinas em linha

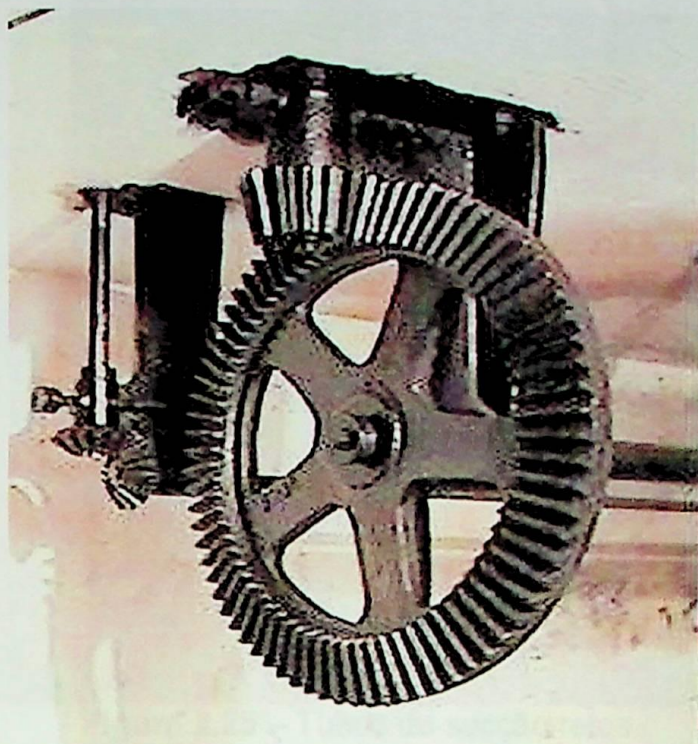


Figura 2.24 – Engrenagens da válvula de entrada

As caixas espirais de todas as turbinas instaladas na CP são simples e encontram-se em bom estado de conservação.

Os distribuidores das turbinas estão em estado desconhecido pois não foi possível vê-los abertos. Aparentemente estão em bom estado pois os grupos estão funcionando, exceto os de n.º 03 e 06, que, na época da visita à central estavam em manutenção e desativado respectivamente. Observe-se que todos foram projetados para rotores que operariam em 50 Hz.

Os rotores de todos os grupos geradores possuem projeto para operação em 50 Hz. Representam hoje a grande origem de dúvidas quanto ao rendimento dos GG. Operam com geometria inadequada para a rotação exigida em 60 Hz. Aparentemente, devido a problemas de cavitação, consequência imediata da condição descrita anteriormente, os tubos de sucção de todos os grupos geradores encontram-se perfurados logo após a saída das caixas espirais com a nítida finalidade de se diminuir o vácuo nesta área. A solução encontrada para reduzir o efeito de erosão das pás dos rotores indica uma clara perda de altura de queda devido a falta de critério nos pontos onde tais tubos foram perfurados. Ainda não foram realizados estudos para uma solução definitiva deste problema.

Os tubos de sucção (Fig.2.25), são retos e encontram-se em bom estado e, como já descrito no sub-ítem anterior, apesar dos orifícios acima mencionados, que permitem a entrada de ar próximo a saída da caixa espiral.



Figura 2.25 – Tubos de sucção retos

Há seis Grupos Geradores – GG instalados conforme indicado na Fig.2.26, constando de: uma turbina hidráulica de eixo horizontal, um regulador de velocidade óleo - hidráulico, um volante de inércia, um gerador elétrico e uma excitatriz dinâmica, acoplada diretamente ao eixo do gerador. Todos os GG foram projetados para operação em 50 Hz e desde 1978 operam a 60 Hz. Os únicos equipamentos que foram projetados para operação em 50 Hz podendo ser adaptados para 60 Hz sem prejuízo de rendimento são os reguladores de velocidade. Os GG possuem numeração própria, todos são de eixo horizontal, com acoplamento direto e com as seguintes características:

Planta da Central Principal

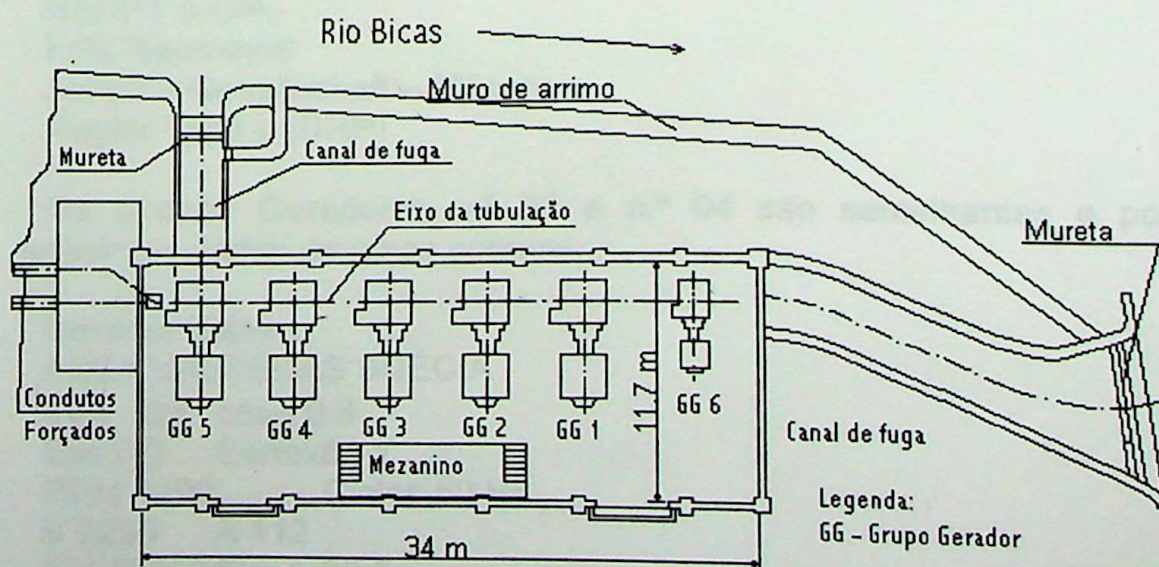


Figura 2.26 – Disposição dos GG na casa de máquinas da CP

Os Grupos Geradores n.º 01 e n.º 02 são iguais e possuem os seguintes dados de placa comuns:

Gerador Elétrico
ASEA VASTERAS SUÉCIA
kVA 875 $\cos\phi$ 0,8
Exc CC Conexão Y
RPM 1000 Ciclos 50 Hz
V 2200 A 250
Exc V 110 Exc A 63,5

Excitatriz
115 VCC 65 A
1000 rpm Sv cont
Acoplada diretamente na extremidade do eixo do gerador.

Turbina hidráulica com rotor FRANCIS e caixa espiral
HAUPT e CIA
50 Rua de São Pedro
Rio de Janeiro
MAN – Maschinenfabrik – Augsburg – Nurnburg
1925 – N.º 5540

Volante de inércia
Diâmetro: 1,50 m
Largura: 0,30 m

Tubo de sucção
Comprimento: 5,0 m
Diâmetro inicial: 0,50 m
Diâmetro final: 1,0 m

Regulador de velocidade – óleo-hidraulico
HAUPT e CIA
Fritz Neumeyer
Aktein – Gesellschaft – München
Regler Type L (DRP)

Os Grupos Geradores n.º 03 e n.º 04 são semelhantes e possuem os seguintes dados de placa comuns:

Gerador Elétrico
ASEA VASTERAS SUÉCIA
kVA 425 $\cos\phi$ 0,8
Exc CC Conexão Y
RPM 1200 Ciclos 50 Hz
V 2200 A 112
Exc V 110 Exc A 35,5

Excitatriz

ASEA VASTERAS SUÉCIA

4,25 kVA $\cos\phi$ 0,8

115 V 37 A

1000 rpm

Turbina com rotor FRANCIS e caixa espiral

HAUPT e CIA

MAN – Maschinenfabrik – Augsburg – Nurnburg

Volante de inércia

Diâmetro:

Largura:

Tubo de sucção (os dados abaixo foram estimados por cálculos em função das medidas disponíveis no corredor sob o piso da casa de máquinas no momento, pois, estes dados não foram encontrados)

Comprimento: 5,0 m

Diâmetro inicial: 0,40 m

Diâmetro final: 0,90 m

Regulador de velocidade – óleo-hidraulico

Idêntico às máquinas 01 e 02.

Grupo Gerador n.º 05 (dados de placa)

Gerador Elétrico

CONZ – Hamburg

Drehstrom – Generator Nr 1385738

Type QNJ119 – 6 875 kVA $\cos\phi$ 0,80

2200 V – Y 1000 U/mon 50Hz

Erregung 120V 80 A

Excitatriz

CONZ – Hamburg

G – Gen Nr 1397712

Type J – 65

9,6 kW ∞ $\cos\phi$ 0,8

120 V 80 A 50 Hz

1000 U/min

Turbina com rotor FRANCIS e caixa espiral

Maschinenfabrik B. Maier

Brackwede L / WESTE

Turbinen – N.º 1727

H max 90 m N max 1000Ps

Q max 0,99 m³/s n 1000 U/min

Volante de inércia:

Diâmetro: 1,60 m

Largura: 0,25 m

Tubo de sucção

Comprimento: 4,50 m

Diâmetro inicial: 0,40 m

Diâmetro final: 0,90 m

Regulador de velocidade – óleo-hidraulico

Maschinenfabrik B. Maier

Brackwede L / WESTE

N.º 1065 / 32482

Conforme ilustrado na Fig. 2.27, o canal de fuga do GG n.º 05 é individual, por razões já citadas anteriormente. Seu nível mínimo é determinado por uma mureta construída ao fim do canal com a altura de 1,27 m a qual garante uma altura máxima de sucção de 4,0 m.

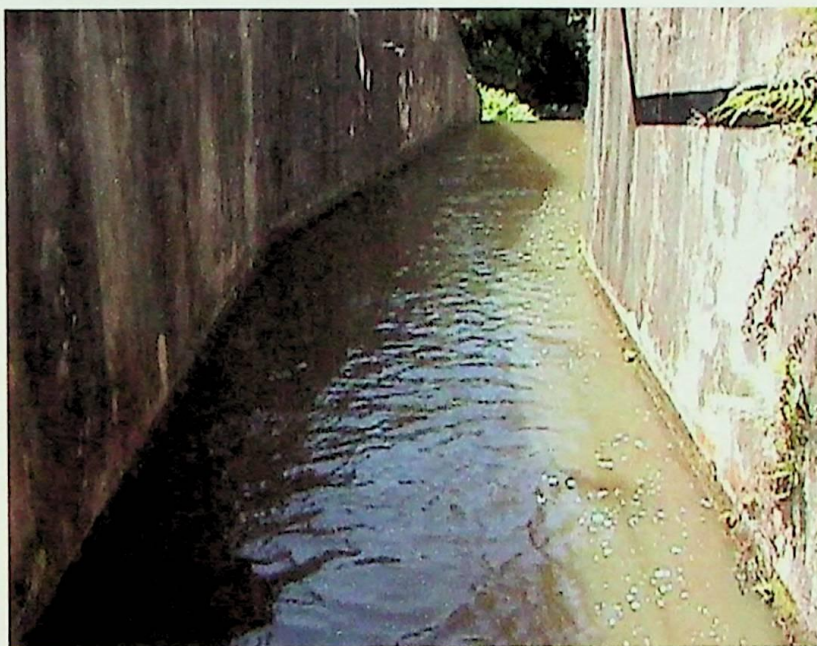


Figura 2.27 – Canal de fuga do GG 05

O grupo gerador n.º06, (Fig. 2.28), está desativado e sua tubulação de entrada de água foi retirada. Seus dados de placa disponíveis são:

Gerador Elétrico

ASEA VASTERAS SUÉCIA

kVA 165 $\cos\phi$ 0,8

Exc CC Conexão Y

RPM 1500 Ciclos 50 Hz

V 2200 A 43,4

Exc V 110 Exc A 20

Excitatriz

DCC – Gerador SHUNT

Tipo T D 51

KW 2,4 CC

Volts 115 A 21

RPM 1500 Exc V 115

Turbina FRANCIS
HAUPT e CIA
50 Rua de São Pedro
Rio de Janeiro
MAN – Maschinenfabrik – Augsburg – Nurnburg

Tubo de sucção
Altura: 4,50 m
Diâmetro inicial: 0,25 m
Diâmetro final: 0.50 m

Regulador de velocidade óleo-hidraulico
HAUPT e CIA
Fritz Neumeyer
Aktein – Gesellschaft – München
Regler Type L (DRP)

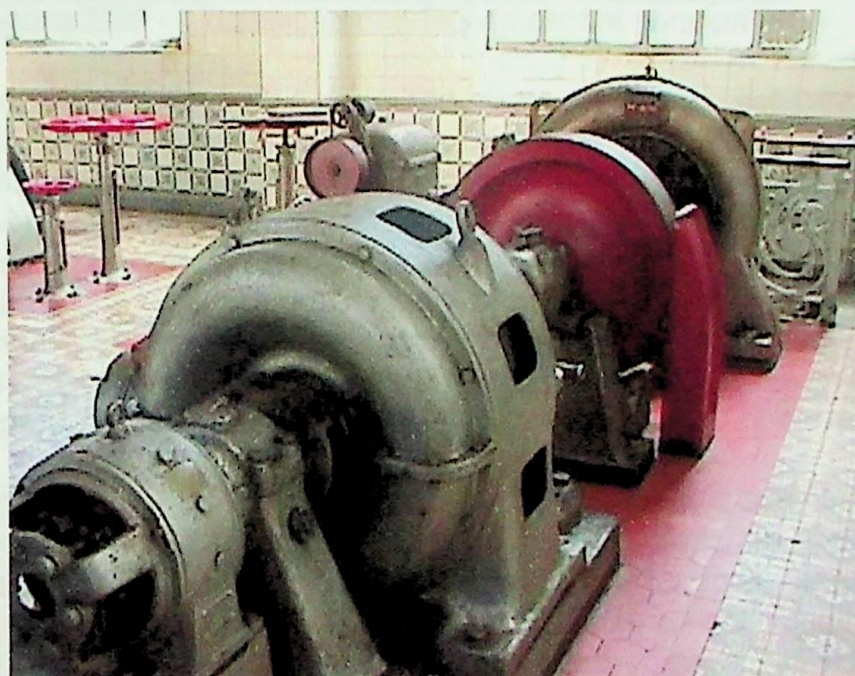


Figura 2.28 – Grupo gerador 06 – 165 kVA

As turbinas hidráulicas – TH são de eixo horizontal e estão instaladas conforme indicado na Fig. 2.29.



Figura 2.29 – Disposição dos GG da central principal

Os tubos de sucção de cada turbina são retos, sendo que, conforme ilustrado na Fig. 2.25, cinco TH descarregam em um canal de fuga comum e apenas uma TH em um canal isolado. O motivo para a existência destes dois canais é histórico; deve-se a alguns fatos ocorridos entre 1959 e 1961, quando houve uma ampliação da CP e foi instalado um GG que mais tarde receberia a denominação GG n.º 5, no lugar onde antes havia um GG de 165 kVA. Por se tratar de uma máquina de maior porte (cerca de 5 vezes mais potente) e, portanto, ter maior capacidade de engolimento, foi construído um canal de fuga específico para este novo GG de 875 kVA, como pode ser observado na Fig. 2.27.

O primeiro canal de fuga construído é transversal aos eixos das cinco turbinas existentes desde a época de construção da CP. É de concreto e corre abaixo da galeria dos condutos forçados. Há uma mureta no fim do canal de fuga que represa a água, de modo a manter um nível mínimo de sucção para as turbinas. O canal elaborado especificamente para o grupo n.º 05 é transversal ao primeiro, no mesmo sentido do eixo de sua turbina, e joga suas águas no Rio Bicas, a montante do canal já existente. Também possui uma mureta para manter um nível mínimo de altura de sucção.

Apesar de se tratar, cronologicamente, do sexto GG instalado, o mesmo está localizado exatamente onde, inicialmente, havia sido instalado um GG de 200 CV, o qual era conhecido por GG n.º 05. Logo recebeu a numeração daquele que substituiu.

O GG que foi substituído, na verdade foi remanejado, tendo sua posição deslocada para adiante das máquinas já existentes. O canal de fuga que existia inicialmente recebeu uma divisão e manteve a contribuição dos cinco primeiros GG previstos.

Os reguladores de velocidade de todos os seis grupos são óleo-hidráulicos, possuindo, cada um, duas correias, ambas passando pelo eixo da turbina, uma acionando uma bomba de óleo que intervém, por meio de um regulador de discos para suprimir as variações bruscas de velocidade e outra acionando o

dispositivo de comando. Este regulador pode ser, ainda, acionado por um servo motor comandado do mezanino de distribuição.

Todas as excitatrizes são providas de reostato de campo e chave de ligação às barras comuns de excitação sob o painel no mezanino.

Os seguintes aparelhos de medição ainda são encontrados em cada dos grupos, fixados em suas caixas espirais:

Um vacuômetro no tubo de sucção

Um manômetro na entrada da caixa espiral

Um contador de velocidade (tacômetro) analógico, conectado por uma correia ao eixo da turbina.

Estes aparelhos encontram-se presentes em todos os grupos exceto no GG n.º 06 pelo fato do mesmo estar desativado. Tais aparelhos funcionam, porém não são aferidos talvez desde a época de sua instalação e, obviamente, informam medidas sem a necessária precisão.

Os geradores elétricos - GE são ligados em "Y" com neutro conectado à terra através de indutância para a proteção diferencial, exceto o GE n.º 05 que possui conexão à terra em separado. A parte induzida é o estator. As fases, após a saída dos bornes do alternador, vão diretamente a um disjuntor e depois a uma chave seccionadora. A seguir passam por nova seccionadora e então às barras de 2.200 V e aos transformadores correspondentes. Os disjuntores, a óleo, de acionamento eletromagnético a corrente contínua (fechamento por solenóide e abertura por bobina de desengate), são comandados à distância, do mezanino da CP. Na ligação dos neutros de 2.200 V à terra, para a proteção diferencial dos GE, são intercalados relés que podem desligar o disjuntor citado.

Dos GE partem os cabos de energia, convergindo para a boca de um túnel existente sob o mezanino. Daí seguem os cabos pelo túnel, até a calha, no pavimento térreo da estação elevadora, onde cada conjunto de cabos encontra seu respectivo disjuntor.

Há um reostato de campo para cada grupo gerador que regula a corrente da excitatriz nas escovas do indutor, com o volante de manobra em cada painel do mezanino, ao alcance do operador.

Chaves automáticas, armadas à mão, permitem a conexão dos alternadores às barras de sincronização.

O fato da instalação do GG n.º 05 não ter sido prevista inicialmente impôs a condição de se criar um local no mezanino para que os equipamentos de operação de tal grupo pudessem ser instalados. Como todos seus equipamentos ficaram em um painel metálico ao lado do painel já existente, faz-se aqui, a descrição primeiramente das máquinas instaladas desde a construção da central e, logo após, a descrição dos equipamentos do GG n.º 05.

A distribuição dos equipamentos de controle segue, basicamente, a organização a seguir:

Casa de máquinas: instrumentos de medição, relés.

Pavimento térreo da subestação: Transformadores de corrente e transformadores de potencial.

Pavimento superior da subestação: Transformadores de corrente (lado de 30 kV). Alarme de terra na linha.

Em um mezanino (Fig. 2.30), na casa de máquinas, encontram-se os instrumentos de medição e os elementos de sinalização, de controle manual da excitação e de comando dos disjuntores.



Figura 2.30 – Mezanino da central principal

Sob o mezanino encontram-se os relés de sobrecorrente dos GG n.º 01, 02, 03, 04 e GG n.º06, a resistência de aterramento destes grupos com o seu barramento de terra e suas respectivas seccionadoras, a resistência de aterramento do GE n.º 05, o circuito retificador responsável pela de carga dos acumuladores e a saleta das duas baterias de acumuladores que trabalham em série. Os relés de sobrecorrente dos transformadores, as campainhas de alarme e o equipamento de telecomando referente a CA também encontram-se sob o mezanino. Os reostatos de campo das excitatrizes e dos GEs, controlados do painel possuem acionamento mecânico através de correntes.

O quadro de distribuição (Fig. 2.31), disposto de forma a apresentar a sua face acessível ao operador em forma de púlpito, é dividido em cinco painéis correspondentes às cinco primeiras máquinas instaladas. Cada painel do quadro inicial é provido de: volante do reostato de campo da excitatriz, volante do reostato de campo do alternador, punhos de armação das chaves de ligação às barras de excitação e de sincronização.

Cada GE possui os seguintes equipamentos de medição:
Um amperímetro para a corrente da excitatriz

Um voltímetro para a tensão da excitatriz
Três amperímetros para a corrente do GE
Um voltímetro, com chave comutadora de fases, para a tensão no GE
Um Fasímetro, um wattímetro, um medidor de watt-hora e um freqüencímetro
Duas chaves rotativas de manobra do comando à distância dos disjuntores dos transformadores na subestação elevadora com lâmpadas piloto indicativas de posição.

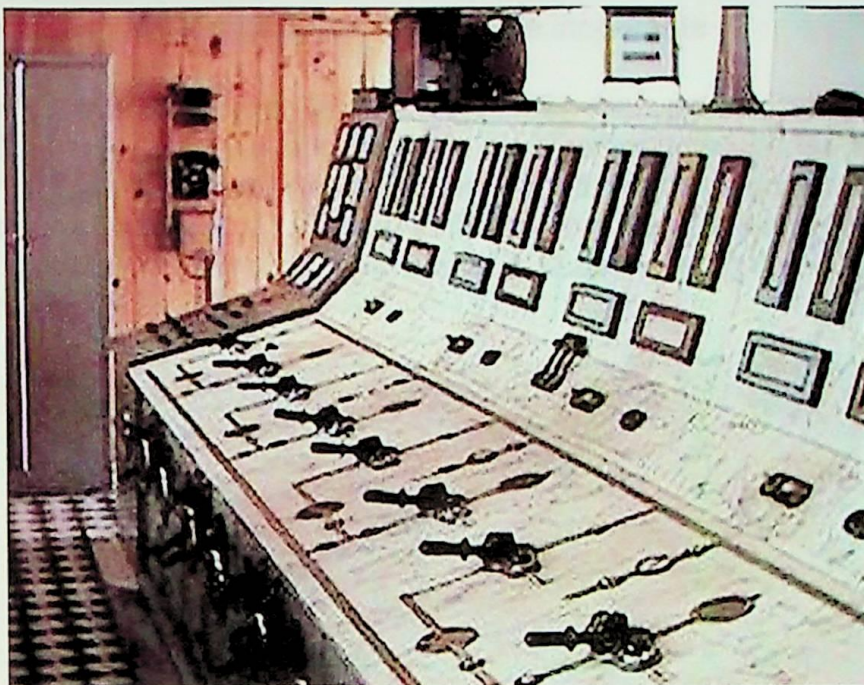


Figura 2.31 – Painel de controle no mezanino da central principal

O mesmo quadro foi ampliado através de uma caixa metálica instalada ao lado direito para compor os equipamentos de controle do grupo gerador n.º 05 que foi instalado tempos depois.

No painel metálico os equipamentos de comando da máquina n.º 05 são:
Uma chave de conexão ou desconexão da excitação
Um conjunto de relés secundários para proteção contra sobretensões e sobrecargas
Três amperímetros
Um voltímetro com chave seletora de três posições
Um wattímetro
Um freqüencímetro
Um medidor de fator de potência trifásico
Um reostato de excitação com comando no painel (volante)
Um regulador automático de tensão
Um disjuntor para 120 V, C.C. no circuito de excitação
Um jogo de fusíveis para os transformadores de potencial com suporte.
Botões de comando para a ligação do disjuntor de 2.200 V, disjuntor de 30.000 V, registro da turbina e regulador de velocidade
Muflas terminais para entrada e saída de cabos trifásicos, armados, de 150 mm² de seção dos condutores.

Ao lado esquerdo do quadro há o conjunto de comando remoto da CA, também disposto em um painel metálico. Neste painel encontram-se os seguintes equipamentos:

Três amperímetros

Um Wattímetro e um warrmetro

Um voltímetro duplo

Um freqüencímetro duplo

Um voltímetro de “zero”

Um sincronizador automático, atualmente inoperante

Acima do quadro de distribuição (Fig. 2.32), mais precisamente sobre o painel do GG n.º 03, encontra-se o conjunto de sincronização de todos os geradores da CP. O mesmo consta de um freqüencímetro simples (indica a freqüência do barramento de 2.200 V); de um voltímetro simples (tensão no barramento de 2.200 V) e de um sincronoscópio trifásico. O paralelismo dos GE é estabelecido no barramento de 2.200 V.

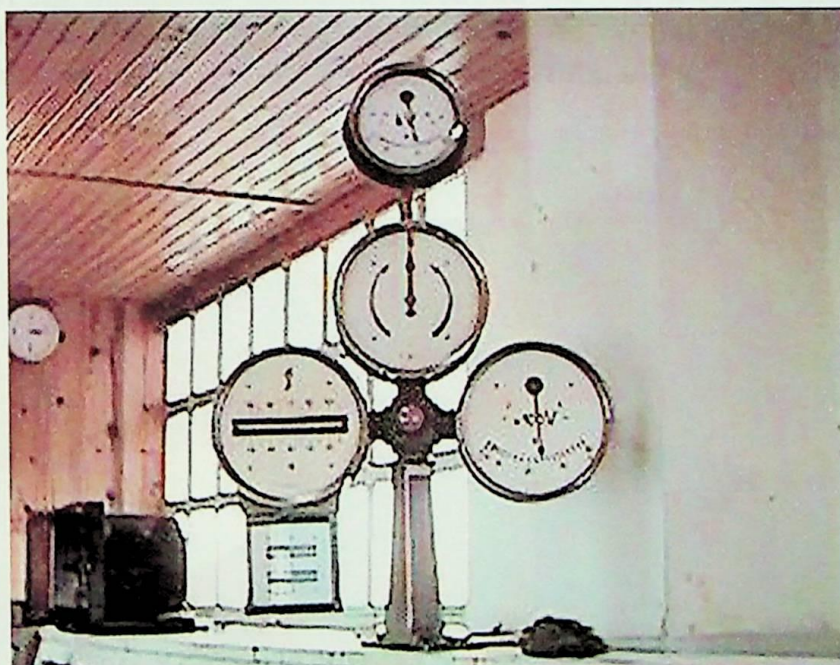


Figura 2.32 – Sincronoscópio acima do painel de controle

A regulação de tensão pode ser realizada manualmente ou por um regulador múltiplo “TIRRIL”. Este equipamento é de resposta lenta, tecnologia da década de 30 e está conectado apenas aos cinco primeiros grupos instalados. O GG n.º 05 não está conectado ao regulador TIRRIL. Os GE n.º 03 e 04 atualmente não são conectados ao regulador TIRRIL. Estes geradores, quando operam, são mantidos com seus distribuidores completamente abertos, vazão máxima, e, por este motivo, estes geradores somente podem funcionar em paralelo com algum outro gerador que possua um controle de carga. Os geradores de n.º 03 e 04 possuem regulação apenas na tensão de excitação e, portanto, apenas no controle do fator de potência.

O operador deve permanecer no mezanino atento à carga das máquinas e à indicação dos demais instrumentos, cujas leituras anota a espaços regulares, em formulários de rotina. Traça a curva de carga, determina quando necessário, a entrada em serviço dos GG que estiverem parados ou a retirada de serviço dos que se tornarem dispensáveis no momento. Controla a tensão

no barramento quando o regulador está desligado. Sincroniza os GE que devem entrar em paralelismo com os que já estiverem em serviço. No salão das máquinas fica o seu ajudante, encarregado da inspeção dos mancais; do fechamento e abertura das seccionadoras e dos disjuntores de linha (subestação elevadora); do preparo dos GG para a entrada em serviço (abertura do registro e controle da rotação mediante atuação no regulador de velocidade); também para a retirada destes do serviço (fechamento do regulador de velocidade, frenagem do volante de inércia); da lubrificação das máquinas; da limpeza em geral; da observação dos sinais de alarme e dos chamados telefônicos etc.

Os cabos que conectam a casa de máquinas à subestação em outro prédio estão lançados em uma instalação subterrânea (túnel) que interliga a casa de máquinas ao prédio citado, Trata-se de um túnel com canaletas laterais em forma de prateleira. As canaletas são feitas de concreto, são em n.º de oito sendo quatro de cada lado do túnel. Nas paredes laterais do túnel as canaletas seguem na horizontal conforme ilustrado na Fig. 2.33. O cabeamento é de tecnologia muito antiga e sua isolamento é de material fibroso facilmente destruído por ratos, representando, desta forma, um perigo para as instalações.



Figura 2.33 – Túnel sob o piso entre a casa de máquinas e a subestação da CP

A subestação está em uma outra edificação, ao lado da casa de máquinas, e divide-se em dois pisos descritos a seguir:

No primeiro piso estão os equipamentos para operação em 2.200 V, conforme indicado na Fig. 2.34.



Figura 2.34 – Subestação elevadora - 1º Piso, Equipamentos em 2,2 kV

Seus transformadores de potência tem os seguintes dados de placa:

Transformador 01

ASEA VASTERAS SWEDEN

3 ~ - 50 hz

Type T 047 - Nr.º 295065

900 kVA Load cont.

Prim. 2200 V - 236 A

Sec. 30000 kV ± 5% 17,3 A ± 5%

Ration 14,3 - Conec A2

Imp Drop 6% - Res Drop 1,148 %

Transformador 02

ASEA VASTERAS SWEDEN

3 ~ - 50 hz

Type T 047 - Nr.º 295066

900 kVA Load cont.

Prim. 2200 V - 236 A

Sec. 30000 kV ± 5% 17,3 A ± 5%

Ration 14,3 - Conec A2

Imp Drop 6,09 % - Res Drop 1,118 %

Transformador 03

ASEA VASTERAS SWEDEN

3 ~ - 50 hz

Type T 043 - Nr.º 295067

425 kVA Load cont.

Prim. 2200 V - 111,5 A

Sec. 30000 kV ± 5% 8,1 A ± 5%

Ration 14,3 - Conec A2

Transformador 04
ASEA VASTERAS SWEDEN
3 ~ - 50 hz
Type T 047 - Nr.º 295066
425 kVA Load cont.
Prim. 2200 V - 111,5 A
Sec. 30000 V \pm 5% 8,1 A \pm 5%
Ration 14,3 - Conec A2

Transformador s/n.º (conhecido por transformador de serviço)
ASEA VASTERAS SWEDEN
3 ~ - 50 Hz
18 kVA Serviço Contínuo
Prim. 2200 V
Secund. 230/115 V
YY - Z 6%

Os disjuntores pertencentes aos circuitos dos GGs n.º 01, 02 , 03, 04 e 06 descritos a seguir, possuem tecnologia ultrapassada e não apresentam mais peças de reposição. As manutenções corretivas são realizadas retirando-se peças de disjuntores idênticos oriundos da subestação desativada em Piquete.

Dois disjuntores a óleo de 6,6 kV e 350 A, da ASEA, são acionados através de servo mecanismo alimentado por corrente contínua. Eles são conectados através de cabos aos GEs n.º 01 e 02 e ao barramento de 2,2 kV.

Dois disjuntores a óleo de 6,6 kV e 200 A, da ASEA, são acionados através de servo mecanismo alimentado por corrente contínua. Eles são conectados, através de cabos, aos GEs n.º 03 e 04 e ao barramento de 2,2 kV.

Um disjuntor a óleo de 6,6 kV e 200 A, da ASEA, com acionamento através de servo mecanismo alimentado por corrente contínua, conecta –se a uma linha de transmissão para CA.

Um disjuntor a óleo de 6,6 kV e 200 A, da ASEA, com acionamento através de servo mecanismo alimentado por corrente contínua, conecta o transformador de serviço às cargas internas da CP.

Um disjuntor a óleo de 6,6 kV e 200 A, da ASEA com acionamento através de servo mecanismo alimentado por corrente contínua, é conectado, através de cabos, ao GE n.º 06. Ele encontra-se desconectado do barramento de 2,2 kV.

Um disjuntor BROW BOVERI, do tipo volume de óleo reduzido, acionamento elétrico e manual de 20 kV, 600 A nominais e 8000 A de ruptura efetivos, 50 Hz, 220 V controla a tensão de acionamento da bobina. Ao contrário dos demais disjuntores, não necessita de corrente contínua para seu acionamento. Ele é conectado, através de cabos, ao GG n.º 05. Opera em 220 V com corrente alternada obtida no barramento de serviço. Este mesmo barramento alimenta os demais controles e sinalizações do GG n.º 05.

Dos disjuntores partem as ligações dos GE para o barramento de 2.200V e para os transformadores de potência já citados. Os disjuntores mencionados encontram-se em cubículos individuais, com os transformadores de medição correspondentes aos geradores de origem.

Depois de reunidos os cabos oriundos destes transformadores, cabos de sinalização e manobra do disjuntor, os mesmos seguem pela calha e pelo túnel para a casa de máquinas, até o mezanino.

Os transformadores de corrente, dos cinco grupos instalados primeiro, estão presentes da seguinte maneira:

- . Existem dois transformadores de corrente para cada um dos GE n.º 01 e n.º 02, com relação 250/5 A.
- . Existem dois transformadores de corrente para cada um dos GE n.º 03 e n.º 04, com relação 125/5 A.
- . Existem dois transformadores de corrente para o GE n.º 06, com relação 50/5 A.

Os transformadores de medição do GE n.º 05 são:

- . Três transformadores de potencial a seco, para medição e proteção na razão 2.200/100 V
- . Um transformador de potencial a seco para o regulador de tensão, na razão 2.200/100 V
- . Três transformadores de corrente a seco para medição e proteção, na razão 250/5 A

Cada circuito dos GE, exceto o alternador n.º 05, é provido de três relés de tempo para acionamento dos disjuntores.

Do barramento de 2,2 kV partem as ligações para o disjuntor do transformador de serviço (ponte rolante, iluminação da casa de máquinas e da subestação elevadora), para o disjuntor de serviço da linha da CA e para o cabo de alimentação das redes de distribuição interna e local.

Uma outra saída do referido barramento alimenta um transformador de 100 kVA, ligado a um barramento de 2,2 kV do grupo diesel – gerador. Este transformador alimenta a carga interna e parte da carga residencial de funcionários.

Dos transformadores de potência seguem as ligações para o pavimento superior da subestação passando pelo piso através de buchas.

No piso superior estão os equipamentos conectados à 30 kV (Fig. 2.35).



Figura 2.35 – Subestação elevadora 2º Piso, Equipamentos em 30 kV

No piso superior, na saída dos transformadores, as ligações seguem para os disjuntores das linhas de Itajubá, para o disjuntor da linha da CA, para o transformador de potencial e para os pára – raios de proteção do barramento.

As observações quanto aos disjuntores do primeiro piso são identificadas também para os disjuntores do piso superior excetuando-se apenas o disjuntor da CA.

São três as saídas de linhas no piso superior: - uma para CA, que segue para a mesma em dois níveis de tensão, 30 kV e 2,2 kV e duas para Itajubá em 30 kV. Foi adaptada uma saída, que destinava-se originalmente à Piquete, e foi redirecionada externamente para a segunda linha de transmissão para Itajubá, cujos postes são de madeira.

Os disjuntores das linhas são manobrados manualmente, exceto o disjuntor da linha de 30 kV da CA, que pode ser manobrado à distância, para efeito de sincronização.

Os relés de proteção das linhas, relés de sobrecorrente e medidores de energia encontram-se no cubículo do respectivo disjuntor.

A linha de 30 kV da CA entra no pavimento superior, passa pelos transformadores de medição e conecta-se a um disjuntor de ar comprimido e dele para o barramento de 30 kV.

A resistência de aterramento dos transformadores de potência encontra-se também no piso superior, em um cubículo especial.

Os pára-raios das linhas encontram-se dispostos na parte externa do prédio.

Dos transformadores de corrente (lado de 30 kV) e dos transformadores de potencial do barramento de 30 kV partem cabos para a casa de máquinas, a

fim de alimentarem os relés de sobrecorrente dos transformadores (dispostos sob o mezanino) e os medidores de energia das linhas instalados na parede interna do mezanino, atrás dos painéis, e, também, ao voltímetro de 30 kV, anexado ao conjunto de sincronização da CA.

As linhas de transmissão para Itajubá são em número de duas, sendo, na realidade, dois circuitos paralelos em direção ao mesmo ponto, distante aproximadamente 18 km, da fábrica, Filial n.º 05 da Indústria de Material Bélico, na cidade de Itajubá. As linhas possuem proteção contra descargas atmosféricas apenas nas extremidades, conforme ilustrado na Fig. 2.36.



Figura 2.36 – Linhas de transmissão. Detalhe do pára-raios no solo

Não há a existência de cabos guarda sobre as fases. As duas linhas diferenciam-se na concepção de suas torres, uma essencialmente concebida com torres de aço treliçado e a outra que inicia-se também com torres de aço, oriundas da antiga linha que destinava-se a cidade de Piquete, porém possui aproximadamente uma centena de postes de madeira em bom estado.

No barramento de 2,2 kV há uma conexão, através de um disjuntor, já descrito, para a alimentação do transformador de serviços auxiliares (18 kVA). Há quatro circuitos cujo comando se encontra em um painel à frente do mezanino (externo ao mesmo) (Fig. 2.37).

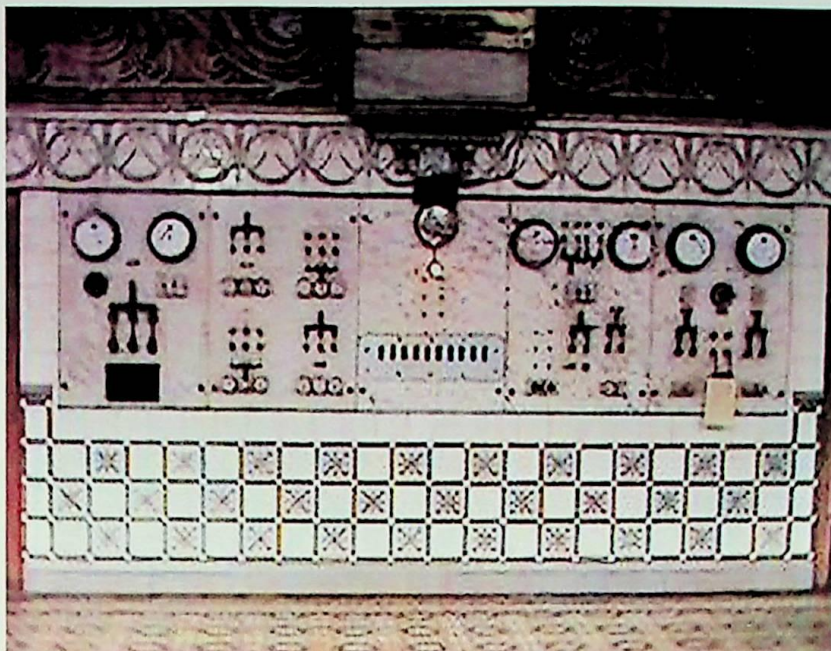


Figura 2.37 – Painel de circuitos auxiliares sob o mezanino

A corrente contínua para o acionamento dos disjuntores é obtida através de um barramento CC localizado em uma saleta sob o mezanino, onde duas baterias em série de acumuladores alcalinos, cada uma com 50 elementos, são mantidas em regime flutuante sob a tensão de 120 V por um circuito retificador. Inicialmente, a corrente contínua necessária era obtida através de um pequeno gerador CC acoplado a um motor CA, de potência desconhecida mas aparentemente baixa, dado o tamanho do grupo. Este grupo encontra-se hoje desativado.

A alimentação da carga local, que compreende a carga interna dos pavilhões – oficinas, auxiliares e administração, além da carga residencial da Vila de Funcionários, é oriunda do barramento de 2,2 kV, situado no primeiro piso da subestação. A instalação foi realizada através de cabos lançados em canaletas sob o piso, que interligam um disjuntor da subestação Diesel ao citado barramento. A interligação com a subestação Diesel deve-se ao fato de que tais cargas podem vir a ser alimentadas pela própria subestação Diesel (Fig.2.38), quando ocorrerem falhas de fornecimento ou paradas por manutenção programada.

Dos terminais opostos do referido disjuntor até o barramento de 2,2 kV da subestação Diesel, a instalação é em cabos lançados em canaletas sob o solo. O barramento da subestação é conectado ao transformados de 100 kVA e deste para os terminais de 220 V do gerador diesel. Esta subestação encontra-se atualmente em bom estado.

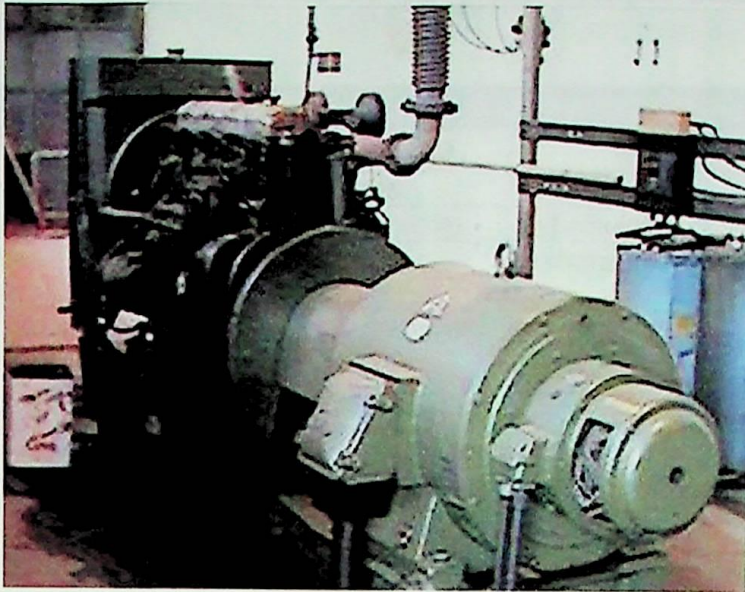


Figura 2.38 a – Grupo gerador diesel

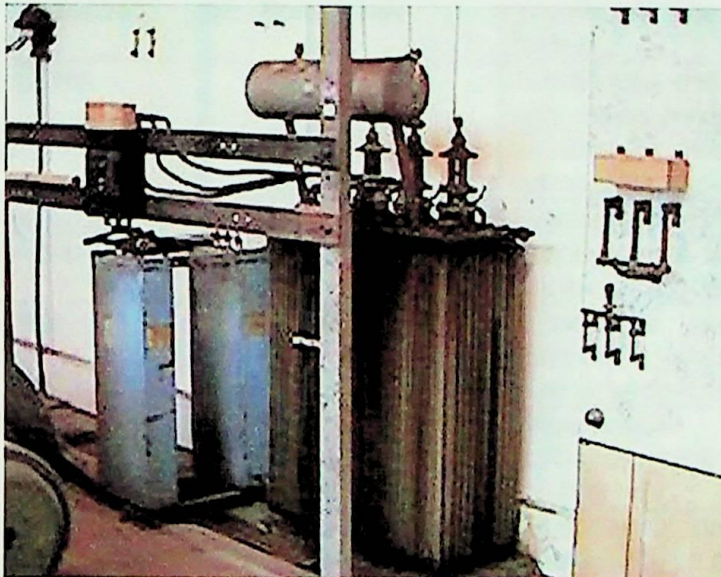


Figura 2.38 b – Transformador da subestação diesel

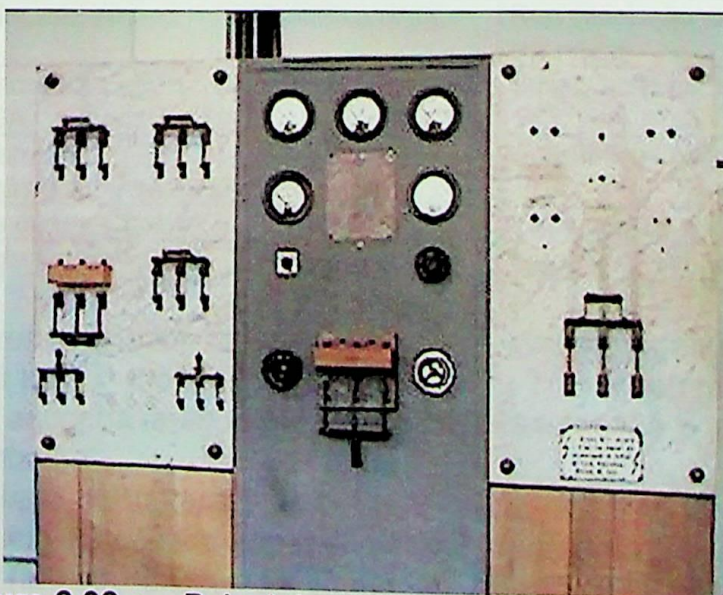


Figura 2.38 c – Painel de comando da subestação diesel

Uma síntese dos componentes da CP e sua situação atual encontram-se na Tabela 2.2:

Tabela 2.2 – Características atuais da central principal			
Item	Componente	Situação	Necessidade
01	Reservatório	Assoreado	Limpeza
02	Comporta de dreno	Estado precário	Substituição
03	Grades da tomada d'água	Difícil acesso	Sistema de limpeza mecânico
04	Comportas de tomada d'água	Estado precário	Manutenção
05	Casa de válvulas	Bom estado	Limpeza da casa
06	Tubulação forçada	Bom estado	
07	Conexão "Y"	Bom estado	Substituição de manômetros
08	Registros da tubulação forçada	Estado precário	Manutenção no comando elétrico e manual
09	Registros de "by pas"	Estado precário	Substituição dos mesmos (04)
10	Válvulas de entrada das máquinas	Estado precário	Manutenção
11	Caixa espiral das máquinas	Bom estado	Substituição de manômetros (todos)
12	Distribuidores	Apresentando vazamentos	Substituição dos distribuidores para melhor rendimento
13	Rotores	Geometria inadequada	Substituição dos rotores por outros p/ 60 Hz
14	Tubos de sucção	Bom estado	Substituição dos vacuômetros
15	Geradores Elétricos	Bom estado	Repotenciação ou substituição dos mesmos p/ 60 Hz
16	Excitatrizes	Bom estado	Substituição por excitatrizes estáticas (eletrônicas) ou dinâmicas de menor consumo
17	Sala de baterias	Estado precário	Modernização do sistema auxiliar de carga e substituição das baterias
18	Painéis de comando e proteção	Tecnologia da década de 30	Substituição de painéis e instalação de novos equipamentos
19	Cabos de potência	Estado precário	Substituição dos cabos
20	Transformadores	Estado precário	Repotenciação ou substituição por novos
21	Disjuntores exceto n.º 05 e da CA	Estado precário	Substituição por novos
22	Equipamentos de proteção e controle 30 kV	Estado precário	Substituição por novos
23	Linhas de transmissão	Estado precário	Instalação de cabos pára-raios
24	Subestação diesel	Estado precário	Manutenção simples

Dos GG referenciados anteriormente, hoje operam apenas os grupos n.º 01, 02, 04 e 05 na CP e o Grupo da CA. O GG n.º 06 encontra-se indisponível e o GG n.º 03 encontrava-se desmontado em manutenção corretiva, na época da visita à central.

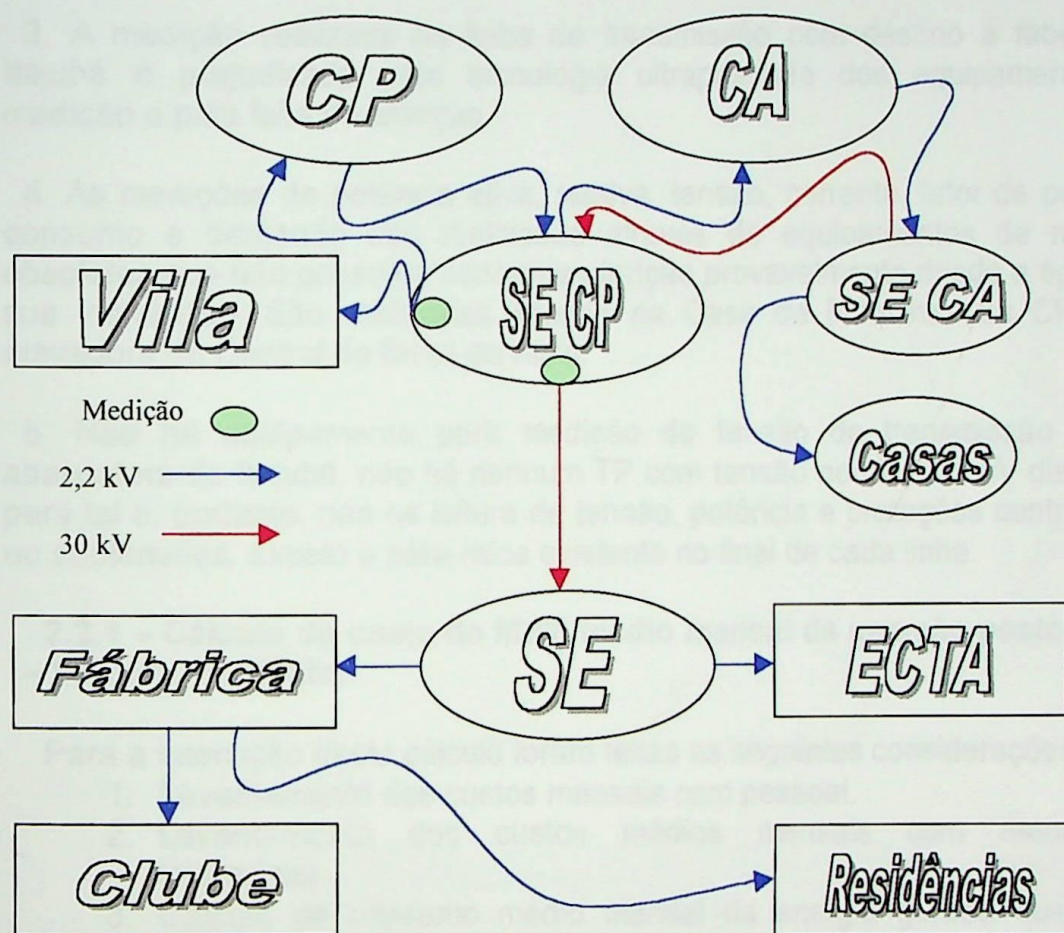
Não há plano de manutenção preventiva, as manutenções programadas são realizadas em função da experiência dos operadores e, portanto, apesar de periódicas (anuais, exceto as situações de emergência), elas não possuem critério técnico definido, normalmente aos fins de semana, ou em caráter corretivo, quando da ocorrência de algum defeito.

Nos GG observa-se uma grande preocupação, por parte dos operadores, com a CA e com o GG n.º 05, que são responsáveis pela geração nos horários de ponta de carga da fábrica, das 8:00 as 10:00 hs.

A CA não opera de forma auxiliar, e sim como grupo fundamental de toda a Central de Bicas do Meio.

2.2 – Características do Mercado

A energia gerada pela Central de Bicas atualmente divide-se para determinadas cargas, conforme indica o diagrama de blocos da Fig. 2.39:



SE CP – Subestação elevadora da central principal

SE CA – Subestação elevadora da central auxiliar

ECTA – Estação de captação e tratamento de água

SE – Subestação abaixadora da Fábrica

VILA – Vila de Funcionários da Central em Wenceslau Bráz

CLUBE – Sede do Clube “16 de Julho” pertencente à IMBEL

Residências – Quatro residências funcionais pertencentes à IMBEL

Casas – Três casas de vigilantes e funcionários pertencentes à IMBEL

Figura 2.39 – Diagrama de blocos das cargas da Central de Bicas do Meio

A respeito destas cargas pode-se salientar o seguinte:

1. A medição de consumo interno da CP e da vila de funcionários da Central de Bicas é única e realizada em 2,2 kV.
2. Como pode ser observado no diagrama de blocos da Fig. 2.39 não há medição do consumo interno da CA e mais três casas que se localizam distantes do local da CP em direção aos reservatórios. São residências de vigilantes e funcionários encarregados de limpeza da CA.
3. A medição realizada na linha de transmissão com destino a fábrica em Itajubá é prejudicada pela tecnologia ultrapassada dos equipamentos de medição e pela falta de aferição.
4. As medições de potência ativa, reativa, tensão, corrente, fator de potência, consumo e demanda são realizadas através de equipamentos de medição obsoletos que não possuem nenhuma aferição provavelmente desde a época de sua instalação. São realizadas apenas na Casa de Máquinas da CP e SE elevadora da Central de Bicas do Meio.
5. Não há equipamento para medição da tensão de transmissão na SE abaixadora de Itajubá, não há nenhum TP com tensão nominal 30 kV disponível para tal e, portanto, não há leitura de tensão, potência e proteções contra sobre ou subtensões, exceto o pára-raios existente no final de cada linha.

2.2.1 – Cálculo do custo do MWh médio mensal da geração posto IMBEL – Fábrica de Itajubá

Para a execução deste cálculo foram feitas as seguintes considerações:

1. Levantamento dos custos mensais com pessoal.
2. Levantamento dos custos médios mensais com manutenção (materiais).
3. Cálculo de consumo médio mensal da energia gerada que não é transmitida para Itajubá, ou seja, a energia consumida na Central de Bicas do Meio, instalações anexas e vila de funcionários.
4. Levantamento do consumo médio mensal da Fábrica de Itajubá considerando a fábrica, o clube e 04 residências como um único consumidor.
5. O valor de depreciação mensal dos equipamentos foi considerado nulo, devido ao fato dos mesmos estarem operando a pelo menos 50 anos.

2.2.1.1 - Custos mensais com pessoal

Os custos mensais com pessoal foram obtidos com o auxílio da Gerência de recursos humanos da Fábrica de Itajubá e estão apresentados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Folha de pagamento de funcionários da central							
Função	Niv	Qte	Vencto Base R\$	Encargos 112,00%	Plano Saúde R\$	Total R\$ (MÊS)	Total R\$ (ANO)
Superv seç	1	1	1.131,37	1.267,13	37,00	2.435,50	29226,05
Eletr. Mant. I	36	3	544,21	609,52	37,00	3.572,18	42866,11
Mec. Mant. I	34	2	493,62	552,85	37,00	2.166,95	26003,39
Eletr. Mant. II	32	1	447,72	501,45	37,00	986,17	11834,00
Op.Prod.Esp.III	29	1	386,76	433,17	37,00	856,93	10283,17
Eletr. Mant. III	27	2	350,79	392,88	37,00	1.561,35	18736,20
Pr Mq III	26	1	334,09	374,18	37,00	745,27	8943,25
Eletr. Mant. III	24	7	303,62	340,05	37,00	4.764,72	57176,65
Carp. II	22	1	274,86	307,84	37,00	619,70	7436,44
Carp II	21	1	261,77	293,18	37,00	591,95	7103,43
Op. Prod. I	21	1	261,77	293,18	37,00	591,95	7103,43
Aj. Mant. I	21	1	261,77	293,18	37,00	591,95	7103,43
Carp. III	17	1	253,53	283,95	37,00	574,48	6893,80
Op. Util. Ind. II	11	1	246,06	275,59	37,00	558,65	6703,77
Aj. Geral I	10	1	244,84	274,22	37,00	556,06	6672,73
Op. Prod. III	9	1	243,62	272,85	37,00	553,47	6641,69
Aj. Geral I	7	2	241,21	270,16	37,00	1.096,73	13160,76
Aj. Geral II	5	6	238,80	267,46	37,00	3.259,54	39114,43
Aux. Coz. III	5	1	238,80	267,46	37,00	543,26	6519,07
Aj. Geral II	4	1	237,62	266,13	37,00	540,75	6489,05
Total:		36				27.167,57	326.010,85

Para uma melhor compreensão das abreviaturas utilizadas na Tabela 2.3, construiu-se a Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Legenda da Tabela 2.3	
Abreviatura	Função
Superv Seç.	Supervisor de seção
Eletr. Mant.	Eletricista de Manutenção
Mec. Mant.	Mecânico de Manutenção
Op. Prod. Esp.	Operador de Produção Especializado
Pr. Mq.	Preparador de Máquinas
Carp.	Carpinteiro
Op. Prod.	Operador de Produção
Aj. Mant.	Ajudante de Manutenção
Op. Util. Ind.	Operador de Utilidades Industriais
Aj. Geral	Ajudante Geral
Aux. Coz.	Auxiliar de Cozinha

Estes dados foram fornecidos pela seção de recursos humanos da Fábrica de Itajubá no mês de junho de 1999.

2.2.1.2 - Custos médios mensais com materiais e manutenção.

Os custos médios mensais com materiais e manutenção foram obtidos com o auxílio da seção de planejamento da Fábrica de Itajubá e são apresentados na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Custos médios mensais com materiais e manutenção da central					
Item	Descrição	Qte	Unitário R\$	Total (MÊS) R\$	Total R\$ (ANO)R\$
1	Gastos diretos c/ materiais diversos	1	755,06	755,06	9.060,72
2	Cesta básica	36	56,19	2.022,84	24.274,08
3	Material de limpeza	1	100,00	100,00	1.200,00
4	Combustíveis	1	120,00	120,00	1.440,00
5	Gêneros alimentícios	1	800,00	800,00	9.600,00
6	Material de segurança	1	100,00	100,00	1.200,00
	Total:			3.897,90	46.774,80

2.2.1.3 – Custos médios mensais com impostos

O custo médio mensal com impostos exclusivos da Central de Bicas do Meio foi deduzido de informações oriundas da Área Fiscal – Seção de Contabilidade da Matriz da Indústria de Material Bélico (IMBEL) situada na Cidade de Piquete – SP. Este valor foi calculado com base em uma porcentagem de um montante avaliado anualmente sobre todo o fluxo de caixa que envolve não somente a central como também a Fábrica de Itajubá. O valor descrito a seguir refere-se ao ano de 1998.

De acordo com as informações fornecidas, trata-se de aproximadamente 5% de todos os custos envolvidos:

Logo o custo médio anual com impostos é da ordem de R\$ 18.000,00

O custo total médio mensal da Central de Bicas do Meio está indicado na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 – Custo médio mensal total da Central de Bicas do Meio			
Item	Descrição (R\$)	Total (MÊS) R\$	Total (ANO) R\$
01	Pessoal	27.167,57	326.010,85
02	Material	3.897,90	46.774,80
03	Impostos	1.500,00	18.000,00
03	Total:	32.565,47	390.785,65

2.2.1.4 - Cálculo do consumo médio mensal da energia gerada que não é transmitida para Itajubá

Trata-se da energia consumida na Central de Bicas do Meio, instalações anexas e vila de funcionários.

Para o cálculo do consumo médio mensal interno da central e da vila de funcionários, foi realizado um levantamento de leituras realizadas em um medidor, instalado na CP de Bicas do Meio durante todo o ano de 1998, conforme pode ser observado na Tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Consumo médio Interno e da vila de funcionários		
N.º	Meses	Cons. KWh
1	Janeiro	71.400
2	Fevereiro	64.800
3	Março	75.000
4	Abril	74.400
5	Maio	78.600
6	Junho	139.200
7	Julho	70.800
8	Agosto	79.200
9	Setembro	65.400
10	Outubro	73.200
11	Novembro	70.200
12	Dezembro	70.200
Média mensal		77.700

Para o cálculo da energia consumida na CA e em três residências que não possuem medição foi realizado um levantamento das cargas existentes na CA e do consumo típico residencial adequado às dimensões das residências e do poder aquisitivo de seus moradores.

O valor do consumo mensal neste caso foi obtido por estimativa.

O valor estimado está em torno de 10 MWh / mês. Logo o consumo médio mensal interno da central e da vila de funcionários situa-se em torno de 87.700 kWh / mês

2.2.1.5 - Levantamento do consumo médio mensal da Fábrica de Itajubá.

Para o levantamento do consumo médio mensal da Fábrica de Itajubá instalou-se um equipamento na SE abaixadora de Itajubá, no final da linha de transmissão, com a finalidade de obtermos dados de potência, já que os mesmos não podem ser obtidos pelos equipamentos existentes no local.

Para que a instalação do equipamento de medição fosse viável, retirou-se três TC(s) situados na SE elevadora, na Central de Bicas do Meio, responsáveis pela medição da linha de transmissão que une a CA com a CP, sem prejuízo da geração da central.

O equipamento de medição instalado tem a seguinte descrição:

Circuitor AR5. Características técnicas:

Tensão de alimentação: Através de alimentador externo 230 Vca (+10% : -15%)

Frequência: 50 – 60 Hz.

Consumo: 8VA.

Temperatura de trabalho: 0 / 50°C.

Tipo de ligação: Trifásico, ARON.

Nível de isolamento: Classe II – 600V, segundo EN 61010.

Medição de tensão:

Faixa de medição: 20 a 500Vca (entre fases)

Mudança de escala: Automática.

Outras tensões: Através de TP(s).

Frequência: 45 – 65 Hz.

Medição de corrente:

Escala de medição: de acordo com a conexão.

Relações de tensão e corrente: programável.

Unidades de medição: Mudança de escala automática.

Relógio interno com bateria recarregável: Data e hora.

Display: LCD; 160 x 160 pixels.

Saída RS – 232: Saída serial.

Memória interna: de 256 kb ou 1Mb de acordo com modelo.

Classe de precisão:

Corrente: 0.5% de leitura +/- 2 dígitos.

Tensão: 0.5% de leitura +/- 2 dígitos.

Potência ativa: 1.0% de leitura +/- 2 dígitos.

Potência reativa: 1.0% de leitura +/- 2 dígitos.

Precisão dada com as seguintes condições de medida:

Exclusão dos erros dos transformadores de tensão e corrente

Faixa de temperatura: 5 a 45°C.

Fator de potência: 0.5 a 1.

Faixa de medida: entre 5% e 100%.

Este equipamento foi instalado na SE abaixadora da fábrica em Itajubá, na entrada, após a chave de seleção das linhas de transmissão. A conexão utilizada foi trifásica pois neste local haviam TC(s) suficientes para tal e foram deslocados, provisoriamente, três TP(s) da central auxiliar para a SE abaixadora da fábrica exclusivamente com a finalidade de instalação deste equipamento.

A instalação do referido equipamento alcançou sua finalidade através da obtenção de um banco de dados de potência, dos quais foram observados comportamentos distintos da carga conforme as curvas descritas a seguir:

Observa-se características peculiares, conforme apresentado na Fig. 40, no consumo da fábrica em Itajubá por tratar-se de um sistema isolado. Foram levantados três perfis típicos de curva de carga. Um primeiro perfil típico para dias úteis, um segundo perfil para os sábados, onde neste dia há expediente na fábrica das 07:00 hs até as 15:00 hs e, ainda, um terceiro perfil para os domingos onde o consumo diminui de forma acentuada.

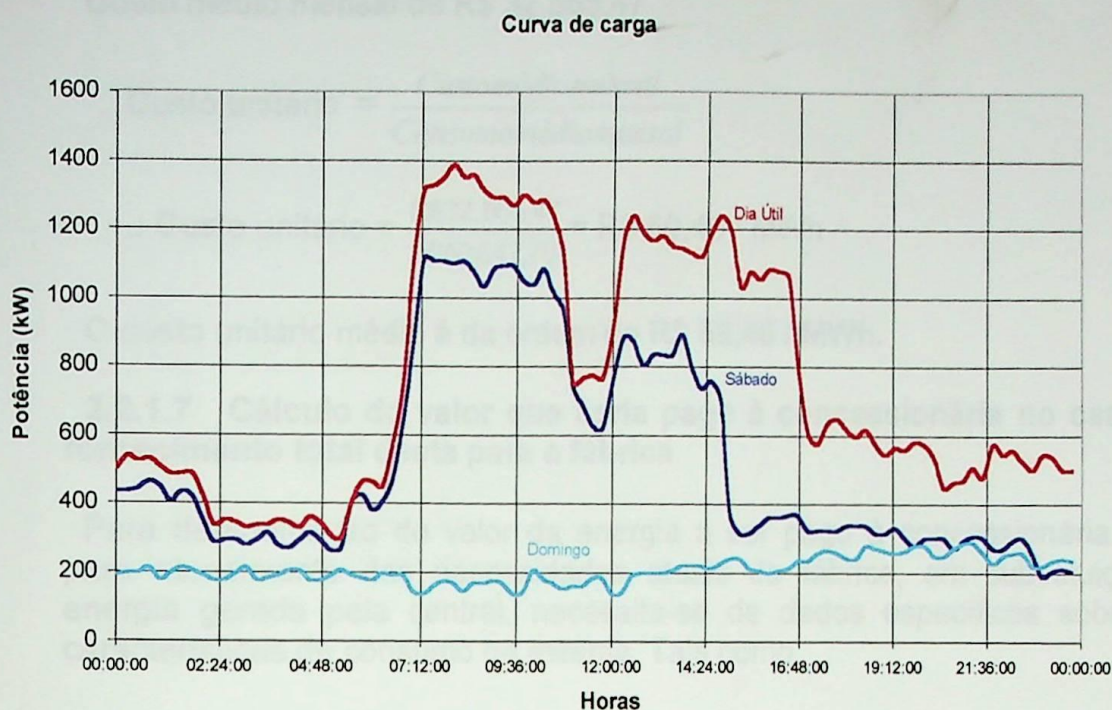


Figura 2.40 – Curvas de carga típicas da fábrica

O equipamento citado permaneceu instalado por um período de um mês, considerado típico pela administração da central e os resultados desta medição, em termos de consumo, estão indicados na Tabela 2.8.

O equipamento foi configurado para realizar medições de 5 em 5 minutos e registrar os valores médios destas medições de quinze em quinze minutos. A análise mensal iniciou-se em 16 de junho às 0:00 hs e terminou em 17 de julho às 00:00 hs. O consumo mensal obtido foi o somatório dos consumos registrados, resultando em 460 MWh.

A partir deste valor podemos calcular todo o montante médio gerado em um mês considerado típico:

Tabela 2.8 – Consumo médio mensal total da Central de Bicas do Meio		
Item	Descrição	Energia (MWh / mês)
01	Itajubá (fábrica, clube etc.)	460,00
02	Consumo interno CA	10,00
03	Consumo interno CP	77,70
Total:		547,70

2.2.1.6 Cálculo do custo médio mensal da energia gerada em Bicas do Meio

Das tabelas de n.^{os} 2.6 e 2.8 retira-se os valores necessários para o cálculo do valor de custo médio mensal do MWh gerado pela Central de Bicas.

O consumo médio mensal é de 547,70 MWh e o valor total do custo médio mensal de toda a central é de R\$ 32.565,47.

Logo, tem-se:

Consumo médio mensal de 547,70 MWh

Custo médio mensal de R\$ 32.565,47

$$\text{Custo unitário} = \frac{\text{Custo médio mensal}}{\text{Consumo médio mensal}}$$

$$\therefore \text{Custo unitário} = \frac{\text{R\$}32.565,47}{\text{MWh}547,70} = \text{R\$ } 59,46 / \text{MWh}$$

O custo unitário médio é da ordem de **R\$ 59,46 / MWh**.

2.2.1.7 Cálculo do valor que seria pago à concessionária no caso de fornecimento total desta para a fábrica

Para determinação do valor da energia a ser pago à concessionária local para atendimento das necessidades atuais da fábrica, em substituição à energia gerada pela central, necessita-se de dados específicos sobre as características de consumo da mesma. Tais como:

- Valor de demanda máxima mensal no horário da ponta estabelecido pela concessionária e fora do mesmo
- Valor do consumo médio mensal no horário de ponta e fora do mesmo
- Valores de demanda e consumo nos horários de ponta e fora de ponta nos períodos seco e úmido respectivamente.

A obtenção de tais valores foi resultado da manipulação dos dados obtidos pela instalação do analisador de rede anteriormente citado juntamente com a importante contribuição dos mapas de controle executados mensalmente pela própria central.

A Tabela 2.9 apresenta os valores encontrados:

Tabela 2.9 – Valores médios mensais							
	Mês			Ponta		Fora da Ponta	
	Normal	Ponta	F. Ponta	Seca	Úmida	Seca	Úmida
Demanda (kW)	1750	716	1750	716	716	1750	1750
Consumo (MWh)	500	35,19	464,81	37,25	32,30	523,90	454,22

O enquadramento da fábrica perante a concessionária, conforme Decreto N.º 62.724, de 17 de Maio de 1968, do extinto DNAEE, seria:

Subgrupo A4 (2,3 kV a 25 kV) que refere-se a consumidores que receberão alimentação em tensões no intervalo de 2,3 a 25 kV.

Para fins de tarifação em setembro de 1999, conforme Resolução N.º 58, de 07 de Abril de 1999, a qual homologa o reajuste das Tarifas de Fornecimento e Suprimento de Energia Elétrica para a COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG, neste enquadramento, há três possibilidades:

a. Tarifa convencional:

Seus valores atuais são:

Para demanda: R\$ 5,64 / kW

Para consumo: R\$ 82,62 / MWh

Neste caso a fábrica teria um gasto médio mensal de:

$$C(\text{R}\$) = 50\text{MWh} \cdot \text{R}\$82,62 / \text{MWh} + 1750\text{kW} \cdot \text{R}\$5,64 / \text{kW}$$

$$\mathbf{C(\text{R}\$) = \text{R}\$ 51.180,00}$$

b. Tarifa horo-sazonal azul:

Seus valores atuais são:

Para demanda divide-se em:

Demanda na ponta: R\$ 14,91 / kW

Demanda fora da ponta: R\$ 4,97 / kW

Para consumo divide-se em:

Consumo na ponta seca: R\$ 97,79 / MWh

Consumo na ponta úmida: R\$ 90,51 / MWh

Consumo fora de ponta seca: R\$ 46,50 / MWh

Consumo fora de ponta úmida: R\$ 41,09 / MWh

Neste caso a fábrica teria um gasto médio mensal de:

$$C(\text{R}\$) = \text{R}\$14,91 / \text{kW} \cdot 716\text{kW} + \text{R}\$4,97 / \text{kW} \cdot 1750\text{kW} + \\ \text{R}\$97,79 / \text{MWh} \cdot 37,25\text{MWh} + \text{R}\$90,51 / \text{MWh} \cdot 32,30\text{MWh} + \text{R}\$46,50 / \text{MWh} \cdot \\ 523,9\text{MWh} + \text{R}\$41,09 / \text{MWh} \cdot 454,2\text{MWh}$$

$$\mathbf{C(\text{R}\$) = \text{R}\$ 68.964,26}$$

c. Tarifa Horo-sazonal verde

Seus valores atuais são:

Para demanda: R\$ 4,97 / kW

Para consumo divide-se em:

Consumo na ponta seca: R\$ 446,56 / MWh

Consumo na ponta úmida: R\$ 435,30 / MWh

Consumo fora de ponta seca: R\$ 46,50 / MWh

Consumo fora de ponta úmida: R\$ 41,09 / MWh

Neste caso a fábrica teria um gasto médio mensal de:

$$C(\text{R}\$) = \text{R}\$4,97 / \text{kW} \cdot 1750\text{kW} + \text{R}\$446,56 / \text{MWh} \cdot 37,25\text{MWh} + \text{R}\$435,30 / \text{MWh} \cdot \\ 32,30\text{MWh} + \text{R}\$46,50 / \text{MWh} \cdot 523,9\text{MWh} + \text{R}\$41,09 / \text{MWh} \cdot 454,2\text{MWh}$$

$$\mathbf{C(\text{R}\$) = \text{R}\$ 82.417,10}$$

Observação: O perfil de carga atual da fábrica não se aplica às tarifas horosazonais. Para tal seria necessário modificar o cotidiano da fábrica.

2.3 Tabela comparativa

A tabela 2.10 resume a comparação de custos médios mensais atuais.

Tabela 2.10 – Comparação de custos		
Energia	Descrição	Custo médio R\$
Central Hidrelétrica	Custo médio mensal	32.565,47
CEMIG (Concessionária)	Tarf. Convencional	51.180,00
	Tarf. Horo-Saz. Azul	68.964,26
	Tarf. Horo-Saz. Verde	82.417,10

2.4 - Aspectos institucionais e legais

2.4.1 – Principais características técnicas da central, para fins de enquadramento legal quanto ao tipo

A potência instalada é ilustrada na Tabela 2.11.

Tabela 2.11 – Potência instalada na Central de Bicas do Meio			
CA	G	Turbina (Tipo)	GG (kW)
CP	01	Francis Dupla	560
	01	Francis Simples	700
	02	Francis Simples	700
	03	Francis Simples	340
	04	Francis Simples	340
	05	Francis Simples	700
	06	Francis Simples	132
Total:			3472

O maior reservatório possui capacidade de 2.200.000 m³, com uma área inundada de aproximadamente 0.5 km². Este reservatório existe desde 1957 e encontra-se hoje completamente inserido ao meio ambiente local, o que pode ser observado pelas Fig. 2.41 e 2.42, que apresentam o reservatório na sua fase de construção com a vegetação ao fundo na forma de pastagem para gado e a segunda que apresenta o reservatório na década de 60 com a vegetação ao fundo já em transformação. Atualmente já existe novamente a mata nativa da Região, com grandes árvores do tipo araucárias, ipês, etc.

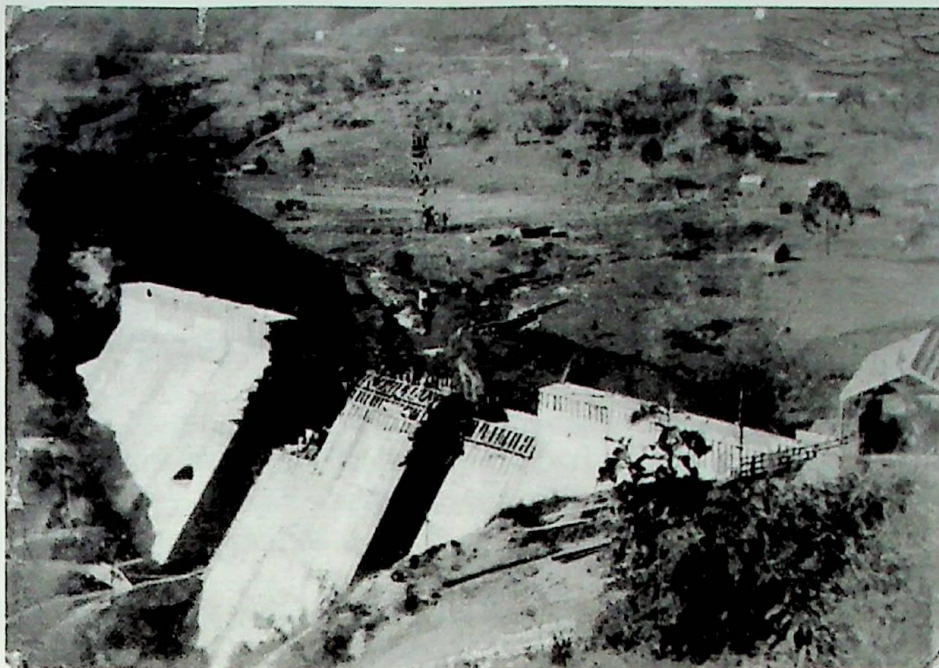


Figura 2.41 – Construção da Barragem em 1955



Figura 2.42 – Barragem concluída na década de 60

De acordo com a Resolução N^o 394, de 04 de Dezembro de 1998, a qual estabelece os critérios para o enquadramento de empreendimentos hidrelétricos na condição de pequenas centrais hidrelétricas; presente no anexo 3 deste trabalho, a Central de Bicas do Meio enquadra-se como uma Pequena Central Hidrelétrica, pois apresenta características que se encaixam perfeitamente para tal.

2.4.2 – Principais características para enquadramento legal

A Central de Bicas do Meio foi construída e permaneceu em operação desde 1932 quando ainda não havia legislação específica para tal empreendimento.

A empresa proprietária da Central de Bicas do Meio atualmente consome toda a sua geração e possui linhas de transmissão próprias.

Não há comercialização da energia gerada atualmente.

De acordo com o Decreto n.º 2.003, de 10 de setembro de 1996 que "regulamenta a produção de energia elétrica por Produtor independente e por Autoprodutor e dá outras providências"; presente no anexo 4 deste trabalho, a Central de Bicas do Meio enquadra-se como autoprodutor de energia elétrica, devido a suas características operativas.

2.4.3 – Situação atual

A central encontra-se atualmente operando sem a devida autorização. Após a visita de um fiscal do órgão regulador (ANEEL) em maio deste ano, esta condição está sendo revista e um processo de regularização encontra-se atualmente em andamento.

2.5 – Análise Técnica e Econômica

Tendo por base os itens 2.1, 2.3.2 e 2.3.3, chega-se às seguintes conclusões:

2.5.1 – Em relação aos equipamentos existentes

Os equipamentos em geral, apesar de estarem funcionando, na sua maioria, estão completamente depreciados e possuem deficiência em sua operação devido à falta de planejamento de manutenção, tempo de uso e também tecnologia ultrapassada;

Não podem fornecer a confiabilidade desejada.

Justificam hoje a existência de uma alimentação, por parte da concessionária, a algumas cargas específicas da fábrica, as quais necessitam de uma energia com maior padrão de qualidade.

2.5.2 – Em relação aos custos atuais

Analisando a tabela 2.10 concluí-se que, mesmo sem nenhum investimento de modernização, a central ainda se mostra viável economicamente quando comparada aos valores que seriam cobrados pela concessionária.

Uma análise mais profunda no entanto, que é realizada no próximo capítulo, apresenta a necessidade de se realizar investimentos na central por questões óbvias, quanto ao caráter técnico presente e suas necessidades futuras.

Capítulo 3

Planejamento futuro

3.1 Roteiro geral

Com a finalidade de generalizar os procedimentos aqui adotados, construiu-se um roteiro, que descreve todas as passagens julgadas necessárias, para a construção de um diagnóstico correto a cerca do planejamento de reabilitação em PCHs.

Roteiro geral:

1 – Levantamento histórico

1.1 Causas e origens

1.2 Plantas

1.3 Projeto inicial

2 – Alterações ocorridas

2.1 Motivos

2.2 Conseqüências

3 – Situação atual

3.1 Análise técnica

3.1.1 Descrição detalhada de seus componentes obedecendo uma seqüência lógica (de montante para jusante, por exemplo)

3.1.2 Levantamento dos principais defeitos

3.1.3 Conclusão (análise dos componentes em relação à sua vida útil, rendimentos apresentados, disponibilidade, etc.)

3.2 Análise econômica

3.2.1 Custos atuais (material, manutenção, pessoal, etc)

3.2.2 Conclusão parcial (comparação com custos de outras fontes de energia)

3.3 Análise legal

3.3.1 Enquadramento quanto ao tipo

3.3.2 Enquadramento quanto à produção

3.3.3 Conclusão (necessidade, ou não, de processo de regularização)

4 - Planejamento

4.1 Estudos hidrológicos

4.1.1 Obtenção de valores confiáveis de descarga (vazões)

4.1.2 Possibilidade de regularização de vazões

4.1.3 Existência de excedente hídrico

4.2 Análise técnica

4.2.1 Possibilidade de inclusão de novos grupos geradores

4.2.2 Determinação de fatores limitantes

4.2.3 Substituição ou recuperação de equipamentos

4.2.4 Reabilitação ou repotenciação de equipamentos

- 4.2.5 *Automação parcial ou total da central*
- 4.2.6 *Valor do investimento necessário (orçamento estimativo)*
- 4.3 *Análise econômica*
 - 4.3.1 *Tempo de retorno do investimento*
 - 4.3.2 *Comparação com outros investimentos do mercado financeiro, através da comparação de índices econômicos (TIR, FRC, etc.)*
- 5 *Conclusão final*
 - 5.1 *Análise de sensibilidade em relação ao investimento*
 - 5.2 *Vantagens e desvantagens apresentadas*
 - 5.3 *Viabilidade, ou não, do investimento*

3.2 Planejamento da geração e do mercado

Em obediência ao roteiro estabelecido, realizou-se a fase de obtenção de valores confiáveis de descarga e suas análises conseqüentes. Demonstrada a seguir

3.2.1 Estudos hidrológicos

Visando a determinação do regime dos cursos d'água que formam o aproveitamento hidrelétrico em questão faz-se um sucinto comentário, a seguir, sobre cada um dos principais tributários do mesmo.

Ribeirão de Bicas: O ribeirão de Bicas, que no seu curso superior é designado por ribeirão do Tatu, tem suas cabeceiras na Serra da Mantiqueira, em altitude de cerca de 1800 m (proximidades do Alto da Bocaina, Alto da Bela Vista, Alto da Vista Alegre e Pico do Cabrito) e é afluente da margem direita do Rio Sapucaí, no qual se lança depois de um curso aproximado de 27 km e com uma bacia hidrográfica de 155 km². A área de drenagem de sua bacia hidrográfica no ponto do aproveitamento é de 105 km².

Ribeirão Comprido: É um pequeno tributário da margem esquerda do ribeirão de Bicas, desaguando neste último, depois de um pequeno percurso, no reservatório de regularização da central. Sua bacia hidrográfica total é de 11,5 km².

Ribeirão do Quilombo: Nasce no Alto do Alambique e depois de pequeno percurso deságua no ribeirão de Bicas, pela margem esquerda. Sua bacia hidrográfica total é de 22,2 km². A área de sua bacia hidrográfica até o ponto do aproveitamento é de 22 km².

As descrições acima são uma transcrição do Boletim Fluviométrico N.º 08 "Dados Fluviométricos na Bacia do Rio Grande" (1941 – 1945), publicado pelo Ministério da Agricultura - Departamento Nacional da Produção Mineral – Divisão das Águas, por Mário da Costa Mendes, Chefe do 2º Distrito, e por Geraldo Teixeira de Souza, Encarregado da Secção Técnica, no Rio de Janeiro em 1950.

3.2.2 Metodologia utilizada

Para o levantamento da área de drenagem do local da central foi utilizada a Carta do Departamento de Cartografia do IBGE, Folha SF – 23 – Y – B – VI – 1, Cidade de Delfim Moreira.

Para o levantamento de dados hidrológicos foi consultado o órgão regulador, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, em seu Inventário Hidrológico, para obtenção do histórico de vazões no local do aproveitamento. Desta forma, foi constatado o fato de que, próximo ao local do aproveitamento, haviam três estações, uma em cada um de seus tributários, em pontos próximos ao reservatório de regularização, sempre a montante do mesmo. Infelizmente, estas estações, conforme pode ser visto na próxima tabela, estiveram em operação por apenas poucos anos, além do fato de seus dados apresentarem várias discontinuidades, de tal forma que inviabilizaram seu uso pois levariam a resultados de pouca confiabilidade. O órgão regulador, após consultado quanto a este fato, informou que ainda não dispunha de dados consistidos de toda a Sub-bacia 61 e, em especial, desta região.

A escassez de dados do local exigiu a decisão de se determinar um histórico de vazões através de um estudo de transposição a partir de outras estações próximas que possuíssem dados mais atuais e que se encaixassem nos critérios exigidos para tal.

Para a transposição de vazões deste trabalho foram observados os seguintes critérios:

- . Distância máxima adotada das estações em relação ao local de aproveitamento 100 km.
- . Estações com áreas de drenagem não superiores a 8 vezes a área da estação desejada.
- . Mesma cobertura vegetal (de fácil observação devido ao fato de toda a região situar-se na serra da Mantiqueira e em distâncias relativamente pequenas)
- . Mesma distribuição climática e altitudes em torno de 800 m
- . As estações escolhidas possuírem áreas de drenagem tangentes à área de drenagem do aproveitamento e algumas estarem a jusante da mesma.

A primeira consulta as estações existentes próximo ao local do reservatório da Central resultaram na seguinte relação apresentada na Tabela 3.1:

Tabela 3.1 – Estações constantes no Inventário no Município de Delfim Moreira				
Código	Rio	Nome da Estação	Início de Operação	Fim de Operação
61255000	Ribeirão São Bernardo	Vila Maria	1941-01-01	1965-12-01
61261000	Ribeirão Comprido	Usina de Bicas	1942-01-01	1965-12-01
61262000	Ribeirão de Bicas	Usina de Bicas	1933-12-01	1965-12-01
61264000	Ribeirão do Quilombo	Usina de Bicas	1941-01-01	1963-12-01
61265000	Ribeirão do Machado	Fazenda Córrego Alegre	1941-01-01	1965-01-01
61266000	Ribeirão do Ataque	Fazenda Córrego Alegre	1941-01-01	1965-01-01
61267000	Ribeirão do Taboão	Delfim Moreira	1941-01-01	
61268000	Ribeirão do Rosário	Delfim Moreira	1941-01-01	1965-12-01
61280000	Rio Lourenço Velho	Bairro Sta. Cruz	1967-06-01	

Como pode ser facilmente observado a maioria das estações encontra-se fora de operação e, portanto, elas são insuficientes para o objetivo desejado. Após a constatação deste fato, recorreu-se, novamente, ao Inventário e, em função do mesmo, de Cartas do IBGE e, seguindo os critérios adotados anteriormente, obteve-se uma relação de estações para estudo de transposição.

Após a escolha de novas estações, respeitando-se os critérios de escolha adotados, seguiu-se para a etapa seguinte, cuja execução exigia um novo contato com a ANEEL, para que se pudesse acessar os dados das estações escolhidas. Estabelecido o contato com o referido órgão, este prontamente disponibilizou os dados requeridos em forma de arquivos e um programa computacional denominado MSDHD, cuja função é transformar tais arquivos em um banco de dados para a continuação do estudo.

Os arquivos disponibilizados possuem característica própria e extensões específicas para aplicação ao referido programa (MSDHD).

Após a instalação do programa, utilizou-se como variáveis de entrada os arquivos requeridos. Feito isto, o programa gerou arquivos texto com as seguintes características:

Arquivos com extensão .rsm geram arquivos texto contendo um resumo das medições de descarga líquida nos locais correspondentes.

Arquivos com extensão .flu geram arquivos texto contendo o histórico de medições em cm nas réguas instaladas nos locais das estações correspondentes. O arquivo gerado pode conter medições diárias, médias mensais ou anuais, conforme a opção desejada e o objetivo do estudo.

Arquivos com extensão .dsg não foram utilizados.

Os arquivos .rsm, com seu resumo de medições de descarga líquida, formaram uma tabela para construção das curvas chave de cada uma das referidas estações. As curvas chave, construídas através destas tabelas, foram analisadas uma a uma e a primeira filtragem das estações escolhidas foi realizada através da observação da concentração dos pontos nos gráficos criados a partir das citadas tabelas e, de acordo com a bibliografia anexa, foi inserida uma linha de tendência polinomial de segunda ordem com o objetivo de se equacionar esta distribuição. A primeira seleção foi realizada com o seguinte critério: as curvas chave que apresentaram R^2 (fator matemático que revela o grau de aproximação da modelagem matemática realizada) inferior a 0,8 foram desconsideradas para o cálculo de transposição.

Os arquivos .flu com as leituras realizadas nas réguas geram arquivos texto contendo valores em cm de cota. Aplicando a equação de segunda ordem, obtida através do gráfico da curva chave, nos valores em cm de tais arquivos obteve-se o histórico de vazões de cada uma das estações escolhidas após a primeira seleção.

De posse dos históricos fez-se a análise de consistência dos dados a partir de correlações entre as estações. A geração de gráficos de vazão das estações entre si teve por objetivo a escolha da estação base para a transposição. Para tal escolha utilizou-se o seguinte critério: - sobre cada gráfico de correlação gerado foi inserida uma linha de tendência polinomial de primeira ordem com interseção na origem (reta passando pela origem). Das equações destas retas foram comparados os valores de R^2 e, aquela estação que apresentou o maior valor médio de R^2 foi escolhida como estação base.

Os fatores de transposição foram obtidos através dos coeficientes angulares das retas de correlação. Tais fatores são os próprios coeficientes. O passo seguinte foi o cálculo dos fatores de área em relação a estação base escolhida.

O conjunto de fatores de transposição e fatores de área formaram uma tabela e esta deu origem a um gráfico FT x FA (fator de transposição por fator de área). Sobre o gráfico gerado aplicou-se uma linha de tendência polinomial de segunda ordem com o objetivo de se encontrar a melhor modelagem matemática para a relação existente entre os fatores de transposição de cada estação, conforme o tamanho de suas áreas de drenagem.

Seguindo o mesmo princípio, calculou-se o fator de área para o local desejado e este valor foi inserido a equação gerada pela linha de tendência do gráfico FT x FA e, finalmente, atingiu-se o fator de transposição desejado.

Antes da transposição propriamente dita, foi necessário completar algumas medições ausentes no histórico da estação base. Para que tal objetivo fosse alcançado, organizou-se todas as estações resultantes da primeira seleção em ordem decrescente de valores médios de R^2 , os quais foram utilizados para a escolha da estação base. Desta forma os valores ausentes no histórico de vazões da estação base foram obtidos pela transposição de valores das outras estações, no mesmo período é obvio, com a melhor qualidade possível.

Com o histórico de vazões da estação base denso e com o fator de transposição já calculado, gerou-se o histórico de vazões desejado.

3.2.3 Resultados obtidos

As estações escolhidas para transposição são apresentadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Estações Hidrométricas escolhidas para transposição								
Nº	Código	Nome da Estação	Curso D'água	Dreng Km ²	Lat.	Long.	Início de operação	Fim de operação
1	61250000	Fazenda da Guarda	Rio Sapucaí	108,00	22 41 00	45 29 00	09/1934	
2	61255000	Vila Maria	Ribeirão São Bernardo	28,20	22 36 00	45 23 00	01/1941	12/1965
3	61261000	Usina Bicas	Rib. Comprido	11,00	22 33 00	45 21 00	01/1942	12/1965
4	61262000	Usina Bicas	Rio de Bicas	105,00	22 32 00	45 20 00	12/1933	12/1965
5	61264000	Usina Bicas	Rib. Quilombo	22,00	22 31 00	45 22 00	01/1941	12/1963
6	61265000	Fazenda Córrego Alegre	Ribeirão do Machado	27,09	22 32 00	45 27 00	01/1941	12/1965
7	61266000	Fazenda Córrego Alegre	Ribeirão do Ataque	12,50	22 32 00	45 27 00	01/1941	12/1965
8	61267000	Delfim Moreira	Rib. do Taboão	76,00	22 31 00	45 17 00	01/1941	
9	61269000	Fazenda Água Limpa	Rio Santo Antônio	174,00	22 28 00	45 27 00	01/1941	12/1965
10	61270000	Fazenda Água Limpa	Ribeirão do Salto	37,00	22 28 00	45 17 00	01/1941	12/1965
11	61280000	Bairro Sta. Cruz	Rio Lourenço Velho	270,00	22 24 00	45 10 00	06/1967	
12	61285000	São João de Itajubá	Rio Lourenço Velho	556,00	22 23 00	45 27 00	09/1935	
13	61295000	Brazópolis	Rib. Vargem Grande	158,00	22 28 00	45 38 00	04/1937	
14	61320000	São Bento do Sapucaí	Rio Sapucaí Mirim	469,00	22 41 00	45 44 00	04/1937	
16	61343000	Bairro do Analdino	Rio Capivari	221,00	22 33 00	45 52 00	07/1941	
17	61350000	Conceição dos Ouros	Rio Sapucaí Mirim	850,00	22 25 00	45 47 00	09/1934	
18	61360000	Cambuí	Rio Itaim	117,00	22 37 00	46 04 00	06/1965	

As curvas chave geradas são apresentadas em gráficos presentes nas Figs. de 3.1 a 3.16.

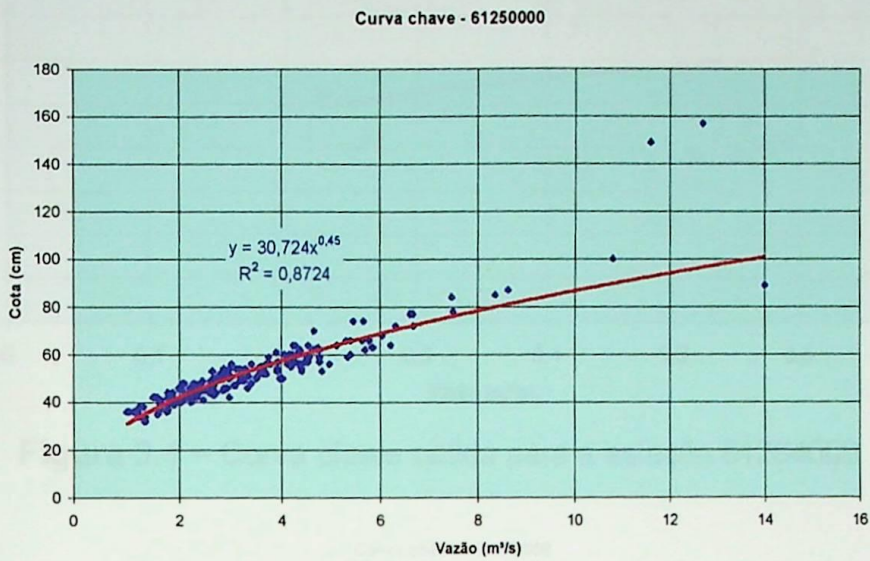


Figura 3.1 – Curva chave obtida para estação 61250000

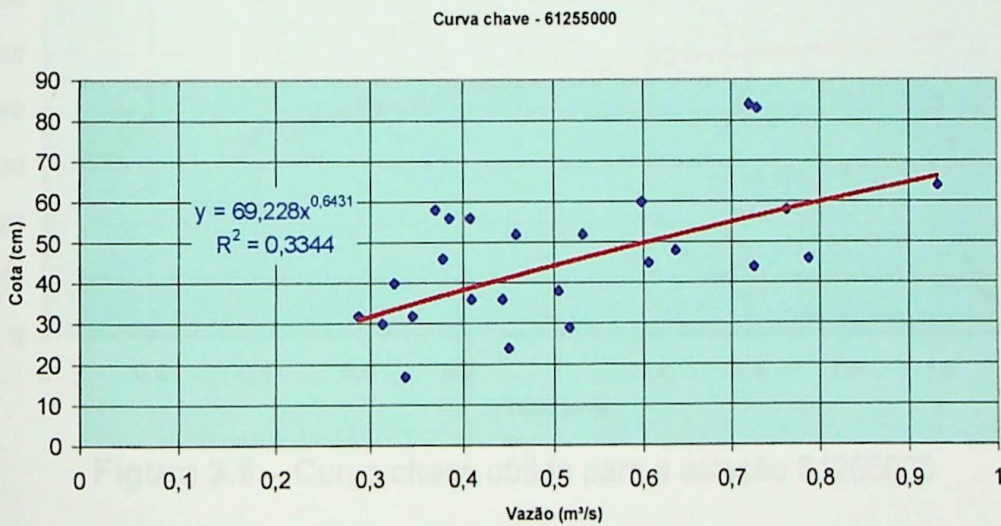


Figura 3.2 – Curva chave obtida para estação 61255000

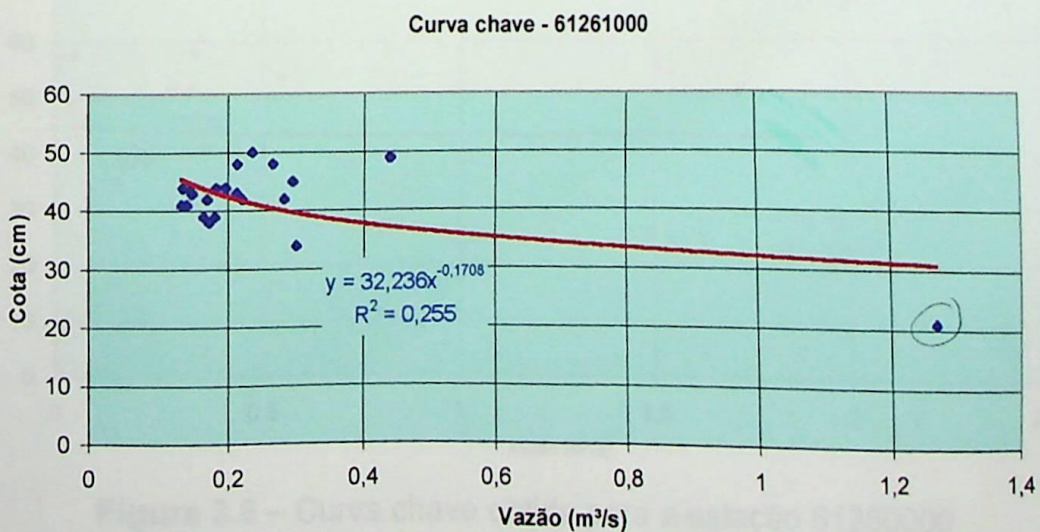


Figura 3.3 – Curva chave para estação 61261000

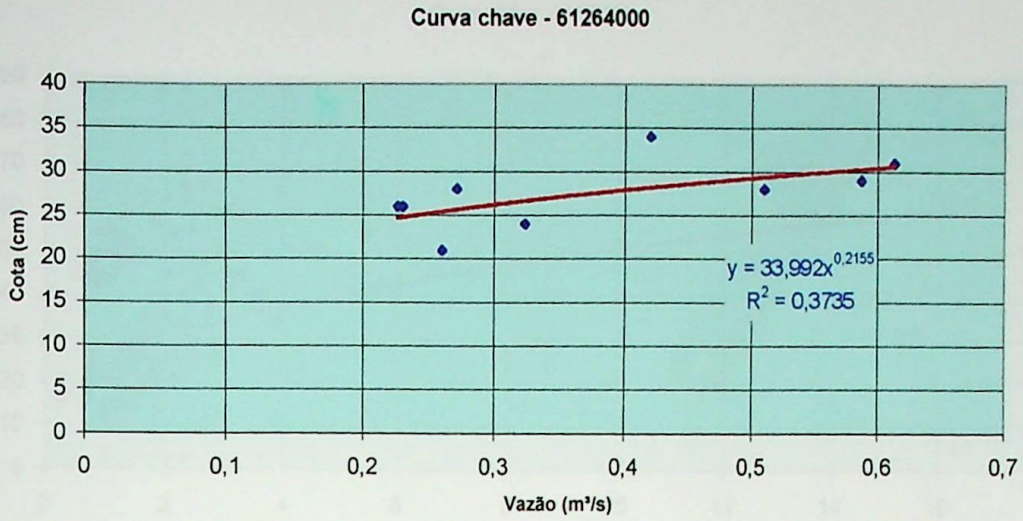


Figura 3.4 – Curva chave obtida para a estação 61264000

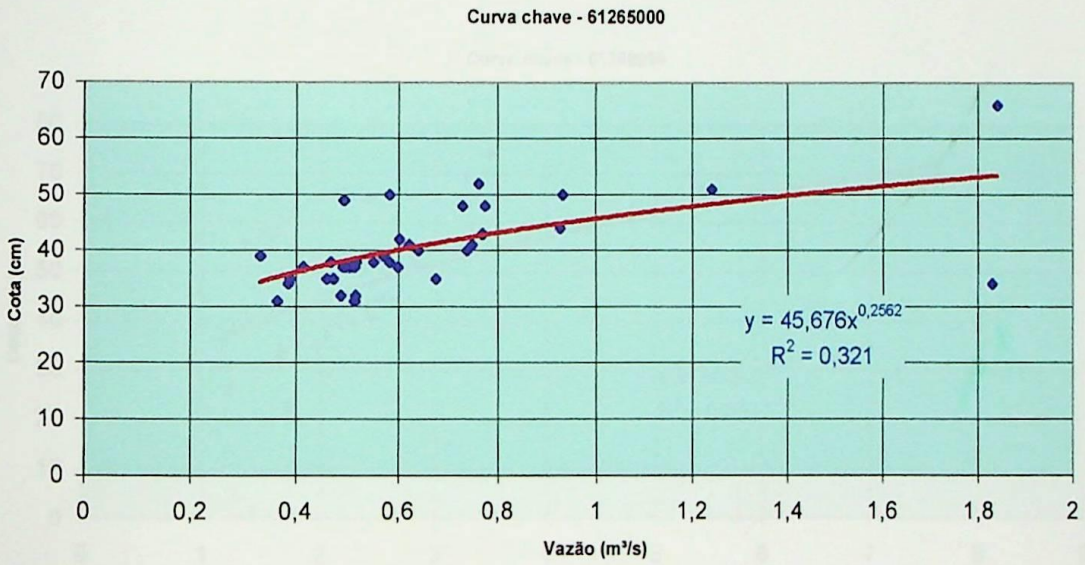


Figura 3.5 – Curva chave obtida para a estação 61265000

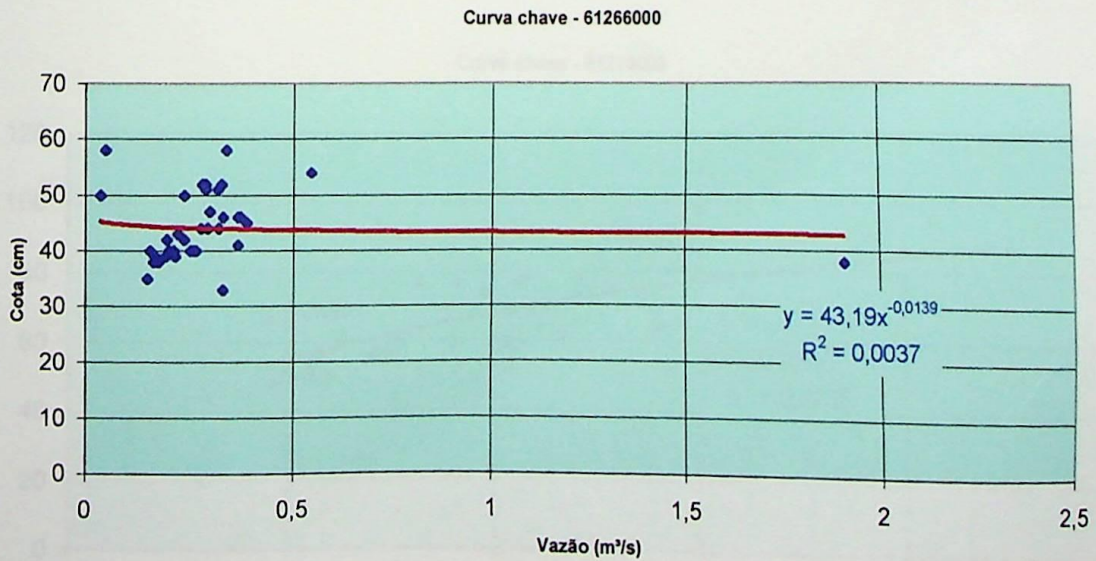


Figura 3.6 – Curva chave obtida para a estação 612660000

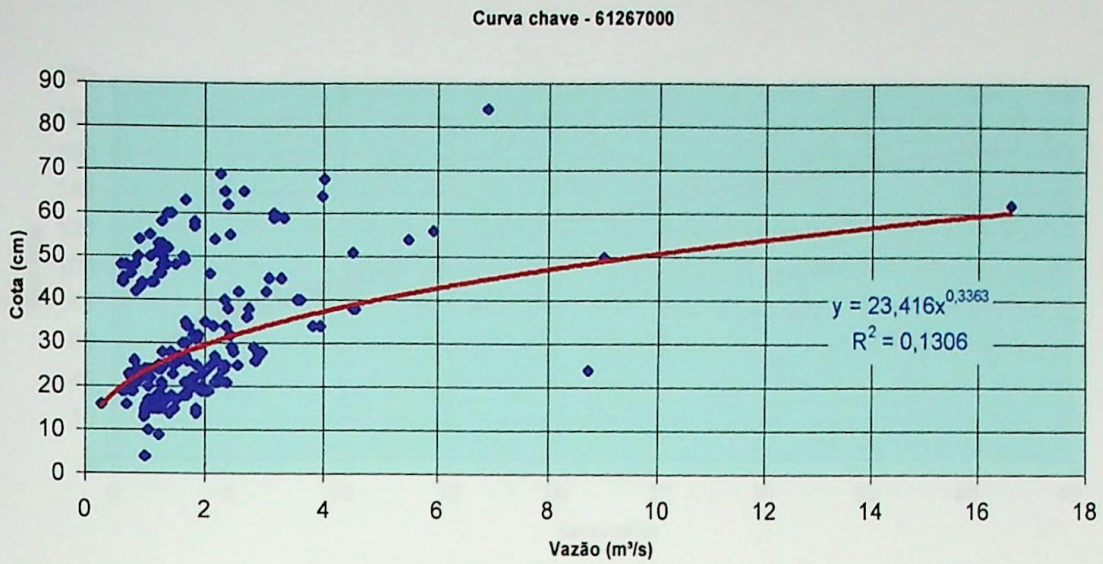


Figura 3.7 – Curva chave obtida para a estação 61267000

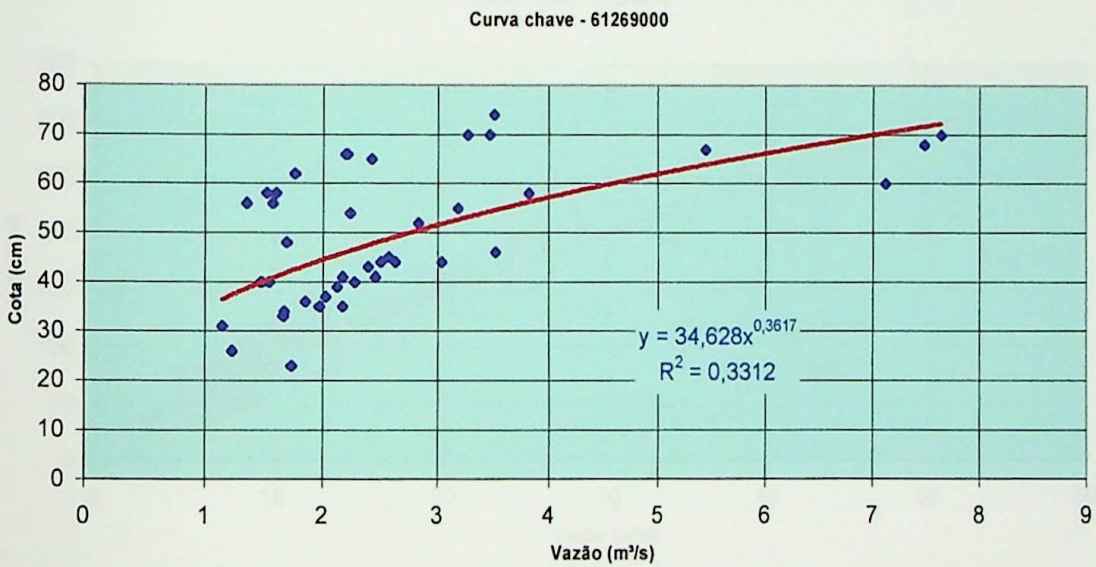


Figura 3.8 – Curva chave obtida para a estação 61269000

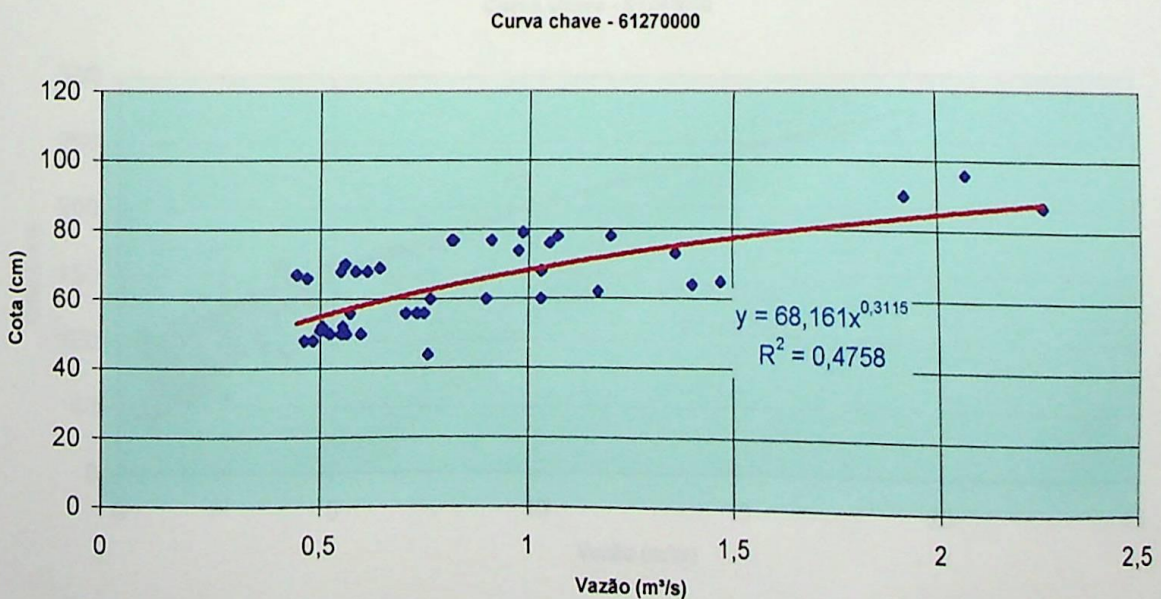


Figura 3.9 – Curva chave obtida para a estação 61270000

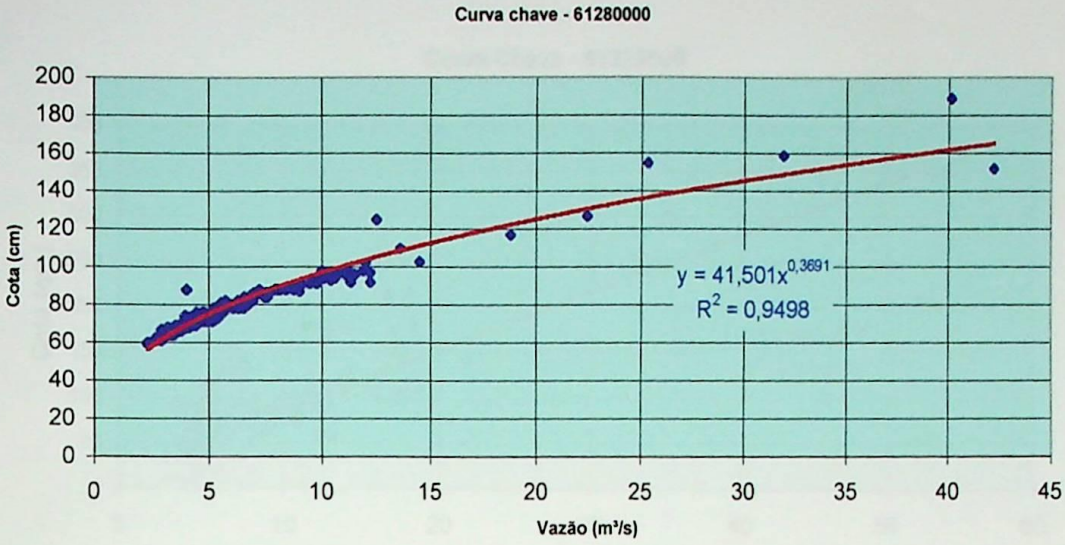


Figura 3.10 – Curva chave obtida para a estação 61280000

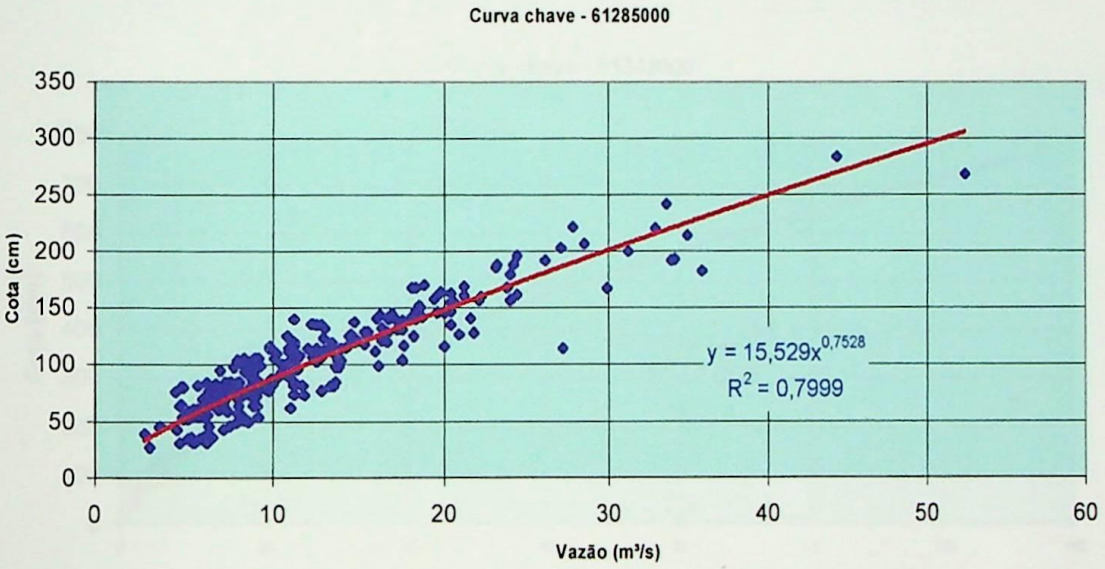


Figura 3.11 – Curva chave obtida para a estação 61285000

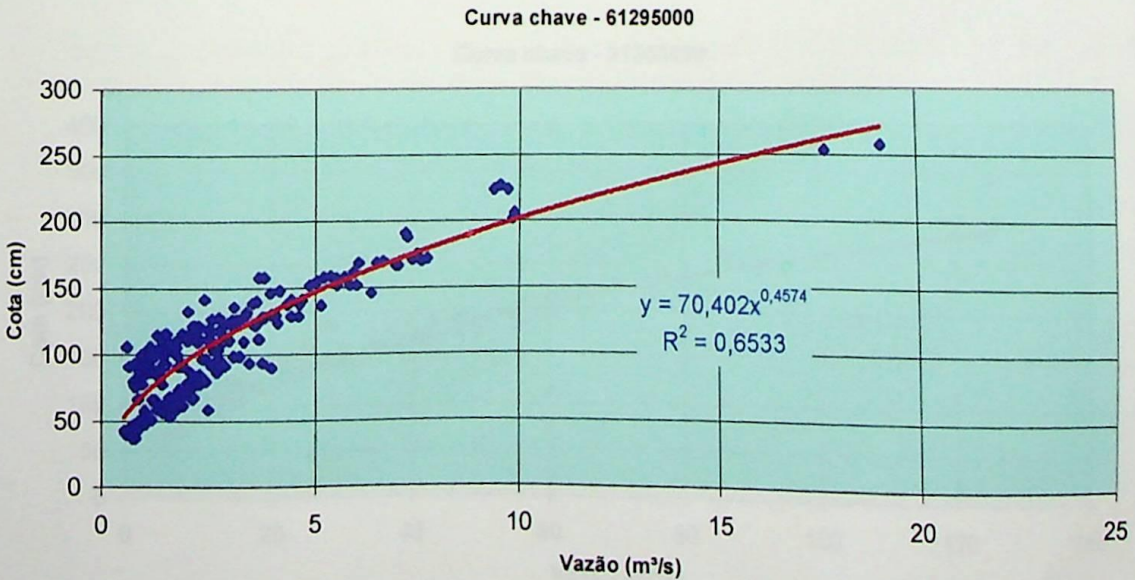


Figura 3.12 – Curva chave obtida para a estação 61295000

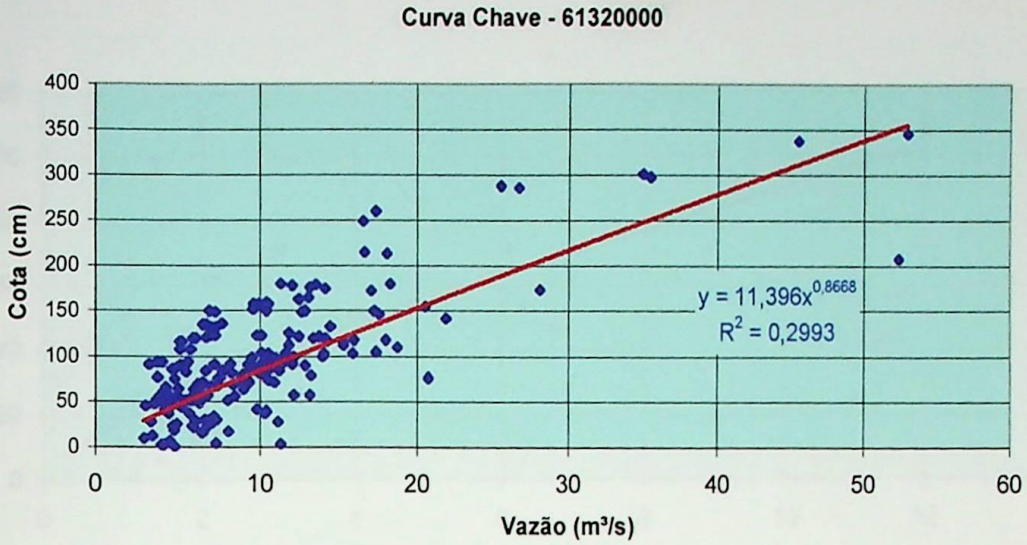


Figura 3.13 – Curva chave para a estação 61320000

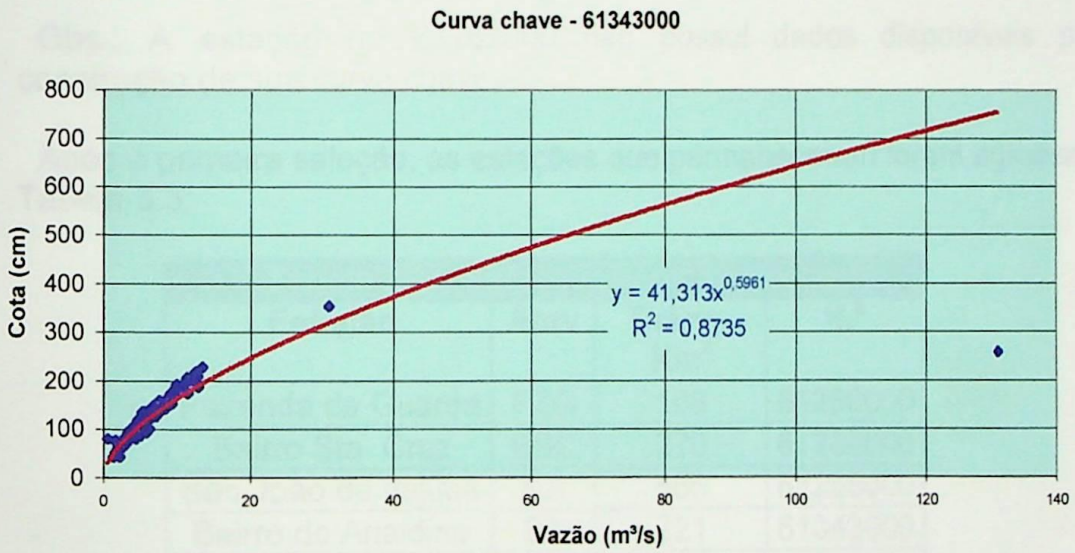


Figura 3.14 – Curva chave obtida para a estação 61343000

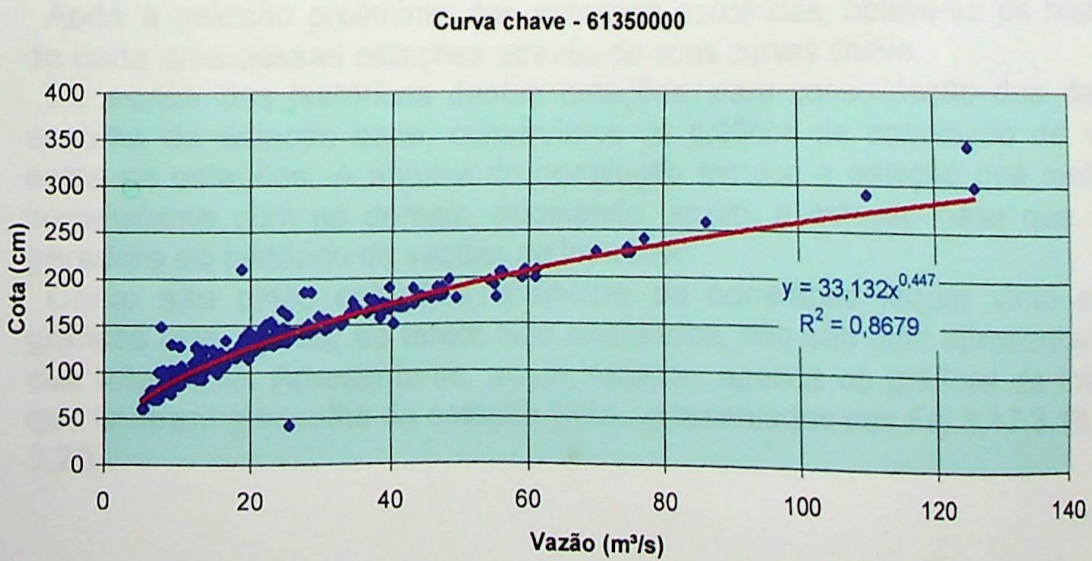


Figura 3.15 – Curva chave obtida para a estação 61350000

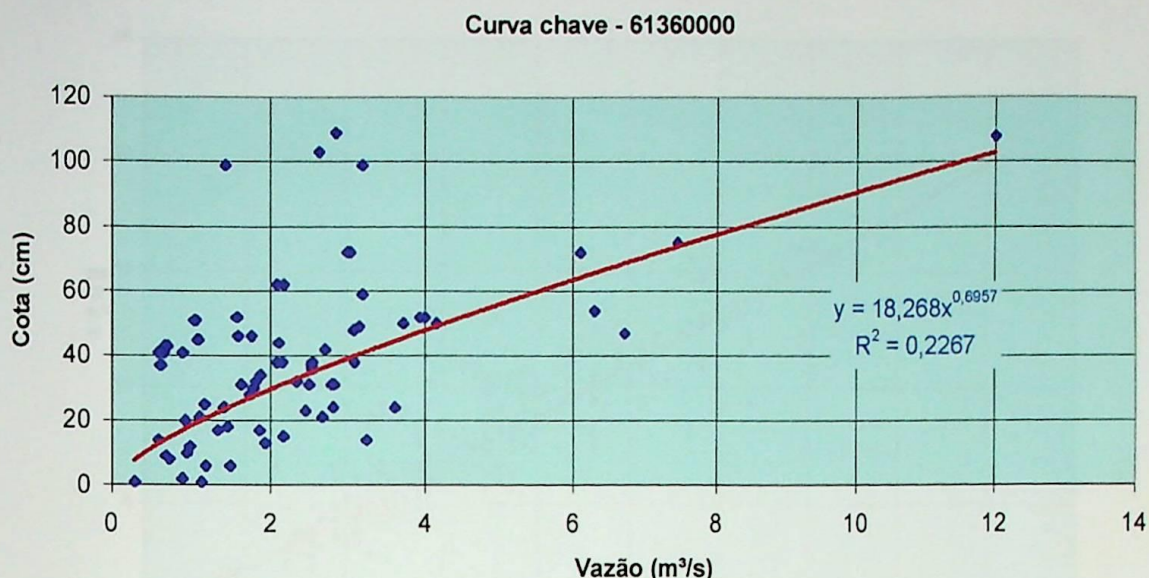


Figura 3.16 – Curva chave obtida para a estação 61360000

Obs.: A estação n.º 61262000 não possui dados disponíveis para a construção de sua curva chave.

Após a primeira seleção, as estações que permaneceram foram agrupadas na Tabela 3.3:

Tabela 3.3 – Estações após a seleção			
Estação	Abrv	Dreng. Km ²	N.º
Fazenda da Guarda	FZG	108	61250000
Bairro Sta. Cruz	BSC	270	61280000
São João de Itajubá	SJI	556	61285000
Bairro do Analdino	BA	221	61343000
Conceição dos Ouros	CDO	850	61350000

Após a seleção preliminar das estações escolhidas, obteve-se os históricos de cada uma dessas estações através de suas curvas chave.

De posse dos históricos destas estações, para consolidação dos dados e escolha da estação base, construímos os gráficos de correlação de vazões entre as estações. A análise de correlação fornece a estação que melhor se correlaciona com as demais, originando, assim, a estação base que será a geradora do histórico de vazões de interesse.

Como são cinco estações, a análise de correlação requer vinte e cinco gráficos que, apesar de terem sido analisados, não são aqui apresentados em sua totalidade. Apresenta-se, neste trabalho, apenas os gráficos de interesse que levaram a escolha da estação base, apresentados nas Fig.3.17,3.18,3.19 e 3.20.

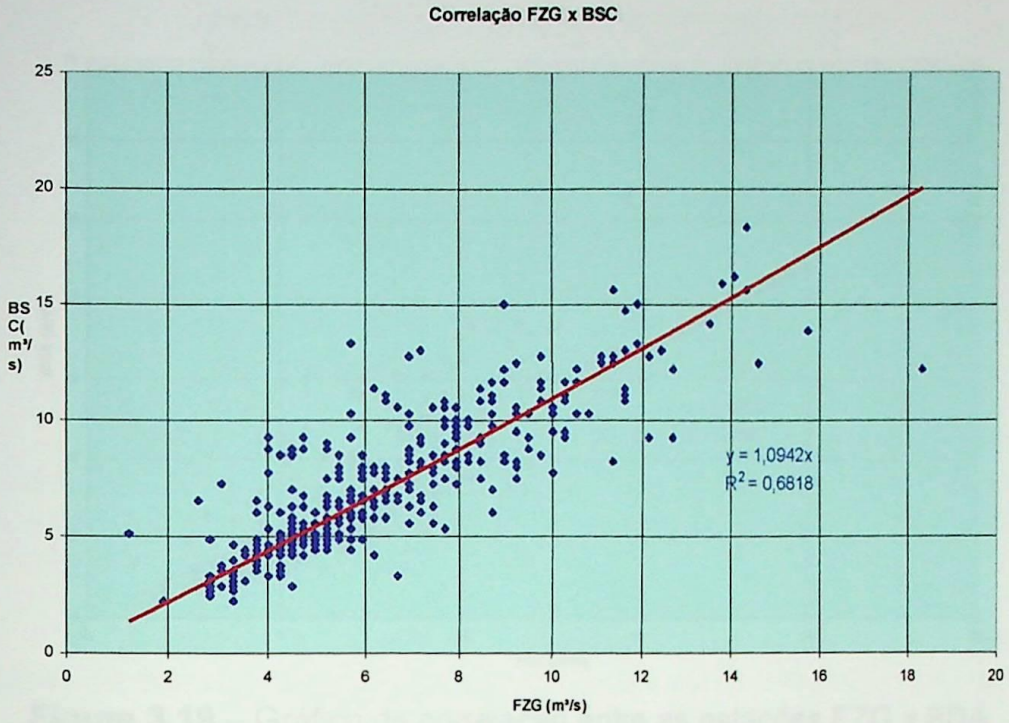


Figura 3.17 – Gráfico de correlação entre as estações FZG x BSC

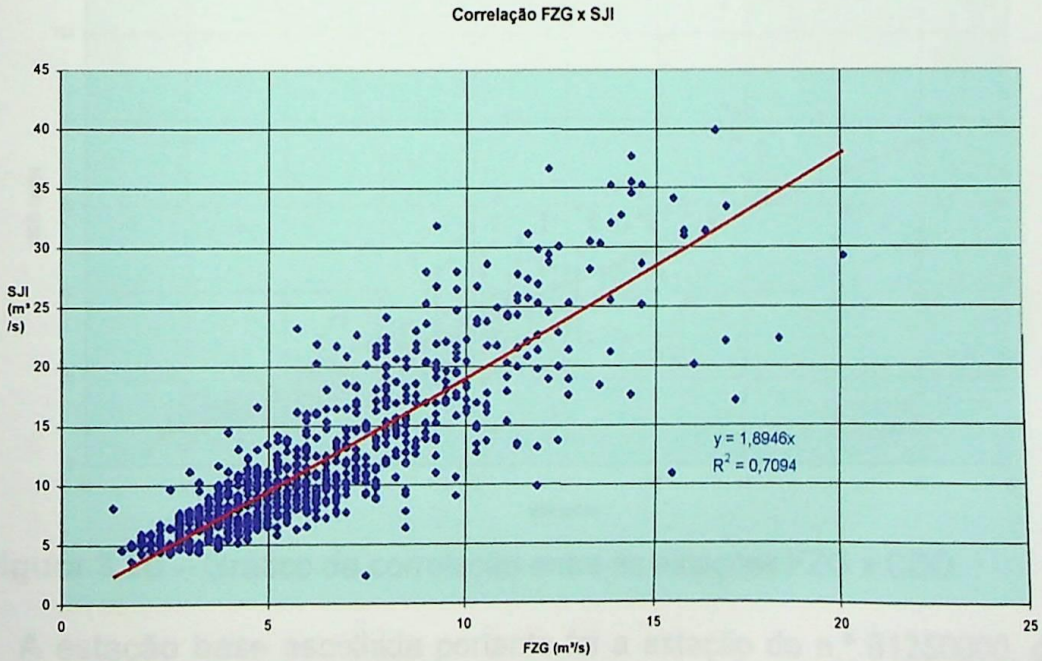


Figura 3.18 – Gráfico de correlação entre as estações FZG x SJI

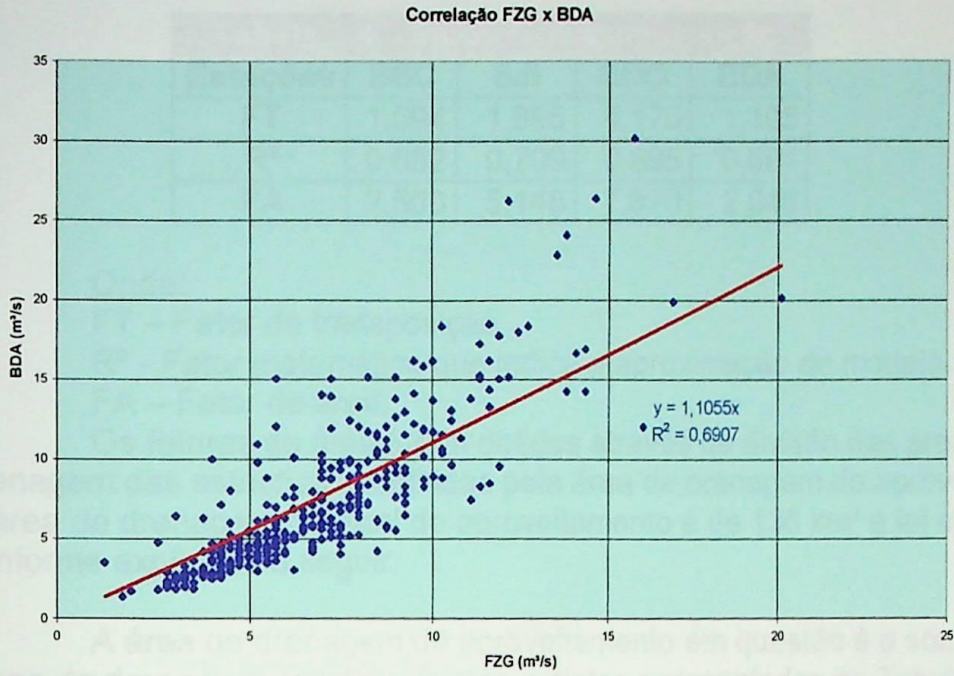


Figura 3.19 – Gráfico de correlação entre as estações FZG x BDA

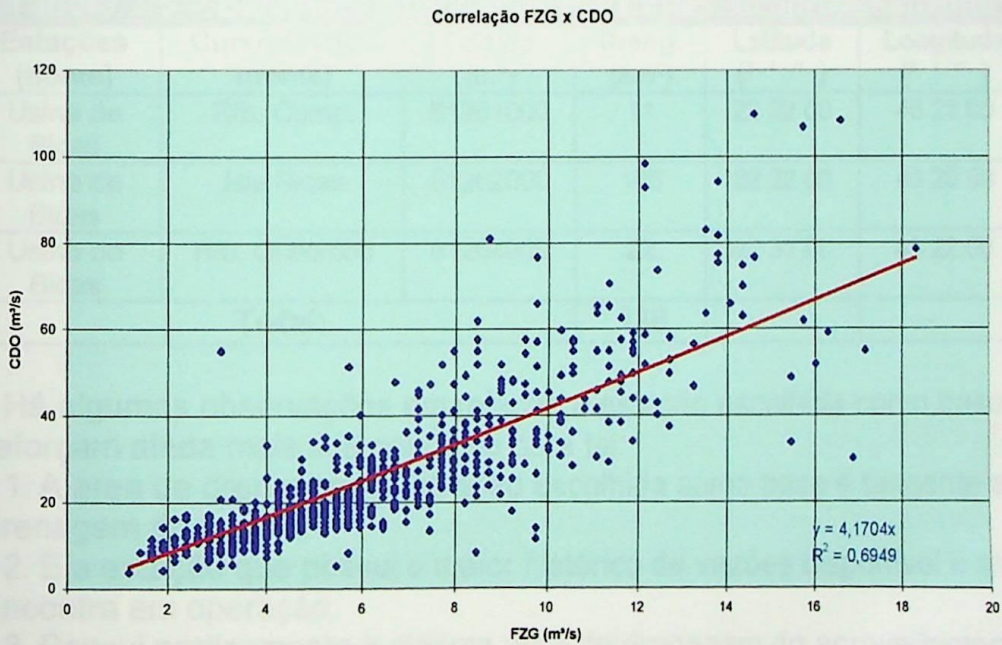


Figura 3.20 – Gráfico de correlação entre as estações FZG x CDO

A estação base escolhida portanto foi a estação de n.º 61250000, de nome Fazenda da Guarda e abreviatura FZG. Esta levou aos maiores valores de R^2 , em relação as demais estações, quando estas foram correlacionadas entre si.

O passo seguinte foi a determinação dos fatores de transposição a partir dos coeficientes angulares das retas de tendências criadas nos gráficos de correlação. Os fatores de transposição determinados são apresentados na Tabela 3.4.

Estações	BSC	SJI	CDO	BDA
FT	1,094	1,895	4,170	1,105
R²	0,682	0,709	0,695	0,691
FA	2,500	5,148	7,870	2,046

Onde:

FT – Fator de transposição.

R² - Fator matemático que indica a aproximação do modelo.

FA – Fator de área.

Os fatores de área foram obtidos através da divisão das áreas de drenagem das estações escolhidas pela área de drenagem do aproveitamento. A área de drenagem do local do aproveitamento é de 138 km² e foi obtida conforme explicado a seguir.

A área de drenagem do aproveitamento em questão é o somatório das áreas de drenagem de três estações extintas apresentadas na Tabela 3.5.

Estações (nome)	Curso D'água (nome)	Código (n.º)	Dreng. (km²)	Latitude (° ' ")	Longitude (° ' ")
Usina de Bicas	Rib. Comp.	61261000	11	22 32 00	45 21 00
Usina de Bicas	Rio Bicas	61262000	105	22 32 00	45 20 00
Usina de Bicas	Rib. Quilombo	61264000	22	22 31 00	45 22 00
Total:			138		

Há algumas observações em relação a estação escolhida como base, que reforçam ainda mais sua condição para tal:

1. A área de drenagem da estação escolhida como base é tangente a área de drenagem da central.
2. É a estação que possui o maior histórico de vazões disponível e ainda se encontra em operação.
3. Possui praticamente a mesma área de drenagem do aproveitamento
4. Das estações escolhidas é a que possui maior densidade de dados em seu histórico.

De posse dos fatores de transposição e, também, dos fatores de área construiu-se um gráfico que os relaciona, presente na Fig. 3.21.

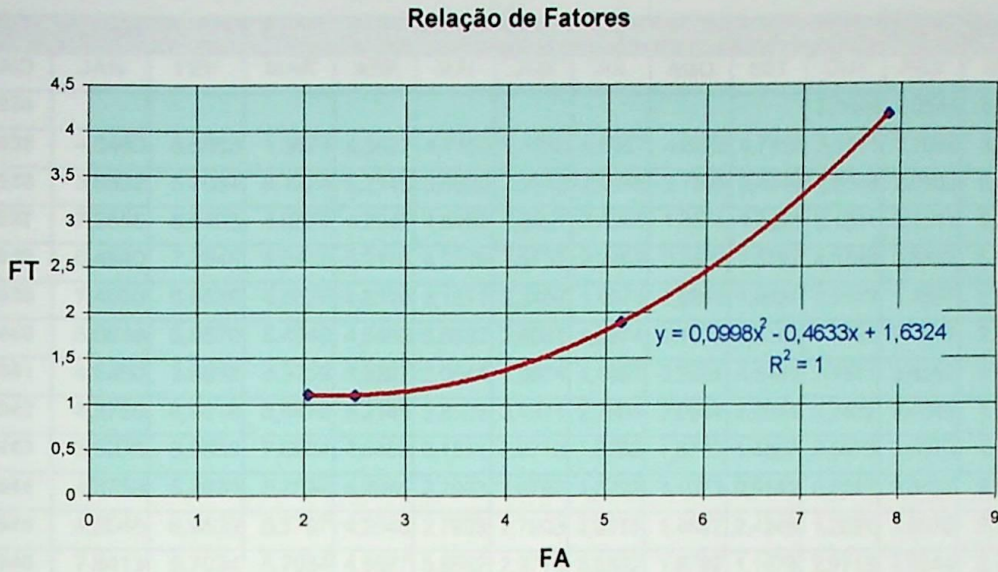


Figura 3.21 – Gráfico FT x FA

O passo seguinte foi a determinação do fator de transposição real para a área de drenagem requerida. Na equação apresentada no gráfico acima aplicamos o fator de área referente a área de drenagem desejada e desta forma obtemos o fator de transposição:

$$FT = f(FA)$$

$$FT = 0,0998 \cdot FA^2 - 0,4633 \cdot FA + 1,6324$$

$$FA = 1,2778$$

$$FT = 1,2033$$

Antes da transposição propriamente dita, fez-se a análise da densidade do histórico de vazões da estação base. Os períodos de leitura ausentes foram completados a partir dos dados de leitura de mesmo período nos históricos das outras estações selecionadas, priorizando-se a transposição às estações que maior R^2 apresentaram.

Com o histórico de vazões da estação base denso, aplicou-se o fator de transposição calculado e, finalmente, obteve-se o histórico de vazões para o local da central, apresentado na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Histórico de vazões obtido para o local do aproveitamento

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1934										2,0544	2,0544	8,4088
1935	4,5460	8,6853	1,8674	4,8827	4,7150	6,1933	5,0597	4,0258	4,7919	3,1511	3,7082	3,3297
1936	3,6832	5,7034	8,1274	5,2146	3,6832	2,9713	2,4248	2,7903	2,4248	2,0544	2,7903	6,0233
1937	7,2545	5,0493	4,0319	4,2045	4,5460	3,3297	2,4248	1,8674	1,2991	3,1511	3,1511	6,3383
1938	6,4940	7,2545	5,5417	5,2146	4,0319	2,9713	2,2402	2,2402	1,6792	4,3759	3,6832	5,5417
1939	7,4030	6,9539	4,8827	4,0319	3,1511	2,2402	1,8674	1,2991	1,4897	0,9143	1,4897	4,0319
1940	5,8639	8,9570	6,4940	4,5460	3,6832	2,6081	1,8674	1,1073	0,9143	1,6792	3,1511	2,7903
1941	4,5460	3,6832	4,3759	3,3297	2,0544	1,8674	1,4897	0,7201	4,5460	3,1511	3,8582	4,8827
1942	4,3759	6,8018	8,5476	5,2146	3,8582	3,1511	2,7903	2,0544	2,0544	2,2402	2,4248	5,7034
1943	6,0233	6,9539	7,6964	4,5460	3,1511	2,9713	1,6792	1,6792	1,4897	3,5070	3,5070	4,0319
1944	4,3759	5,8639	5,7034	4,2045	2,7903	1,6792	1,6792	1,1073	0,9143	0,5247	2,6081	2,6081
1945	4,2045	6,9539	5,3787	4,2045	2,7903	2,7903	2,9713	1,4897	2,4248	1,2991	3,5070	6,1814
1946	7,8413	5,7034	5,7034	4,8827	3,8582	2,9713	3,6832	1,6792	1,1073	2,9713	2,0544	2,7903
1947	7,9850	8,6853	9,9958	6,1814	5,7034	4,3759	3,3297	3,1511	3,3297	2,9713	5,2146	6,8018
1948	5,8639	6,9539	8,9570	5,2146	4,0319	2,9713	2,2402	2,4248	1,4897	1,2991	1,2991	3,3297
1949	7,5503	6,0233	7,9850	5,0493	2,7903	2,0544	1,6792	1,2991	0,7201	0,9143	1,2991	9,4860
1950	7,6964	8,6853	6,3383	5,5417	4,5460	3,3297	2,6081	1,8674	1,2991	1,8674	4,2045	4,0319
1951	5,7034	5,3787	5,2146	4,8827	4,2045	4,0319	4,2045	3,1511	2,6081	2,6081	3,1511	2,4248
1952	7,6964	6,4940	7,6964	5,3787	3,8582	5,7034	3,1511	2,6081	2,2402	1,6792	2,9713	2,6081
1953	2,2402	2,4248	3,6832	3,3297	2,2402	1,4897	1,1073	0,7201	0,7201	0,9143	2,4248	4,0319
1954	4,0319	10,2434	5,2146	4,5460	5,2146	3,5070	2,4248	1,6792	1,6792	2,9713	2,2402	3,6832
1955	6,8018	3,6832	5,5417	3,8582	2,9713	2,7903	1,8674	1,2991	0,7201	1,1073	2,2402	4,8827
1956	3,3297	4,8827	5,3787	4,0319	5,0493	4,0319	2,9713	3,5070	2,7903	3,1511	3,6832	5,7034
1957	7,6964	9,0911	8,4088	7,4030	5,3787	4,5460	4,2045	3,1511	3,8582	3,3297	4,5460	4,2045
1958	7,4030	7,6964	7,5503	6,4940	6,6485	6,0233	4,5460	3,5070	4,0319	4,5460	4,8827	4,7150
1959	9,4860	5,3787	5,5417	4,5460	3,6832	2,6081	4,8069	2,2402	3,8582	5,7034	6,4940	6,4940
1960	7,2545	6,4940	5,3787	4,2045	4,8827	3,3297	2,6081	1,6792	1,6792	2,0544	4,2045	6,6485
1961	9,8701	22,5495	9,0911	7,9850	5,3787	4,0319	3,3297	2,4248	2,0544	2,0544	2,2402	2,9713
1962	6,1814	7,6964	7,2545	4,3759	3,5070	2,7903	2,0544	1,6792	1,8674	6,0702	3,1511	8,1274
1963	7,4030	10,1202	6,4940	4,3759	3,5070	2,4248	1,6792	1,2991	0,9143	2,2402	3,1511	2,7903
1964	4,3759	7,8413	4,2045	2,7903	2,7903	2,0544	2,4248	1,2991	1,1073	2,2402	2,4248	5,2146
1965	7,8413	6,9539	7,4030	6,9539	6,3383	5,5417	6,1814	5,6308	4,9392	7,5823	8,9979	14,0253
1966	8,4088	7,1048	9,6153	6,6485	5,3787	4,0319	2,9713	2,2402	1,8674	3,6832	4,2045	9,7433
1967	10,1202	11,4094	8,6853	6,4940	4,7150	4,3759	2,9713	2,4248	2,6081	3,3297	4,3759	5,3787
1968	6,4940	4,8827	5,7034	4,2045	3,5070	2,4248	2,4248	2,6081	1,6792	1,6792	2,0544	4,3759
1969	3,6832	6,0233	5,0493	3,8582	2,2402	2,0544	1,6792	1,6792	0,9143	1,8674	4,7150	4,5460
1970	7,4030	10,7243	8,1274	5,8639	4,7150	3,6832	3,1511	3,5070	3,8582	3,5070	3,8582	3,5070
1971	3,1511	2,4248	3,6832	2,7903	2,2402	2,6081	2,0544	2,0544	2,0544	4,5460	3,8582	6,8018
1972	6,6485	6,0233	6,6485	6,0233	4,2045	3,3297	3,1511	3,1511	2,4248	3,8582	3,6832	5,2146
1973	5,8639	6,8018	6,1814	6,1814	5,0493	4,0319	3,5070	2,7903	2,7903	4,2045	3,8582	6,6485
1974	8,1274	5,5417	5,2146	4,7150	3,8582	4,8827	2,7903	2,2402	1,8674	1,8674	2,0544	5,2146
1975	4,7150	5,3787	4,2045	3,8582	3,1511	2,7903	2,4248	1,8674	1,6792	2,9713	4,0319	5,2146
1976	4,8827	7,5503	6,8018	5,8639	5,3787	5,2146	5,3787	4,2045	4,8827	4,0319	4,5460	6,4940
1977	7,6964	6,4940	5,2146	6,1814	4,0319	3,5070	2,9713	2,4248	2,4248	2,6081	3,1511	4,8827
1978	6,1814	5,8639	5,5417	3,8582	3,3297	3,3297	2,4248	2,0544	1,6792	2,0544	5,0493	5,3787
1979	5,3787	6,4940	5,3787	5,0493	4,5460	3,1511	3,1511	2,6081	3,1511	2,9713	6,4940	5,7034
1980	7,6964	7,5503	5,7034	7,5503	5,0493	4,8827	3,5070	2,9713	2,7903	2,6081	2,9713	5,8639
1981	8,6853	6,4940	5,8639	5,3787	4,0319	3,8582	3,1511	2,4248	2,0544	3,3297	5,7034	6,1814
1982	8,9570	7,4030	8,8218	6,8018	5,5417	5,3787	4,3759	3,6832	3,1511	4,0319	4,2045	6,3383
1983	7,8413	9,6153	8,5476	7,4030	7,1048	7,9850	5,5417	4,3759	6,8018	6,1814	6,0233	8,9570

1984	7,5503	6,1814	5,3787	4,8827	4,0319	2,9713	2,6081	2,9713	2,7903	2,0544	2,4248	3,8582
1985	6,1814	7,2545	7,5503	5,8639	4,5460	3,6832	2,9713	2,4248	2,7903	2,6081	2,7903	4,3759
1986	5,0493	5,2146	5,8639	5,2146	4,7150	3,5070	3,1511	3,1511	2,4248	2,4248	2,6081	6,0233
1987	7,2545	6,0233	5,2146	6,1814	5,3787	4,7150	3,5070	2,9713	3,5070	3,5070	3,3731	6,0120
1988	5,7034	5,3787	6,9539	5,5417	5,7034	4,8827	3,5070	2,9713	2,7903	3,3297	3,5070	6,8393
1989	6,3383	7,8413	6,3383	5,3787	6,8432	6,2968	5,9217	5,4884	6,2208	4,8069	5,8482	7,3314
1990	5,5417	4,3759	5,7034	4,7150	3,6832	2,7903	2,7903	2,7903	2,9713	3,6832	2,7903	5,0493
1991	3,8582	4,7150	4,8827	3,8582	2,6081	1,8674	1,4897	0,3280	1,6792	5,0493	3,6832	5,2146
1992	4,7150	4,2045	4,3759	3,8582	4,0319	3,1511	3,6832	2,4248	3,3297	2,4248	3,5070	2,9713
1993	3,6832	7,4030	4,8827	3,5070	2,7903	2,9713	2,6081	2,9713	3,1511	3,1511	2,6081	2,6081
1994	3,6832	3,5070	4,5460	3,6832	3,6832	2,9713	2,7903	2,2402	1,8674	2,0544	2,7903	5,8639
1995	4,7150	9,0911	5,3787	4,7150	4,2045	3,3297	3,1511	2,6081	2,4248	4,3759	4,2045	4,7150
1996	6,6485	6,1814	6,9539	5,7034	4,7150	4,0319	3,3297	2,9713	3,5070	4,0319	5,0493	7,4030
1997	6,9539	5,7034	5,5417	5,0493	4,0319	4,3759	3,5070	2,6081	2,7903	2,9713	3,5070	4,5460
1998	4,5460	5,2146	4,7150	4,0319								

3.2.4 Estudos para determinação da vazão de projeto

De posse de um histórico consistente, inicia-se o estudo para determinação da vazão de projeto, observando as seguintes considerações:

a. Para central principal - CP

1. Devem ser mantidas as dimensões atuais dos reservatórios existentes, não havendo alteração, portanto no volume dos mesmos;
2. Deve ser mantida a atual tubulação forçada existente e os cálculos de perda de carga serão a ela relacionados;
3. No cálculo das perdas de carga ao longo desta tubulação, a vazão adotada para o engolimento de cada turbina é proporcional ao diâmetro de entrada de cada caixa espiral respectiva.

b. Para a central auxiliar – CA

1. Considerando o Artigo de Geraldo L. Tiago Filho, 1998, no qual esta central apresenta elevados valores de rendimento, apesar do fato de já possuir mais de 30 anos de operação, foi adotado um valor de rendimento, de todo o sistema de admissão e grupo gerador, atual, semelhante ao de grupos geradores similares, encontrados atualmente no mercado.

3.2.4.1 Primeira análise dos dados de vazão

a. Construção de um fluviograma, Fig. 3.22, de vazões médias mensais:

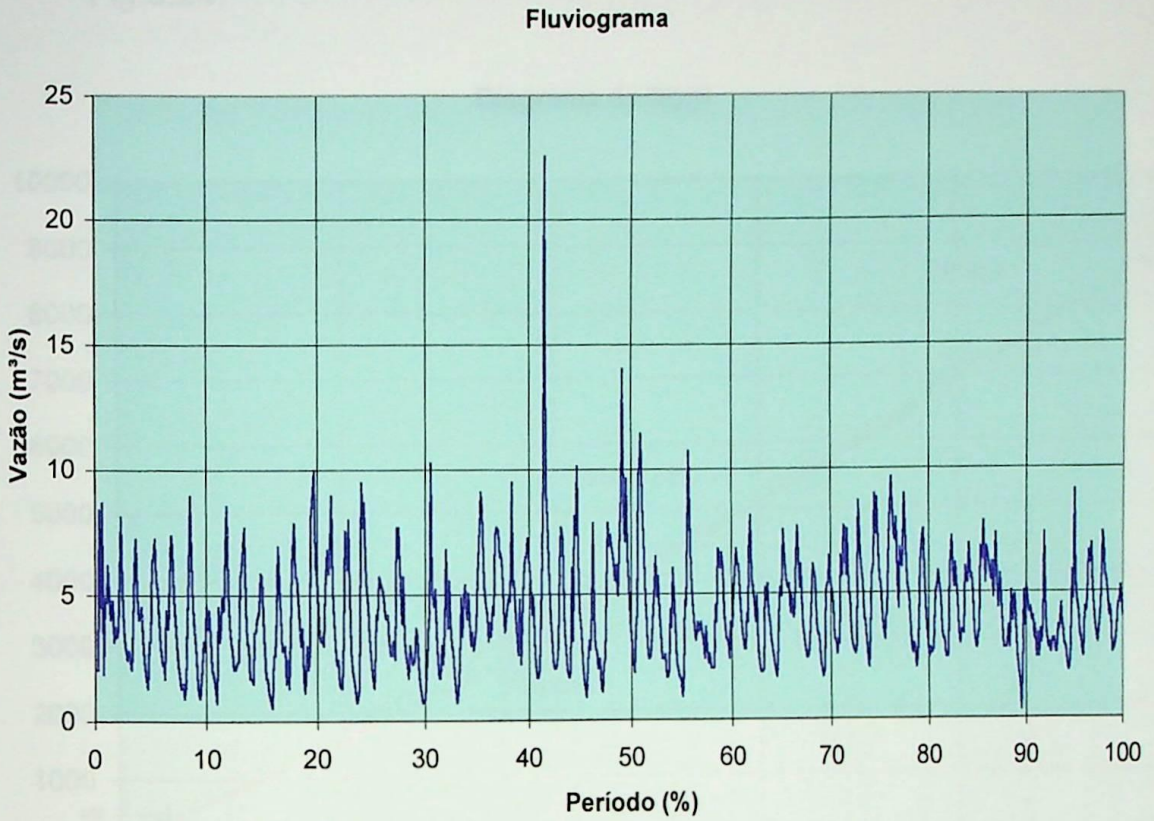


Figura 3.22 – Fluviograma de vazões médias mensais da Central

b. Curva de permanência das vazões, Fig. 3.23:

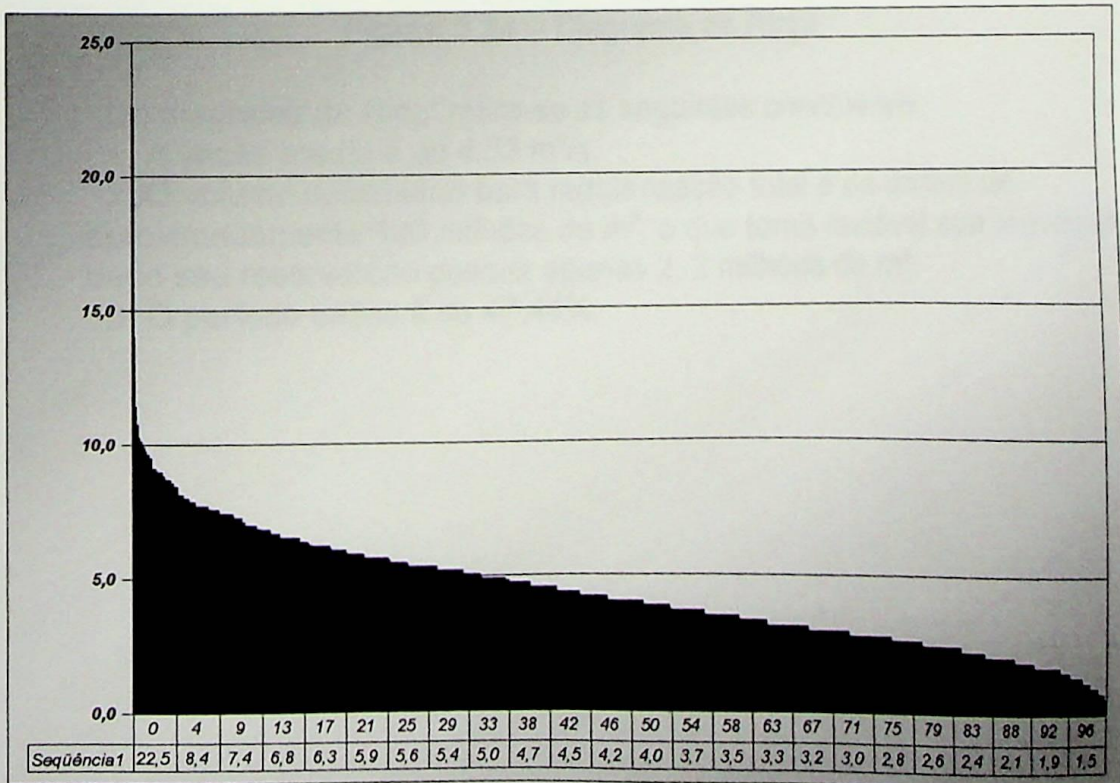


Figura 3.23 – Curva de permanência de vazões. Médias mensais



De onde concluímos que a vazão permanente 95% do período é de 1,7 m³/s.

c. Construção do Diagrama de Rippl (Curva de massa das vazões), Fig.3.24.

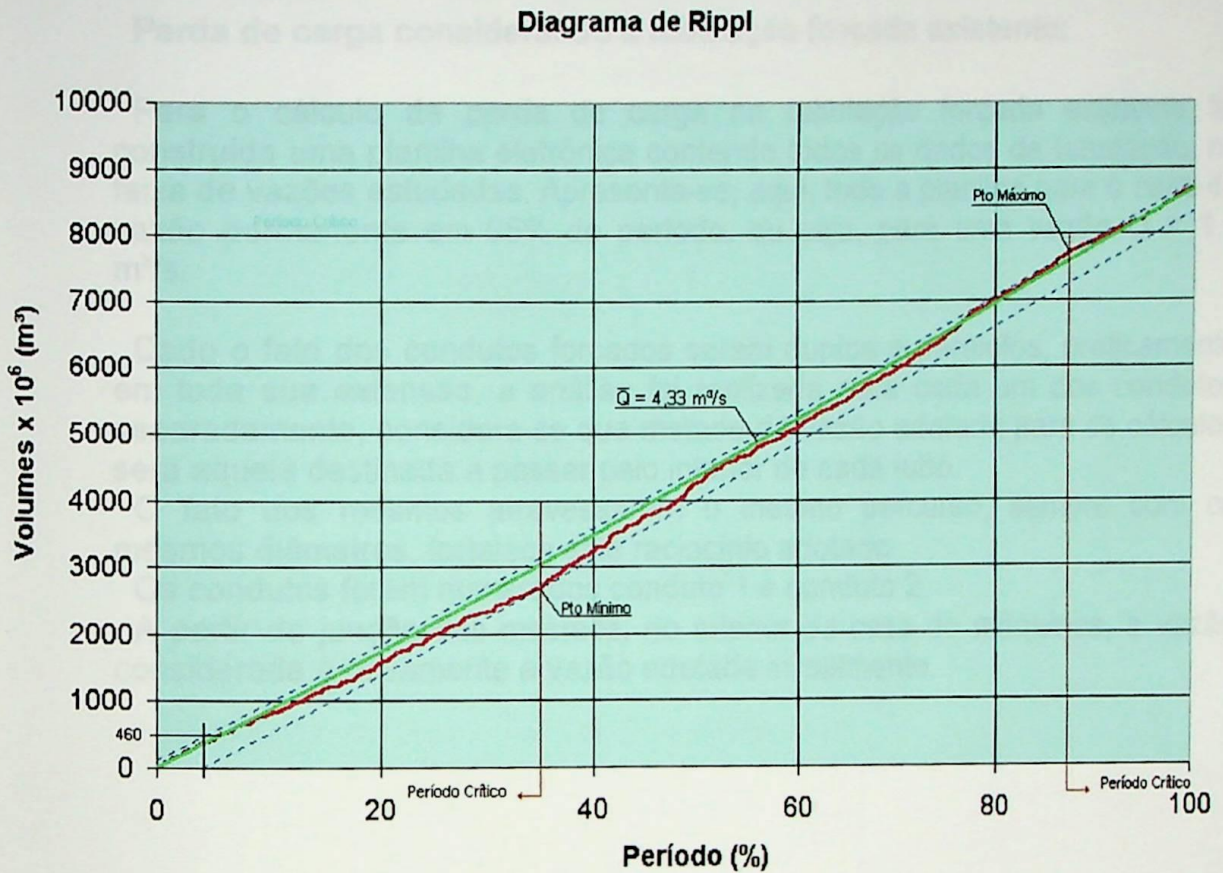


Figura 3.24 – Diagrama de Rippl

Do diagrama de Rippl retira-se as seguintes conclusões:

1. A vazão média é de 4,33 m³/s.
2. O volume necessário para regularização total é da ordem de aproximadamente 460 milhões de m³, o que torna inviável sua regularização, dado seu reservatório possuir apenas 2, 2 milhões de m³.
3. O período crítico é de 47,44%.

3.2.4.2 Análise para a central principal

Neste tópico é realizada toda uma análise da central principal em função de seu potencial.

Perda de carga considerando a tubulação forçada existente:

Para o cálculo da perda de carga na tubulação forçada existente foi construída uma planilha eletrônica contendo todos os dados da tubulação, na faixa de vazões estudadas. Apresenta-se, aqui, toda a planilha para o caso da vazão permanente em 95% do período, ou seja, para uma vazão $Q = 1,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dado o fato dos condutos forçados serem duplos e paralelos, praticamente em toda sua extensão, a análise foi realizada para cada um dos condutos separadamente, considera-se que metade da vazão adotada para os cálculos será aquela destinada a passar pelo interior de cada tubo.

O fato dos mesmos atravessarem o mesmo percurso, sempre com os mesmos diâmetros, fortalece este raciocínio adotado.

Os condutos foram numerados conduto 1 e conduto 2.

A partir da junção dos mesmos, no interior da casa de máquinas, a vazão considerada é novamente a vazão adotada inicialmente.

Perdas de carga ao longo da tubulação

CONDUTO 01

Fórmula geral: $H_{psi} = \lambda_{si} \cdot V_i^2 / 2.g$ m

Onde: H_{psi} é a perda de energia em metros

λ_{si} é o coeficiente de perda

V_i^2 é a velocidade do escoamento

g aceleração da gravidade

Vazão adotada:

Perda total associada:

$Q = 1,70 \text{ m}^3/\text{s}$

$H_t = 3,0015 \text{ m}$

A vazão por conduto forçado é a vazão total dividida pelo n.º de condutos

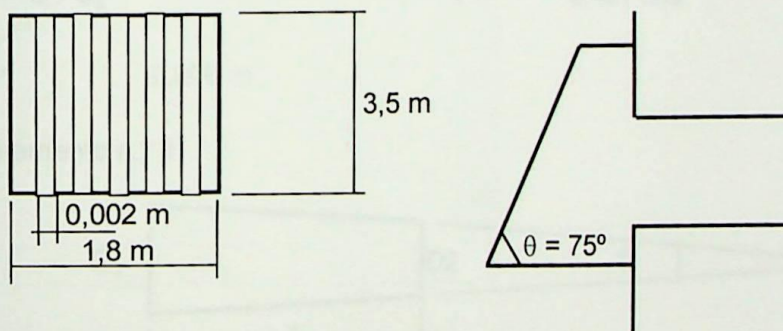
Nr de cond. = 2

$Q = 0,85 \text{ m}^3/\text{s}$

1. Perdas de carga nas singularidades

1.1 Grades da tomada d'água:

A janela formada pela grade possui as seguintes dimensões:



O diâmetro da tubulação (D_t) neste ponto é de:

$D_t = 1,5 \text{ m}$

Utiliza-se a fórmula de *Kirschmer*:

$H = \beta \cdot \text{Sen } \theta (e/d)^{4/3} v^2 / 2g$

Onde:

θ = inclinação das grades em relação à horizontal em graus

e = espessura das barras em m

d = distância entre barras em m

β = Fator que depende da forma das barras (adimensional)

v = velocidade da água calculada para a projeção da abertura sobre um plano vertical sem se descontarem as barras da grade, em m/s.

Considerando barras arredondadas, e as dimensões da grade existente:

$$\begin{aligned} \theta &= 75^\circ \\ e &= 0,015 \text{ m} \\ d &= 0,02 \text{ m} \\ \beta &= 1,83 \end{aligned}$$

A projeção da abertura sobre um plano vertical é:

$S_p = \text{Área projetada}$

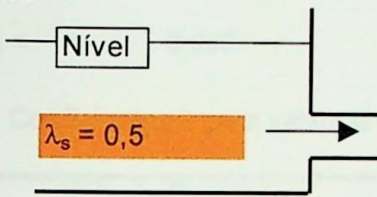
$$S_p = 1,707 \text{ m}^2$$

$$v = 0,498 \text{ m/s}$$

$$H_d = 0,015 \text{ m}$$

1.2 Perda de carga na saída do reservatório

Esquema



$$\lambda_s = 0,5$$

$$H_s = \lambda_s \cdot V^2 / 2g$$

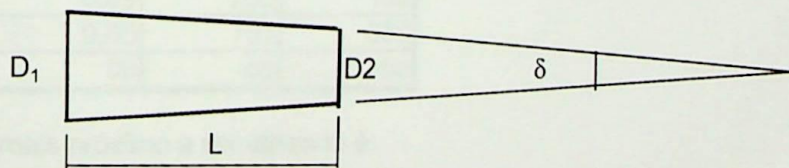
$$S_s = 1,767 \text{ m}^2$$

$$V = Q / S_s$$

$$V = 0,481 \text{ m/s}$$

$$H_s = 0,006 \text{ m}$$

1.3 Estreitamento n.º 01



$$D_1 = 1,5 \text{ m}$$

$$D_2 = 1,2 \text{ m}$$

$$L = 6 \text{ m}$$

$$S_1 = \pi \cdot D_1^2 / 4$$

$$S_1 = 1,767 \text{ m}^2$$

$$S_2 = \pi \cdot D_2^2 / 4$$

$$S_2 = 1,131 \text{ m}^2$$

$$H_e = \lambda_e \cdot (V_2^2 - V_1^2) / 2g$$

$$\delta = \text{atan } D_2/L$$

$$\delta = 11,310$$

$$\lambda_e = 0,0025 \cdot \text{Cotg } \delta/2$$

$$\lambda_e = 0,025$$

$$V_1 = Q / S_1 \qquad V_1 = 0,481 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 0,752 \text{ m/s}$$

$$H_e = 0,000 \text{ m}$$

1.4 Perda de carga em válvula borboleta (completamente aberta)

Caso 01:

$$\theta = 5^\circ$$

$$D_1 = 1,2 \text{ m}$$

$$D_2 = 1,1 \text{ m}$$

$$S_1 = 1,131 \text{ m}^2$$

$$S_2 = 0,950 \text{ m}^2$$

$$S_2/S_1 = 0,840$$

Tabela - Coeficientes λ para válvulas Borboleta

Válvula Borboleta			
θ	S_2/S_1	C.Cilin.	C. Ret.
5	0,91	0,24	0,28
10	0,83	0,52	0,45
15	0,74	0,9	0,77
20	0,66	1,54	1,34
25	0,58	2,51	2,16
30	0,5	3,91	3,54
40	0,36	10,8	9,3
50	0,23	32,6	24,9
60	0,13	118	77,4
65	0,09	256	158
70	0,06	751	368
90	90	oo	oo

O coeficiente λ mais próximo a ser utilizado é:

$$\lambda_w = 0,91$$

A velocidade a ser computada neste caso é calculada em função do diâmetro médio, pois na própria válvula há uma redução de diâmetro de 1,2 para 1,1 m.

$$D_m = (D_1 + D_2)/2$$

$$D_m = 1,15 \text{ m}$$

$$S_m = 1,039 \text{ m}^2$$

$$V_m = 0,818 \text{ m/s}$$

Logo o valor da perda de carga localizada é

$$H_v = 0,031 \text{ m} \qquad \text{Para } \theta = 5^\circ$$

Caso 02: Válvula completamente aberta

Para este caso a perda de carga é desprezível, ou seja, $H_v = 0$

$$H_v = 0 \text{ m}$$

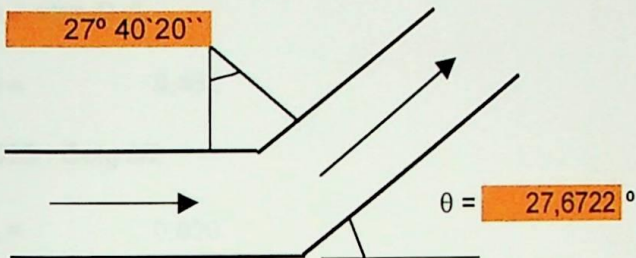
Adota-se a válvula completamente aberta portanto a perda é nula

$$H_v = 0 \text{ m}$$

1.5 Perda de carga no 1º joelho

Tipo de curva: Segmentos soldados

Ângulo:



$$D = 1,1 \text{ m}$$

$$S = 0,950 \text{ m}$$

$$v = 0,894 \text{ m/s}$$

$$\lambda_c = 0,9457 \cdot \text{Sen}^2(\theta/2) + 2,05 \cdot \text{Sen}^4(\theta/2)$$

$$\lambda_c = 0,061$$

$$H_c = 0,002 \text{ m}$$

1.6 Perda de carga no 2º joelho

$$\theta = 69^\circ 8' 33'' \quad \theta = 69,1425^\circ$$

$$\lambda_c = 0,517$$

$$H_c = 0,021 \text{ m}$$

1.7 Perda de carga no 3º joelho

$$\theta = 14^\circ 47' 6'' \quad \theta = 14,785^\circ$$

$$\lambda_c = 0,016$$

$$H_c = 0,001 \text{ m}$$

1.8 Perda de carga no 4º joelho

$$\theta = 38^\circ 23' 00'' \quad \theta = 38,3833^\circ$$

$$\lambda_c = 0,126$$

$$H_c = 0,005 \text{ m}$$

1.9 Perda de carga em estreitamento cônico

$$D_1 = 1,1 \text{ m}$$

$$D_2 = 1 \text{ m}$$

$$L = 6 \text{ m}$$

$$S_1 = \pi \cdot D_1^2 / 4 \quad S_1 = 0,950 \text{ m}^2$$

$$S_2 = \pi \cdot D_2^2 / 4 \quad S_2 = 0,785 \text{ m}^2$$

$$H_e = \lambda_e \cdot (V_2^2 - V_1^2) / 2g$$

$$\delta = \text{atan } D_2/L$$

$$\delta = 9,462$$

$$\lambda_e = 0,0025 \cdot \text{Cotg } \delta/2$$

$$\lambda_e = 0,030$$

$$V_1 = Q / S_1 \quad V_1 = 0,894 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 1,082 \text{ m/s}$$

$$H_e = 0,001 \text{ m/m}$$

1.10 Perda de carga no 5º joelho

$$\theta = 29^\circ 47' 35''$$

$$\theta = 29,793$$

$$\lambda_c = 0,071$$

$$H_c = 0,004 \text{ m}$$

1.11 Perda de carga no 6º joelho

$$\theta = 29^\circ 47' 35''$$

$$\theta = 29,793$$

$$\lambda_c = 0,071$$

$$H_c = 0,004 \text{ m}$$

1.12 Perda de carga em estreitamento n.º 3

$$D_1 = 1 \text{ m}$$

$$D_2 = 0,9 \text{ m}$$

$$L = 6 \text{ m}$$

$$S_1 = \pi \cdot D_1^2 / 4 \quad S_1 = 0,785 \text{ m}^2$$

$$S_2 = \pi \cdot D_2^2 / 4 \quad S_2 = 0,636 \text{ m}^2$$

$$H_e = \lambda_e \cdot (V_2^2 - V_1^2) / 2g$$

$$\delta = \text{atan } D_2/L$$

$$\delta = 8,531$$

$$\lambda_e = 0,0025 \cdot \text{Cotg } \delta/2$$

$$\lambda_e = 0,034$$

$$V_1 = Q / S_1 \quad V_1 = 1,082 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 1,336 \text{ m/s}$$

$$H_e = 0,001 \text{ m/m}$$

1.13 Perda de carga no 7º joelho

$$\theta = 23^\circ 00' 00''$$

$$\theta = 23^\circ$$

$$\lambda_c = 0,041$$

$$H_c = 0,002 \text{ m}$$

1.14 Perda de carga no 8º joelho

$$\theta = 15^\circ 00' 00''$$

$$\theta = 15^\circ$$

$$\lambda_c = 0,017$$

$$H_c = 0,002 \text{ m}$$

1.15 Perda de carga no 9º joelho

$$\theta = 7^\circ 27' 27''$$

$$\theta = 7,4575$$

$$\lambda_c = 0,004$$

$$H_c = 0,000 \text{ m}$$

1.16 Perda de carga nas válvulas de gaveta

$$\text{Diâmetro de entrada} = D_1 = 0,9 \text{ m}$$

As válvulas encontram-se na posição aberta e emperradas nesta posição

Logo adota-se $\lambda = 0,06$ que é a condição para válvula quase que completamente aberta.

$$\lambda_g = 0,06$$

$$H_g = 0,005 \text{ m}$$

1.17 Perda de carga em alargamento na conexão "Y"

$$D_1 = 0,9 \text{ m}$$

$$D_2 = 1,1 \text{ m}$$

$$L = 3,35 \text{ m}$$

$$S_1 = \pi \cdot D_1^2 / 4$$

$$S_1 = 0,636 \text{ m}^2$$

$$S_2 = \pi \cdot D_2^2 / 4$$

$$S_2 = 0,950 \text{ m}^2 \quad 3,801336$$

$$H_a = \lambda_a \cdot (V_2^2 - V_1^2) / 2g$$

$$\delta = \text{atan } D_2/L$$

$$\delta = 18,178$$

$$\lambda_a = 0,0025 \cdot \text{Cotg } \delta/2$$

$$\lambda_a = 0,016$$

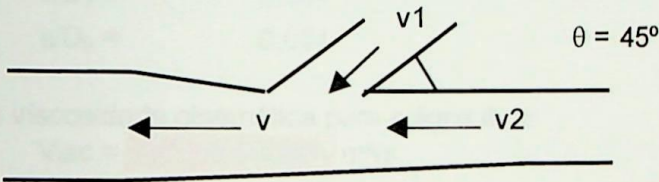
$$V_1 = Q / S_1$$

$$V_1 = 1,336 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 0,894 \text{ m/s}$$

$$H_a = 0,001 \text{ m}$$

1.18 Perda de carga na conexão "Y"



$$J_{y1} = k_1 \cdot v_1^2 / 2 \cdot g$$

$$k_1 = 0,5$$

$$J_{y2} = k_2 \cdot v_2^2 / 2 \cdot g$$

$$k_2 = 0,05$$

Para o caso $v_1 = v_2 = 1,336 \text{ m/s}$

Logo

$$H_{y1} = 0,045 \text{ m}$$

$$H_{y2} = 0,005 \text{ m}$$

A perda de carga total na conexão "Y" é:

$$H_{yt} = 0,050 \text{ m}$$

2. Cálculo das perdas de carga para trechos retos dos condutos

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \alpha t$$

ε Rugosidade equivalente após t anos de uso

ε_0 Rugosidade equivalente inicial com tubo novo

α Coeficiente de aumento de rugosidade (milímetros por ano), em média 0,01 a 0,1 mm ao ano em tubos de aço, conforme a melhor ou pior qualidade da proteção recebida pelos mesmos.

t Anos de uso

$$\begin{aligned}\varepsilon_0 &= 0,2 \text{ Livro Máquinas Motrizes Hidraulicas, Macyntire} \\ \alpha &= 0,05 \text{ Livro Máquinas Motrizes Hidraulicas, Macyntire} \\ t &= 67 \text{ Anos} \\ \varepsilon &= 3,55 \text{ mm}\end{aligned}$$

2.1 Trecho retilíneos do conduto 1

$$\begin{aligned}D_1 &= 1,1 \text{ m} & L_1 &= 549,747 \text{ m} \\ D_2 &= 1 \text{ m} & L_2 &= 513,489 \text{ m} \\ D_3 &= 0,9 \text{ m} & L_3 &= 518,112 \text{ m}\end{aligned}$$

As velocidades em cada trecho são

$$\begin{aligned}V_1 &= 0,894 \text{ m/s} \\ V_2 &= 1,082 \text{ m/s} \\ V_3 &= 1,336 \text{ m/s}\end{aligned}$$

As rugosidades relativas são

$$\begin{aligned}\varepsilon/D_1 &= 0,003 \\ \varepsilon/D_2 &= 0,004 \\ \varepsilon/D_3 &= 0,004\end{aligned}$$

A viscosidade cinemática para a água é de

$$\text{Visc} = 0,000001 \text{ m}^2/\text{s}$$

O n.º de Reynolds é, no caso:

$$\text{Re} = (V \cdot D) / \text{Visc}$$

$$\begin{aligned}\text{Re}_1 &= 983866,921 \\ \text{Re}_2 &= 1082253,613 \\ \text{Re}_3 &= 1202504,014\end{aligned}$$

Os coeficientes de perda de energia são:

$$\begin{aligned}\lambda_{r1} &= 0,027 \\ \lambda_{r2} &= 0,028 \\ \lambda_{r3} &= 0,028\end{aligned}$$

As perdas de carga em metros de tubulação equivalentes são

$$\begin{aligned}H_{pr1} &= 0,548 \text{ m} \\ H_{pr2} &= 0,846 \text{ m} \\ H_{pr3} &= 1,490 \text{ m}\end{aligned}$$

O somatório total de perdas para a vazão considerada é:

$$H_t = 3,001 \text{ m}$$

Perdas de carga ao longo da tubulação

CONDUTO 02

Fórmula geral: $H_{psi} = \lambda_{si} \cdot V^2 / 2.g$ m

Onde: H_{psi} é a perda de energia em metros

λ_{si} é o coeficiente de perda

V^2 é a velocidade do escoamento

g aceleração da gravidade

Vazão adotada:

Perda total associada:

$Q = 1,7$ m³/s

$H_t = 2,958$ m

A vazão por conduto forçado é a vazão total dividida pelo n.º de condutos

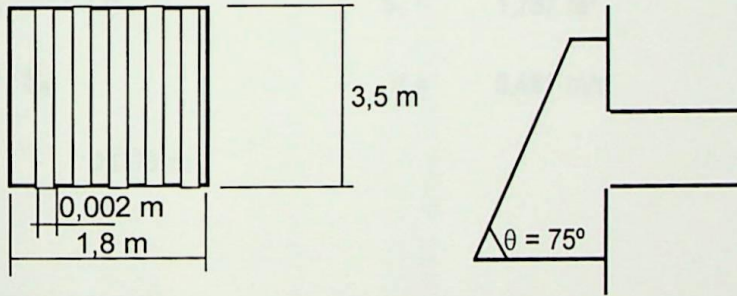
Nr de cond. = 2

$Q = 0,85$ m³/s

1. Perdas de carga nas singularidades

1.1 Grades da tomada d'água:

A janela formada pela grade possui as seguintes dimensões:



O diâmetro da tubulação (D_t) neste ponto é de:

$D_t = 1,5$ m

Utilizaremos a fórmula de *Kirschmer*:

$H = \beta \cdot \text{Sen } \theta (e/d)^{4/3} v^2 / 2g$

Onde:

θ = inclinação das grades em relação à horizontal em graus

e = espessura das barras em m

d = distância entre barras em m

β = Fator que depende da forma das barras (adimensional)

v = velocidade da água calculada para a projeção da abertura sobre um plano vertical sem se descontarem as barras da grade, em m/s.

$$\begin{aligned} \theta &= 75^\circ \\ e &= 0,015 \text{ m} \\ d &= 0,02 \text{ m} \\ \beta &= 1,83 \end{aligned}$$

A projeção da abertura sobre um plano vertical é:

$S_p = \text{Área projetada}$

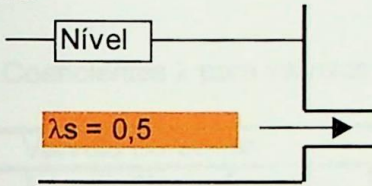
$$S_p = 1,707 \text{ m}^2$$

$$v = 0,498 \text{ m/s}$$

$$H_d = 0,015 \text{ m}$$

1.2 Perda de carga na saída do reservatório

Esquema



$$\lambda_s = 0,5$$

$$H_s = \lambda_s \cdot V^2 / 2 \cdot g$$

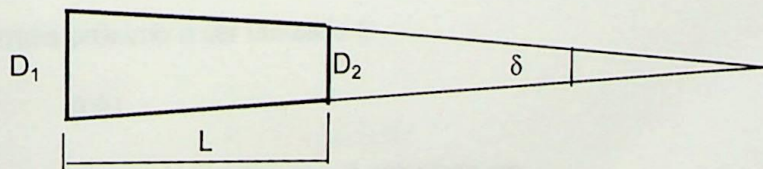
$$S_s = 1,767 \text{ m}^2$$

$$V = Q / S_s$$

$$V = 0,481 \text{ m/s}$$

$$H_s = 0,006 \text{ m}$$

1.3 Estreitamento n.º 01



$$D_1 = 1,5 \text{ m}$$

$$D_2 = 1,2 \text{ m}$$

$$L = 6 \text{ m}$$

$$S_1 = \pi \cdot D_1^2 / 4$$

$$S_1 = 1,767 \text{ m}^2$$

$$S_2 = \pi \cdot D_2^2 / 4$$

$$S_2 = 1,131 \text{ m}^2$$

$$H_e = \lambda_e \cdot (V_2^2 - V_1^2) / 2g$$

$$\delta = \text{atan } D_2/L$$

$$\delta = 11,310$$

$$\lambda_e = 0,0025 \cdot \text{Cotg } \delta/2$$

$$\lambda_e = 0,025$$

$$V_1 = Q / S_1 \quad V_1 = 0,481 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 0,752 \text{ m/s}$$

$$H_e = 0,000 \text{ m}$$

1.4 Perda de carga em válvula borboleta (completamente aberta)

$$\theta = 5^\circ \quad D1 = 1,2 \text{ m}$$

$$D2 = 1,1 \text{ m}$$

$$S_1 = 1,131 \text{ m}^2$$

$$S_2 = 0,950 \text{ m}^2$$

$$S_2/S_1 = 0,840$$

Tabela - Coeficientes λ para válvulas Borboleta

Válvula Borboleta			
θ	S_2/S_1	C.Cilin.	C. Ret.
5	0,91	0,24	0,28
10	0,83	0,52	0,45
15	0,74	0,9	0,77
20	0,66	1,54	1,34
25	0,58	2,51	2,16
30	0,5	3,91	3,54
40	0,36	10,8	9,3
50	0,23	32,6	24,9
60	0,13	118	77,4
65	0,09	256	158
70	0,06	751	368
90	90	oo	oo

O coeficiente λ mais próximo a ser utilizado é:

$$\lambda = 0,91$$

A velocidade a ser computada, neste caso, é calculada em função do diâmetro médio, pois na própria válvula há uma redução de diâmetro de 1,2 para 1,1 m.

$$D_m = (D1 + D2)/2$$

$$D_m = 1,15 \text{ m}$$

$$S_m = 1,039 \text{ m}^2$$

$$V_m = 0,818 \text{ m/s}$$

Logo o valor da perda de carga localizada é:

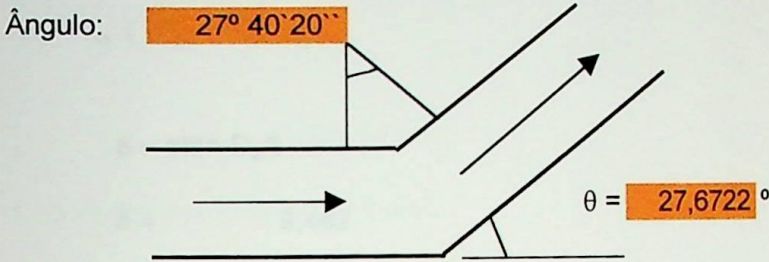
$$H_v = 0,031 \text{ m} \quad \text{Para } \theta = 5^\circ$$

Adota-se a válvula completamente aberta portanto a perda é nula

$$H_v = 0 \text{ m}$$

1.5 Perda de carga no 1º joelho

Tipo de curva: Segmentos soldados



$$D = 1,1 \text{ m}$$

$$S = 0,950 \text{ m}$$

$$v = 0,894 \text{ m/s}$$

$$\lambda_c = 0,9457 \cdot \text{Sen}^2 (\theta/2) + 2,05 \cdot \text{Sen}^4 (\theta/2)$$

$$\lambda_c = 0,061$$

$$H_c = 0,002 \text{ m}$$

1.6 Perda de carga no 2º joelho

$$\theta = 69^{\circ} 8' 33''$$

$$\theta = 69,1425^{\circ}$$

$$\lambda_c = 0,517$$

$$H_c = 0,021 \text{ m}$$

1.7 Perda de carga no 3º joelho

$$\theta = 14^{\circ} 47' 6''$$

$$\theta = 14,785^{\circ}$$

$$\lambda_c = 0,016$$

$$H_c = 0,001 \text{ m}$$

1.8 Perda de carga no 4º joelho

$$\theta = 38^{\circ} 23' 00''$$

$$\theta = 38,3833^{\circ}$$

$$\lambda_c = 0,126$$

$$H_c = 0,005 \text{ m}$$

1.9 Perda de carga em estreitamento cônico

$$D_1 = 1,1 \text{ m}$$

$$D_2 = 1 \text{ m}$$

$$L = 6 \text{ m}$$

$$S_1 = \pi \cdot D_1^2 / 4 \quad S_1 = 0,950 \text{ m}^2$$

$$S_2 = \pi \cdot D_2^2 / 4 \quad S_2 = 0,785 \text{ m}^2$$

$$H_e = \lambda_e \cdot (V_2^2 - V_1^2) / 2g$$

$$\delta = \text{atan } D_2/L$$

$$\delta = 9,462$$

$$\lambda_e = 0,0025 \cdot \text{Cotg } \delta/2$$

$$\lambda_e = 0,030$$

$$V_1 = Q / S_1 \quad V_1 = 0,894 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 1,082 \text{ m/s}$$

$$H_e = 0,001 \text{ m}$$

1.10 Perda de carga no 5º joelho

$$\theta = 29^\circ 47' 35'' \quad \theta = 29,793$$

$$\lambda_c = 0,071$$

$$H_c = 0,004 \text{ m}$$

1.11 Perda de carga no 6º joelho

$$\theta = 29^\circ 47' 35'' \quad \theta = 29,793$$

$$\lambda_c = 0,071$$

$$H_c = 0,004 \text{ m}$$

1.12 Perda de carga em estreitamento n.º 3

$$D_1 = 1 \text{ m}$$

$$D_2 = 0,9 \text{ m}$$

$$L = 6 \text{ m}$$

$$S_1 = \pi \cdot D_1^2 / 4 \quad S_1 = 0,785 \text{ m}^2$$

$$S_2 = \pi \cdot D_2^2 / 4 \quad S_2 = 0,636 \text{ m}^2$$

$$H_e = \lambda_e \cdot (V_2^2 - V_1^2) / 2g$$

$$\delta = \text{atan } D_2/L$$

$$\delta = 8,531$$

$$\lambda_e = 0,0025 \cdot \text{Cotg } \delta/2$$

$$\lambda_e = 0,034$$

$$V_1 = Q / S1 \quad V_1 = 1,082 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 1,336 \text{ m/s}$$

$$H_e = 0,001 \text{ m/m}$$

1.13 Perda de carga no 7º joelho

$$\theta = 23^\circ 00' 00''$$

$$\theta = 23^\circ$$

$$\lambda_c = 0,041$$

$$H_c = 0,002 \text{ m}$$

1.14 Perda de carga no 8º joelho

$$\theta = 15^\circ 00' 00''$$

$$\theta = 15^\circ$$

$$\lambda_c = 0,017$$

$$H_c = 0,002 \text{ m}$$

1.15 Perda de carga no 9º joelho

$$\theta = 7^\circ 27' 27''$$

$$\theta = 7,4575$$

$$\lambda_c = 0,004$$

$$H_c = 0,000 \text{ m}$$

1.16 Perda de carga nas válvulas de gaveta

$$\text{Diâmetro de entrada} = D_1 = 0,9 \text{ m}$$

As válvulas encontram-se na posição aberta e emperradas nesta posição

Logo adota-se $\lambda = 0,06$ que é a condição para válvula quase que completamente aberta.

$$\lambda_g = 0,06$$

$$H_g = 0,005 \text{ m}$$

1.17 Perda de carga em alargamento na conexão "Y"

$$\begin{aligned} D_1 &= 0,9 \text{ m} \\ D_2 &= 1,1 \text{ m} \\ L &= 3,35 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_1 &= \pi \cdot D_1^2 / 4 & S_1 &= 0,636 \text{ m}^2 \\ S_2 &= \pi \cdot D_2^2 / 4 & S_2 &= 0,950 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$H_a = \lambda_a \cdot (V_2^2 - V_1^2) / 2g$$

$$\delta = \text{atan } D_2/L$$

$$\delta = 18,178$$

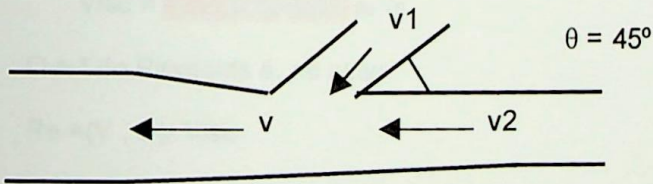
$$\lambda_a = 0,0025 \cdot \text{Cotg } \delta/2$$

$$\lambda_a = 0,016$$

$$\begin{aligned} V_1 &= Q / S_1 & V_1 &= 1,336 \text{ m/s} \\ V_2 & & V_2 &= 0,894 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$H_a = 0,001 \text{ m}$$

1.18 Perda de carga na conexão "Y"



$$J_{y1} = k_1 \cdot v_1^2 / 2 \cdot g \quad k_1 = 0,5$$

$$J_{y2} = k_2 \cdot v_2^2 / 2 \cdot g \quad k_2 = 0,05$$

Para o caso $v_1 = v_2 = 1,336 \text{ m/s}$ Logo

$$H_{y1} = 0,045 \text{ m}$$

$$H_{y2} = 0,005 \text{ m}$$

A perda de carga total na conexão "Y" é:

$$H_{yt} = 0,050 \text{ m}$$

2. Cálculo das perdas de carga para trechos retos dos condutos

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \alpha t$$

- ε Rugosidade equivalente após t anos de uso
- ε_0 Rugosidade equivalente inicial com tubo novo
- α Coeficiente de aumento de rugosidade (milímetros por ano), em média 0,01 a 0,1 mm ao ano em tubos de aço, conforme a melhor ou pior qualidade da proteção recebida pelos mesmos.
- t Anos de uso

$$\begin{aligned} \varepsilon_0 &= 0,2 \text{ Livro Máquinas Motrizes Hidraulicas, Macyntire} \\ \alpha &= 0,05 \text{ Livro Máquinas Motrizes Hidraulicas, Macyntire} \\ t &= 67 \text{ Anos} \end{aligned}$$

$$\varepsilon = 3,55 \text{ mm}$$

Trecho retilíneos do conduto 2

$$\begin{aligned} D_1 &= 1,1 \text{ m} & L_1 &= 550,08 \text{ m} \\ D_2 &= 1 \text{ m} & L_2 &= 511,785 \text{ m} \\ D_3 &= 0,9 \text{ m} & L_3 &= 518,112 \text{ m} \end{aligned}$$

As velocidades em cada trecho serão

$$\begin{aligned} V_1 &= 0,894 \text{ m/s} \\ V_2 &= 1,082 \text{ m/s} \\ V_3 &= 1,336 \text{ m/s} \end{aligned}$$

As rugosidades relativas são

$$\begin{aligned} \varepsilon/D_1 &= 0,003 \\ \varepsilon/D_2 &= 0,004 \\ \varepsilon/D_3 &= 0,004 \end{aligned}$$

A viscosidade cinemática para a água é de

$$\text{Visc} = 0,000001 \text{ m}^2/\text{s}$$

O n.º de Reynolds é, no caso:

$$\text{Re} = (V \cdot D) / \text{Visc}$$

$$\begin{aligned} \text{Re}_1 &= 983866,921 \\ \text{Re}_2 &= 1082253,613 \\ \text{Re}_3 &= 1202504,014 \end{aligned}$$

Os coeficientes de perda de energia são:

$$\begin{aligned} \lambda_{r1} &= 0,027 \\ \lambda_{r2} &= 0,028 \\ \lambda_{r3} &= 0,028 \end{aligned}$$

As perdas de carga em metros de tubulação equivalentes são:

$$\begin{aligned} H_{pr1} &= 0,549 \text{ m} \\ H_{pr2} &= 0,844 \text{ m} \\ H_{pr3} &= 1,490 \text{ m} \end{aligned}$$

O somatório total de perdas para a vazão considerada é:

$$H_t = 2,958 \text{ m}$$

O passo seguinte é o cálculo das perdas de cargas comuns, pois os condutos se unem através de uma conexão "Y", como já foi descrito anteriormente.

Perda de carga comum

A turbinagem de cada máquina é calculada de forma proporcional à vazão considerada; de acordo com a potência dos GG existentes calcula-se a proporcionalidade.

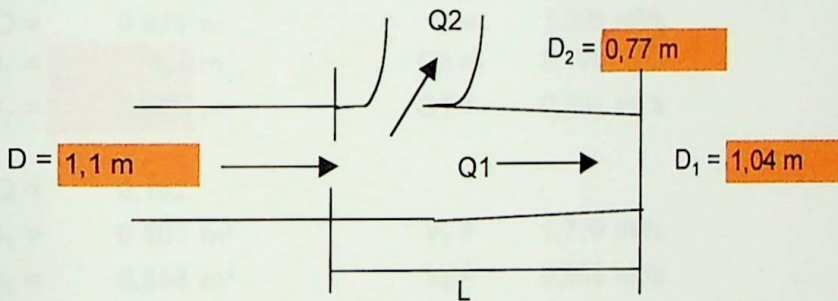
Como consequência do critério adotado, calcula-se a turbinagem proporcional por ponto de saída

Tabela representativa da turbinagem proporcional das máquinas existentes:

N.º da TH	Potência de Placa (kVA)	Fator de Potência (cos ϕ)	Potência Ativa (kW)	Potência relativa (%)	Vazão Relativa (%)
5	875	0,8	700	24,04	24,04
4	425	0,8	340	11,68	11,68
3	425	0,8	340	11,68	11,68
2	875	0,8	700	24,04	24,04
1	875	0,8	700	24,04	24,04
6	165	0,8	132	4,53	4,53
Total	3640		2912	100	100,00

1.18 Estreitamento para a 1ª turbina (TH 5)

Obs.: A vazão neste ponto é o dobro da vazão utilizada nos cálculos anteriores devido a junção dos tubos



Q =	1,7 m³/s	D =	1,1 m
Q2 =	0,409 m³/s	D1 =	1,04 m
Q1 =	1,291 m³/s	D2 =	0,77 m

Q ₂ /Q	D ₂ / D					
	45°		60°		90°	
	0,122	0,34	0,122	0,34	0,122	0,34
0,1	0,4	0,62	0,7	0,67	0,9	1,1
0,3	0,9	0,35	1,3	0,4	3,4	1,3
0,6	5,4	0,6	5,4	0,68	17,3	2,17
1	17,4	2	16,6	1,85		5,2

Q ₂ /Q =	0,240 m³/s	V ₁ =	1,520 m/s
S ₁ =	0,849 m²	V ₂ =	0,878 m/s
S ₂ =	0,466 m²		

$\theta = 90^\circ$ $\lambda_2 = 1,3$

$H_{12} = 0,051 \text{ m}$

$$\lambda_1 = 0,15 \text{ Adotado}$$

$$H_{t1} = 0,018 \text{ m}$$

1.19 Estreitamento para a 2ª turbina (TH 4)

$$D = 1,04 \text{ m}$$

$$Q = 1,291 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D_1 = 0,925 \text{ m}$$

$$Q_2 = 0,198 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D_2 = 0,675 \text{ m}$$

$$Q_1 = 1,093 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_2/Q = 0,154$$

$$S_1 = 0,672 \text{ m}^2$$

$$V_1 = 1,626 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S_2 = 0,358 \text{ m}^2$$

$$V_2 = 0,555 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\theta = 90^\circ$$

$$\lambda_2 = 1,1$$

$$H_{t2} = 0,017 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = 0,15 \text{ Adotado}$$

$$H_{t1} = 0,020 \text{ m}$$

1.20 Estreitamento para 3ª turbina (TH 3)

$$D = 0,925 \text{ m}$$

$$Q = 1,093 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D_1 = 0,8 \text{ m}$$

$$Q_2 = 0,198 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D_2 = 0,675 \text{ m}$$

$$Q_1 = 0,894 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_2/Q = 0,182$$

$$S_1 = 0,503 \text{ m}^2$$

$$V_1 = 1,779 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S_2 = 0,358 \text{ m}^2$$

$$V_2 = 0,555 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\theta = 90^\circ$$

$$\lambda_2 = 1,1$$

$$H_{t2} = 0,017 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = 0,15 \text{ Adotado}$$

$$H_{t1} = 0,024 \text{ m}$$

1.21 Estreitamento para 4ª turbina (TH 2)

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$Q = 0,894 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D_1 = 0,55 \text{ m}$$

$$Q_2 = 0,409 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D_2 = 0,77 \text{ m}$$

$$Q_1 = 0,486 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_2/Q = 0,457$$

$$S_1 = 0,238 \text{ m}^2$$

$$V_1 = 2,044 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S_2 = 0,466 \text{ m}^2$$

$$V_2 = 0,878 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\theta = 90^\circ$$

$$\lambda_2 = 1,1$$

$$H_{t2} = 0,043 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = 0,15 \text{ Adotado}$$

$$H_{t1} = 0,032 \text{ m}$$

1.22 Estreitamento para 5ª turbina (TH 1)

$$D = 0,55 \text{ m}$$

$$Q = 0,486 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D_1 = 0,3 \text{ m}$$

$$Q_2 = 0,409 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D_2 = 0,77 \text{ m}$$

$$Q_1 = 0,077 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_2/Q = 0,841$$

$$S_1 = 0,071 \text{ m}^2$$

$$V_1 = 1,090 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S_2 = 0,466 \text{ m}^2$$

$$V_2 = 0,878 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\theta = 90^\circ$$

$$\lambda_2 = 1,1$$

$$H_{t2} = 0,043 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = 0,15 \text{ Adotado}$$

$$H_{t1} = 0,009 \text{ m}$$

1.23 Curva para a 6ª turbina (TH 6)

Curva circular de 90°

$$D = 0,3 \text{ m}$$

$$S = 0,071 \text{ m}^2$$

$$R = 0,85 \text{ m}$$

$$Q = 0,077 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\theta = 90^\circ$$

$$V = 1,090 \text{ m/s}$$

$$\lambda_c = 0,288$$

$$H_c = 0,017 \text{ m}$$

O total de perdas de carga comuns para a vazão de 1,7 m³/s será:

$$H_c = 0,292 \text{ m}$$

Para que ocorra o menor risco possível, adota-se um procedimento aproximado optando-se pelo pior trajeto, ou seja, aquele que leva a maior perda de carga, no caso, o Conduto 01 adicionado às perdas comuns.

$$H_t = 3,294 \text{ m}$$

Conhecida a perda de carga em função da tubulação existente, tornaram-se conhecidos os limites de vazão para esta condição. Para que fosse possível a determinação da potência disponível na central principal foi construída uma nova planilha, vinculada a esta, onde consideramos a tubulação existente e grupos geradores modernos com valores de rendimento encontrados atualmente no mercado. O resultado é apresentado a seguir.

Cálculo da potência firme disponível na central principal

Com os dados de vazão e perda de carga pode-se calcular a potência disponível na central principal - Pcp, utilizando a seguinte expressão:

$$Pd = g \cdot Q \cdot HI \cdot \eta_{ele} \cdot \eta_{th}$$

Onde:

Q = Vazão (m³/s)

HI = Altura líquida de queda (m)

g = Aceleração da Gravidade (m/s²)

η_{ele} = Rendimento do Gerador elétrico (adimensional)

η_{th} = Rendimento da Turbina hidráulica (adimensional)

A vazão firme considerada é a de 95% do histórico total, ou seja, 1,7 m³/s

$$Q = 1,70 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para esta vazão tem-se a perda de carga calculada em metros.

$$H_{tp} = 3,294 \text{ m}$$

A altura de queda líquida para esta vazão sem se considerar a energia cinética perdida nos tubos de sucção, devido aos valores desprezíveis encontrados (da ordem de 5 cm), é:

$$H_b = 103,47 \text{ m}$$

$$HI = H_b - H_{tp}$$

Onde:

H_b é a altura bruta

HI é a altura líquida

H_{tp} é altura total perdida

$$HI = 100,176 \text{ m}$$

A potência firme disponível na Central Principal admitindo valores de rendimento para equipamentos novos será:

Dados:

$$g = 9,785 \text{ m/s}^2$$

$$Q = 1,70 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$HI = 100,176 \text{ m}$$

Rendimentos adotados:

$$\eta_{ele} = 0,96$$

$$\eta_{th} = 0,9$$

$$Pd = 1439,75 \text{ kW}$$

Arbitrando diversos valores de vazão possíveis e observando os valores de potência correspondentes associados a uma determinada perda de carga, construiu-se a Tabela 3.7 para demonstrar o fato.

Tabela 3.7 – Relação de vazões, potências e perdas de carga associadas		
Q (m ³ /s)	P (KW)	Htp (m)
0,2	174,87	0,047
0,5	436,16	0,288
0,8	694,85	0,733
1,1	949,38	1,383
1,4	1198,2	2,236
1,7	1439,75	3,294
2	1672,49	4,556
2,3	1894,85	6,022
2,6	2105,3	7,692
2,9	2302,26	9,566
3,2	2484,2	11,645
3,5	2649,55	13,927
3,8	2796,77	16,414
4,1	2924,3	19,105
4,4	3030,59	22
4,7	3114,08	25,099
5	3173,23	28,402
5,3	3206,47	31,909
5,6	3212,26	35,62
5,9	3189,04	39,536
6,2	3135,27	43,655
6,5	3049,38	47,979
6,8	2929,83	52,507
7,1	2775,06	57,238

A partir da Tabela 3.7, que associa valores de vazão com valores de potência e perdas de carga, construiu-se os dois gráficos descritos nas Fig. 3.25 e 3.26, considerando que os grupos geradores mantivessem o mesmos rendimentos dentro deste intervalo de vazões através de uma correta operação dos mesmos.

Observar que esta consideração baseia-se em uma operação inteligente, automatizada, que mantém um n.º mínimo de grupos geradores, operando em sua faixa ótima de operação, adequados a condição de vazão exigida no momento.

O fato de existirem diversos grupos geradores (06 no total), de potências variadas, reforça esta consideração.

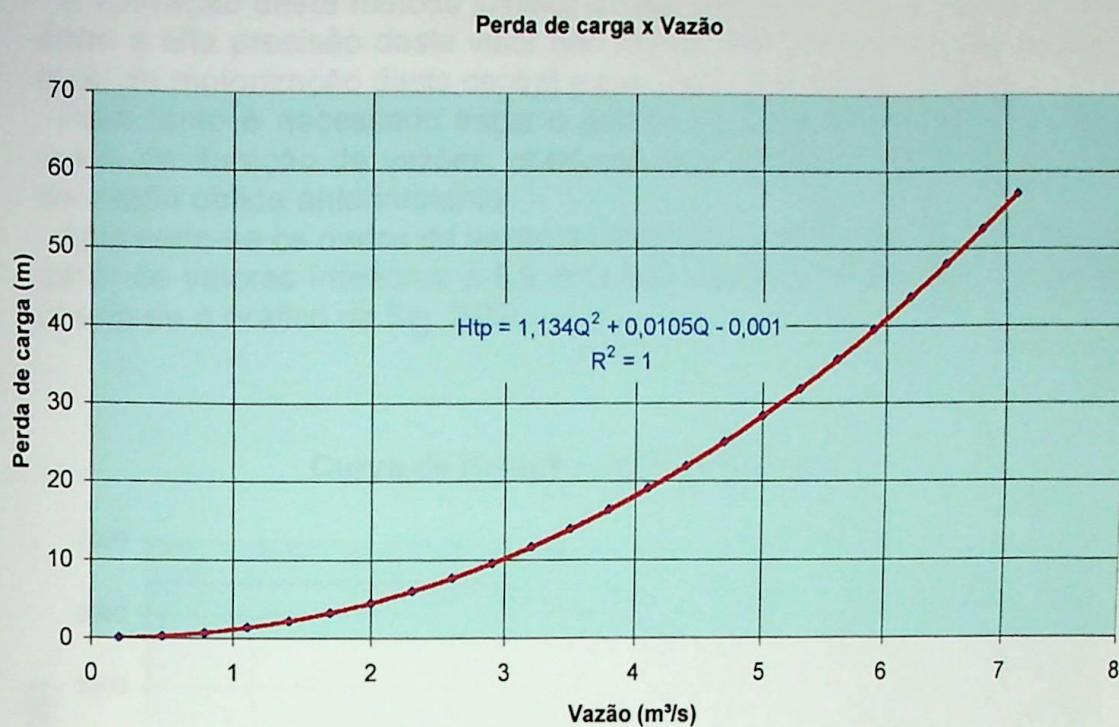


Figura 3.25 – Gráfico Perda de carga x Vazão

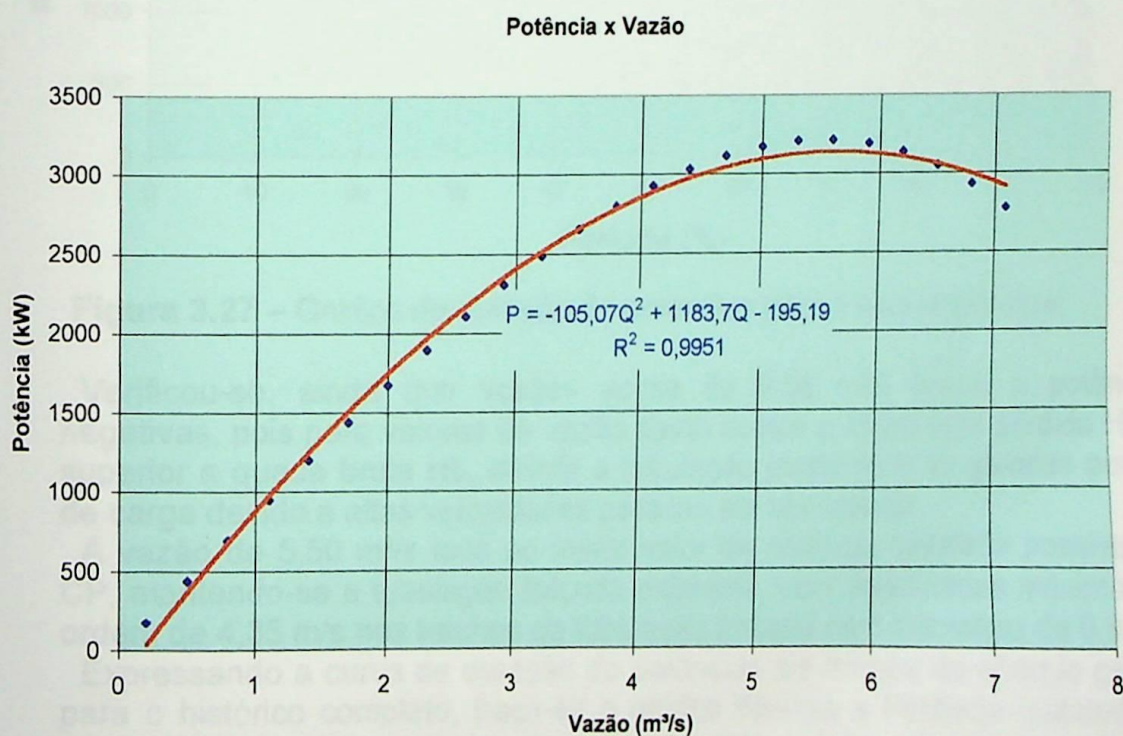


Figura 3.26 – Gráfico Potência x Vazão

Do gráfico da Fig.3.26 observa-se que com uma vazão de 5,5 m³/s a potência da CP atinge seu ponto máximo devido exclusivamente ao fator limitante que é sua tubulação forçada. Acima deste valor de vazão as potências diminuem em função das altas perdas no interior dos condutos.

Para o cálculo da vazão de projeto, observando-se o critério do máximo benefício líquido, utilizou-se o método da determinação gráfica da potência elétrica ótima da central principal.

A utilização deste método justifica-se por tratar-se de uma central já existente, onde a alta precisão deste valor não modificaria qualquer tomada de decisão a nível de motorização desta central e sua atual capacidade instalada.

Para tanto é necessário traçar o gráfico de duração de potências a partir da curva de duração de vazões, obedecendo a expressão da potência em função da vazão obtida anteriormente.

Aplicando-se os dados de vazão do histórico na expressão de potência citada a partir de valores inferiores a $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$ pelos motivos já discutidos anteriormente obtém-se o gráfico da Fig. 3.27.

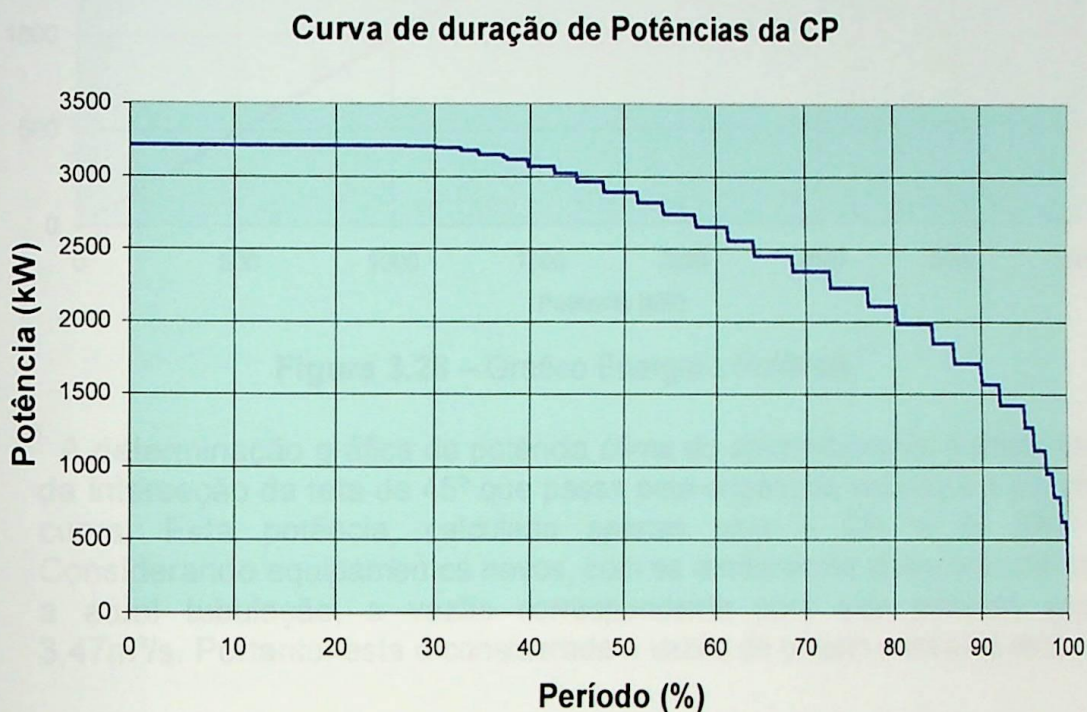


Figura 3.27 – Gráfico de duração de potências para a central principal

Verificou-se, ainda que vazões acima de $9,56 \text{ m}^3/\text{s}$ levam a potências negativas, pois para valores de vazão desta ordem a altura total perdida H_{tp} é superior a queda bruta H_b , devido a tubulação existente e as grandes perdas de carga devido a altas velocidades geradas em seu interior.

A vazão de $5,50 \text{ m}^3/\text{s}$ leva ao maior valor de potência instalada possível na CP, mantendo-se a tubulação forçada existente, com velocidades máximas da ordem de $4,35 \text{ m/s}$ nos trechos da tubulação forçada com diâmetros de $0,9 \text{ m}$.

Expressando a curva de duração de potências em termos de energia gerada para o histórico completo, traça-se o gráfico Energia x Potência instalada da Fig. 3.28, considerando a energia em kW médio. É possível fazê-lo considerando um ciclo hidrológico completo, bastando para tanto considerar o período, em percentagem, equivalente a um ano (8760 hs).

Gráfico Energia x Potência (CP)

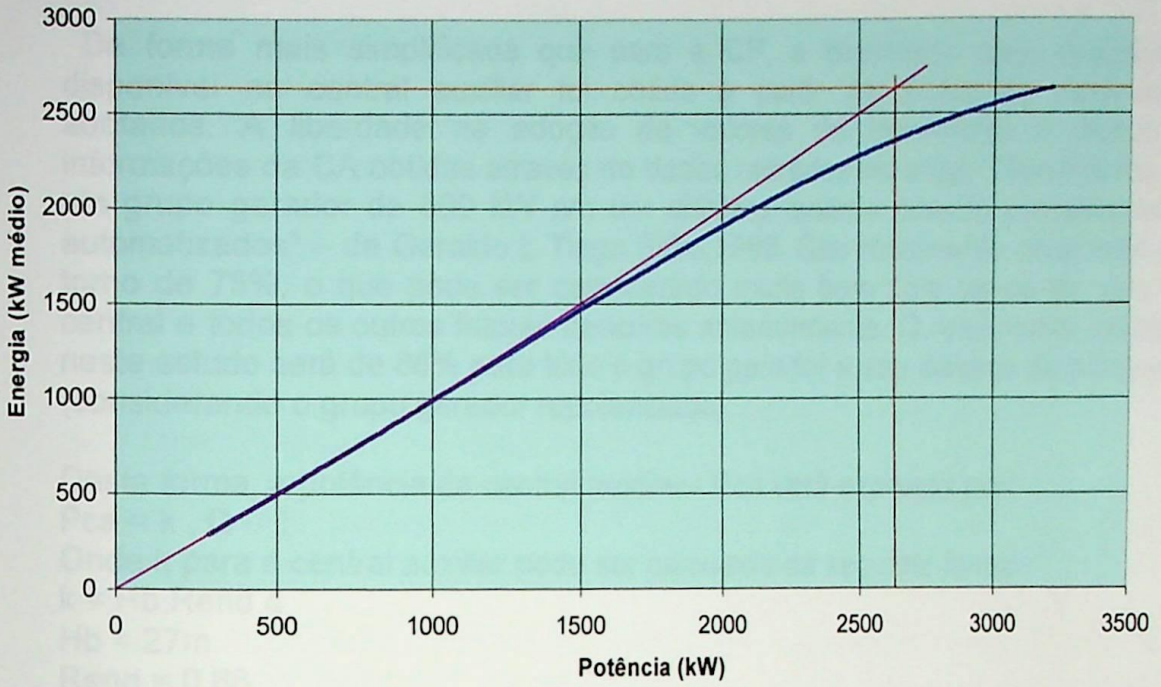


Figura 3.28 – Gráfico Energia x Potência

A determinação gráfica da potência ótima do aproveitamento é obtida através da interseção da reta de 45° que passa pela origem do sistema e a assíntota à curva. Esta potência, calculada apenas para a CP, é de 2600 kW. Considerando equipamentos novos, com os rendimentos vistos anteriormente e a atual tubulação, a vazão correspondente para esta potência será de 3,47m³/s. Portanto, esta é considerada a vazão de projeto para esta central.

3.2.4.3 Análise para a central auxiliar

De forma mais simplificada que para a CP, a expressão para a potência disponível na central auxiliar foi obtida a partir de dados de rendimento adotados. A liberdade na adoção de valores de rendimento é devido a informações da CA obtidas através de dados retirados do artigo “Rendimento de um grupo gerador de 500 kW em um sistema isolado usando procedimentos automatizados” – de Geraldo L Tiago Filho, 1998. Seu rendimento atual está em torno de 75%, o que pode ser considerado muito bom pelo tempo de vida da central e todos os outros fatores descritos anteriormente. O rendimento adotado neste estudo será de 88% para todo o grupo gerador e seu sistema de admissão (considerando o grupo gerador repotenciado).

Desta forma, a potência da central auxiliar - Pca será expressa por:

$$Pca = k \cdot Q$$

Onde k para a central auxiliar pode ser calculado da seguinte forma:

$$k = Hb \cdot \text{Rend} \cdot g$$

$$Hb = 27m$$

$$\text{Rend} = 0,88$$

$$g = 9,785 \text{ m/s}^2$$

$$k = 232,49$$

$$Pca = 232,49 \cdot Q \quad \text{para } Q \leq 3,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para vazões acima deste valor admite-se que seria necessário substituir o grupo hidrogerador existente, pois, atingiria-se valores de potência superiores a 700 kW.

3.2.4.4 Análise para toda a central

A potência de toda a central será o somatório das potências da CP com a CA, ou seja:

$$Pc = Pcp + Pca$$

Tem-se:

$$Pc = -105,07 \cdot Q^2 + 1416,19 \cdot Q - 195,16$$

$$\text{Para } Q \leq 3,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Pc = -105,07 \cdot Q^2 + 1183,7 \cdot Q + 504,81$$

$$\text{Para } 5,5 > Q > 3,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

Em função das vazões médias mensais observadas no sub-item 3.1.1 Estudos Hidrológicos, aplica-se a expressão de potência total a estas vazões e o resultado é uma curva de duração de potências para toda a central, obtida da mesma forma que para a CP, porém observando-se a expressão para potência total. A curva de duração de potências é apresentada na Fig. 3.29, na seção 3.3 Análise técnica econômica financeira.

3.3 – Estudos de Repotenciação e Modernização - R&M

“A modernização de centrais de geração hidrelétrica que apresentam baixos índices de desempenho, bem como rendimentos inaceitáveis deve ser considerada de extrema importância e realizada com o objetivo de incrementar o uso dos recursos naturais sem promover novos impactos ambientais”.

A norma IEEE St. 1147 – 1991 – “Guia para reabilitação de centrais hidrelétricas” foi o primeiro documento a tratar do assunto. Foi publicado em 1992, mas, no Brasil, apenas a partir de 1993 surgiram alguns artigos sobre a questão. Deste momento em diante, surgiram novos conceitos, tais como: “repotenciação”, “modernização” e “recapacitação” de centrais hidrelétricas. De acordo com artigos pesquisados, “reabilitação” é a preocupação de se reconstituir a capacidade operativa em relação a um alto índice de indisponibilidade e também de custos elevados de manutenção. Dentro deste conceito, na maioria das vezes se propõe a modernização da central, que é a implementação de, por exemplo, equipamentos para automação parcial ou até mesmo total dos sistemas agregados aos grupos geradores. A “repotenciação” é consequência da existência, ou não, de excedentes hídricos, margem operativa da turbina e reprojeto do gerador elétrico.

De acordo com CUENOD (junho de 1998) “A instalação de um novo rotor da turbina permite freqüentemente um aumento de 5% ou mais na produção energética anual. Em alguns casos, o aumento atinge valores da ordem de 50%.”

A atual capacidade operativa da central e a esperada capacidade operativa futura a plena carga são apresentadas na Tabela 3.8, com seu respectivo percentual de ganho.

Tabela 3.8 – Expectativa de aumento de capacidade operativa					
Central	GG	Potência			Ganho (%)
		Nominal (kW)	Operativa atual (kW)	Operativa futura (kW)	
CA	01	560	500	700	11
CP	01	700	650	700	7
	02	700	550	700	21
	03	340	300*	340	12
	04	340	300	340	12
	05	700	600	700	14
	06	132	0	132	100
Total		3472	2900	3612	
Total geral:					24,55%

* Nota: O grupo gerador n.º 03 da central principal entrou em operação recentemente.

O assunto têm interesse nacional devido ao conhecido fato que 96% da energia produzida neste país é de origem hidráulica e, muitas delas acima de 30 anos de operação e, por isso próximas de reforma, e, tendo em vista o intervalo de tempo de construção e a evolução tecnológica dos materiais certamente esta virá acompanhada de repotenciação. A expectativa de vida útil de grupos hidrogeradores normalmente é da ordem de até 50 anos, não significando que os mesmos tenham que operar com a mesma capacidade de projeto por todo este período, pois esta atitude pode ser até mesmo antieconômica. Os atuais grupos hidrogeradores fabricados operam até mesmo com cinquenta por cento a mais de potência mantidos o número de pólos e dimensões em relação aos fabricados há pelo menos trinta anos. É adequado, neste momento observar que

a central em questão tem aproximadamente 67 anos, desde sua construção em 1932.

Dentre as várias opções de R&M possíveis para a central, optou-se pela manutenção dos atuais grupos geradores existentes, desde que os mesmos sejam devidamente repotenciados e seja feita uma automação total da central.

O que deve ficar em evidência são as conseqüências de cada provável solução adotada e, independente desta solução, há uma relação de serviços que não podem deixar de ser realizados, sob pena de desativação da central pois são fundamentais e apresentam atualmente uma situação precária, conforme indicado na Tabela 3.9 abaixo:

Tabela 3.9 – Serviços essenciais à Central de Bicas do Meio					
N.º	Componente	Descrição	Serviços	Und	Qte
1	Grade do Rio de Bicas	Precária	Limpeza e recomposição das margens originais	m²	4
2	Grade do Rio Comprido	Precária	Limpeza e recomposição das margens originais	m²	2
3	Resvt. Rib. Quilombo	Assoreado	Limpeza e retirada do lodo	m³	100
4	Canal aberto	Vazamentos	Limpeza e retificação de vazamentos	m	700
5	Reservatório (maior)	Assoreado	Limpeza e retirada do lodo	m³	200000
6	Registro de dreno do reservatório maior	Precária	Substituição do registro	und	1
7	Comp. Vertedouro Reservatório maior	Precário	Substituição das peças de madeira	und	19
8	Comp. Tomada CA	Precárias	Manutenção geral	und	2
9	Comportas tomada d'água CP	Precárias	Manutenção geral	und	2
10	Casa de válvulas	Razoável	Mnt. do sistema de cmdo	und	1
12	Comporta canal fuga, CA	Precária	Substituição das peças de madeira	und	1
13	SE 2,2 kV / 30 kV, CA	Precária	Subst. ou Mnt geral do trafo, 700 kVA	und	1
14	Linha de transmissão, CA	Precária	Instalação de cabo guarda ao longo da linha	m	700
15	Sistema de telecomando, CA	Precário	Substituição do sistema de telecomando.	und	1
16	Reservatório, CP	Assoreado	Desassoreamento	m³	25000
17	Comporta de dreno, Reservatório CP	Precária	Manutenção	und	1
18	Grades da tomada d'água CA e CP	Precária	Sistema de limpeza mecânico	und	2
19	Comportas de tomada d'água, CP	Precária	Manutenção	und	2
20	Registros tubulação forçada	Precário	Manutenção no comando elétrico e manual	und	2
21	Registros de "by pas"	Precário	Substituição	und	2
22	Trafo, SE da CP, 900kVA	Precários	Repotenciação ou substituição por novos	und	2
23	Trafo, SE da CP, 425kVA	Precários	Repotenciação ou substituição por novos	und	2
24	Equip. de cmdo/prot.- 30 kV	Precário	Substituição de todo o sistema de proteção	und	1
25	Linhas de transmissão	Precárias	Instalação de cabo pára-raios	Km	18
27	Sistema emergência (Diesel)	Precário	Manutenção	und	1

3.3.1 O investimento

O investimento necessário para a execução de todos os serviços acima citados e os necessários para a reabilitação de toda a central foi estimado através de pesquisas bibliográficas em documentos que apresentam custos índices de componentes para construção de Pequenas Centrais Hidrelétricas; o resultado é apresentado na Tabela 3.10.

Tabela 3.10 – Estimativa de investimento para repotenciação da Central de Bicas do Meio (Novembro de 1999)					
Item	Descrição	Und	Qte	Unitário (R\$)	Total (R\$)
1	Turbina p/ 875 kVA	und	3	130000,00	390000,00
2	Turbina p/ 425 kVA	und	2	125000,00	250000,00
3	Turbina p/ 165 kVA	und	1	120000,00	120000,00
4	Gerador 875 kVA	und	3	170000,00	510000,00
5	Gerador 425 kVA	und	2	145000,00	290000,00
6	Gerador 165 kVA	und	1	130000,00	130000,00
7	Transformador 900 kVA	und	2	5000,00	10000,00
8	Transformador 425 kVA	und	2	2500,00	5000,00
9	Sistema de proteção, CP	und	1	35000,00	35000,00
10	Quadro de comando, CP	und	1	100000,00	100000,00
11	Cabos, 2,2 kV, 375 A, 3,0 MVA	m	720	22,00	15840,00
12	Cabos, 2,2 kV, 195 A, 3,0 MVA	m	480	22,00	10560,00
13	Cabos, 2,2 kV, 75 A, 3,0 MVA	m	240	22,00	5280,00
14	Cabos, 2,2 kV, 375 A, 3,0 MVA	m	80	22,00	1760,00
15	Sist. Protç Desc Atm na LT – 18 km	und	2	9000,00	18000,00
16	Regulador velocidade p/ TH 875 kVA	und	2	70000,00	140000,00
17	Regulador velocidade p/ TH 425 kVA	und	1	70000,00	70000,00
18	Regulador velocidade p/ TH 165 kVA	und	1	30000,00	30000,00
19	Sistema de Automação	und	1	500000,00	500000,00
20	Sistema de proteção, CA	und	1	2500,00	2500,00
21	Quadro de comando, CA	und	1	25000,00	25000,00
22	Turbina 700 kW, CA	und	1	130000,00	130000,00
23	Gerador 700 kW	und	1	160000,00	160000,00
24	Trafo 700 kVA	und	1	3000,00	3000,00
25	Regulador velocidade p/ TH 700 kVA	und	1	70000,00	70000,00
26	Desassoreamento reservatório CA	m ³	200000	0,50	100000,00
27	Desassoreamento reservatório CP	m ³	25000	0,50	12500,00
28	Desassoreamento reservatório Quilombo	m ³	5000	0,50	2500,00
29	Registro de dreno reservatório CA	und	2	20000,00	40000,00
30	Comporta de dreno reservatório CP	und	1	1500,00	1500,00
31	Comporta nível reservatório CA	und	19	100,00	1900,00
32	Comporta da tomada d'água CP	und	2	500,00	1000,00
33	Comporta da tomada d'água CA	und	2	500,00	1000,00
34	Eventuais (aproximadamente 5%)				150000,00
Total(R\$)					3.332.340,00

Nota:

- . No item 31 o diâmetro interno do tubo é 900 mm e trata-se de registro do tipo gaveta
- . No item 32 a comporta é uma Chapa metálica 1 x 1m acionada manualmente por um fuso de eixo prolongado
- . No item 33 as comportas são compostas por peças de madeira com tratamento a base de creosoto (betume).

3.3.2 Comentários:

I – No custo de desassoreamento do reservatório maior está embutido o valor da recomposição das grades dos Ribeirões de Bicas e Comprido.

II – No custo de desassoreamento da barragem do Ribeirão Quilombo está embutido o valor da retirada de vazamentos de seu canal aberto

III – No custo de automação da Central estão incluídos os valores de:

- a. Sistema de comando da casa de válvulas
- b. Substituição do sistema de telecomando da CA
- c. Manutenção do acionamento do comando elétrico dos registros da tubulação forçada
- d. Sistema de limpeza mecânico das grades da tomada d'água da CA e da CP
- e. Manutenção do sistema de emergência (Diesel)

IV – Os custos estimados para turbinas hidráulicas foram obtidos através de uma fração (aproximadamente 1/3) do valor de turbinas novas de mesma potência que as existentes calculados por preços índices obtidos através de cotação realizada para um aproveitamento hidrelétrico próximo ao local da Central (PCH “Ninho da Águia”, no Município de Delfim Moreira em 1997)

V – Os custos estimados para os geradores elétricos são para geradores novos, por se tratarem de equipamentos com quase 70 anos de uso. O avanço tecnológico no tocante ao material de seu núcleo, nível de isolamento e sistema de ventilação levariam a um preço de repotenciação próximo ao valor de um novo.

VI – Os custos estimados para os transformadores existentes foram obtidos através de uma fração (aproximadamente 1/7) do valor de transformadores novos de mesma potência que os existentes calculados por preços índices obtidos através da mesma cotação citada anteriormente.

VII – Os custos estimados para os reguladores de velocidade foram obtidos através de uma consulta direta a Voith Hydro, na pessoa do Sr José Cláudio Mazzoleni Eng. O mesmo apresentou um artigo sobre “Regulador compacto para turbinas hidráulicas” no XV SNPTEE realizado em Foz do Iguaçu – Paraná de 17 a 22 de Outubro de 1999. Quando consultado pessoalmente garantiu, a aplicação de uma mesma unidade hidráulica em duas unidades geradoras, desde que estas apresentassem algumas características básicas como: operação em paralelo, mesma rotação e uma disposição física que favoreça a instalação da unidade hidráulica.

VIII – Os custos de desassoreamento dos reservatórios foram obtidos através de custos índices pesquisados em pequenas firmas da própria região.

IX – Os demais custos foram obtidos através dos custos índices apresentados no Livro Centrais Hidrelétricas – Estudos para Implantação, referenciado na bibliografia deste trabalho.

X – O custo de automação foi obtido tendo por base os custos da obra de automação total realizada na PCH Eloy Chaves, pertencente à CPFL, no Município de Espírito Santo do Pinhal - SP, levando em consideração um número maior de máquinas, a presença de dois reservatórios, duas centrais e a aquisição de novos reguladores compactos de velocidade acionando mais de uma turbina quando possível.

XI – O custo de fornecimento de energia elétrica, por parte da concessionária local durante a execução de tais obras, não foi considerado devido à grande

flexibilidade de operação oferecida pelo fato da existência de vários grupos geradores e, também, de duas Centrais. É plenamente possível e viável o estudo de um cronograma que viabilize a obra de reabilitação desta Central de tal forma que a aplicação do investimento seja gradual, existindo sempre grupos geradores operando para que não seja interrompido o fornecimento de energia à fábrica.

3.4 – Análise técnico econômica financeira

Esta análise tem a finalidade de obter os novos parâmetros básicos da central, conseqüência da aplicação do investimento, os quais são referências para as conclusões realizadas no próximo capítulo.

3.4.1 – Duração das potências:

A curva de duração de potências, discutida em 3.1.4.4, é apresentada na Fig. 3.29.

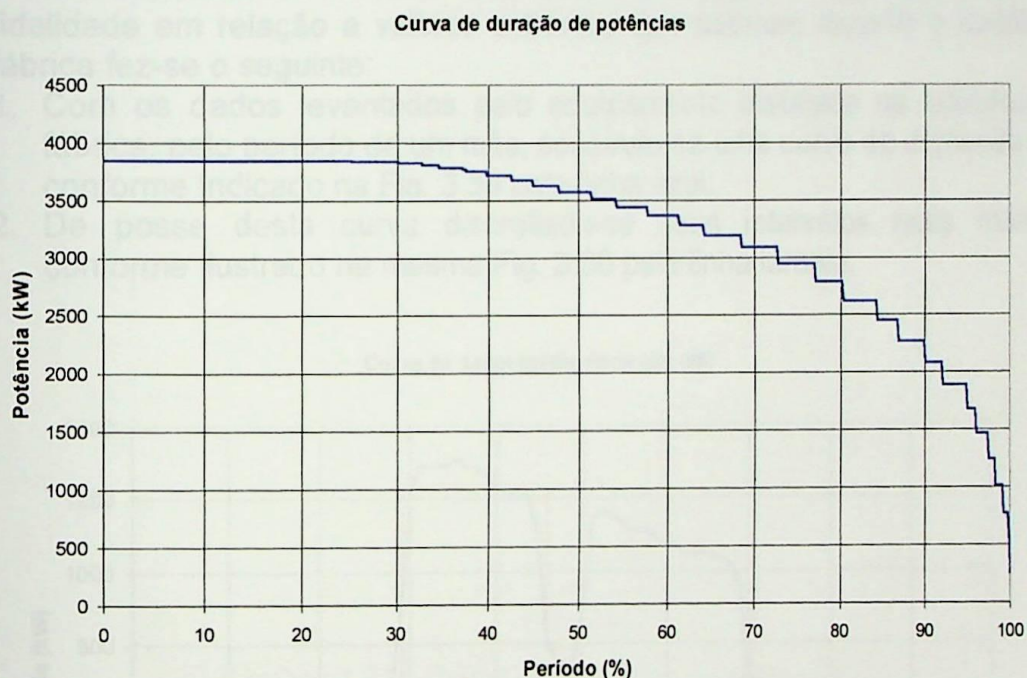


Figura 3.29 - Curva de duração de potências

3.4.2 – Duração da demanda

A partir de dados fornecidos pela administração da própria central, construiu-se a Tabela 3.11, contendo os consumos e as demandas médias mensais correspondentes de todo o ano de 1998:

Tabela 3.11 – Consumos médios mensais de 1998

MÊS	Consumo MWh	Demanda Média (kW)
Jan	472,21	655,85
Fev	426,70	592,64
Mar	502,31	697,65
Abr	488,55	678,54
Mai	514,37	714,40
Jun	581,27	807,32
Jul	556,01	772,24
Ago	526,18	730,81
Set	502,20	697,50
Out	498,88	692,89
Nov	488,36	678,28
Dez	381,33	529,62

Com a finalidade de se obter uma curva de duração de demandas com maior fidelidade em relação a valores extremos que ocorrem durante o cotidiano da fábrica fez-se o seguinte:

1. Com os dados levantados pelo equipamento instalado na subestação da fábrica, pelo período de um mês, construiu-se uma curva de demanda média, conforme indicado na Fig. 3.30 pela linha azul.
2. De posse desta curva discretizou-se seus intervalos mais marcantes, conforme ilustrado na mesma Fig. 3.30 pela linha laranja.

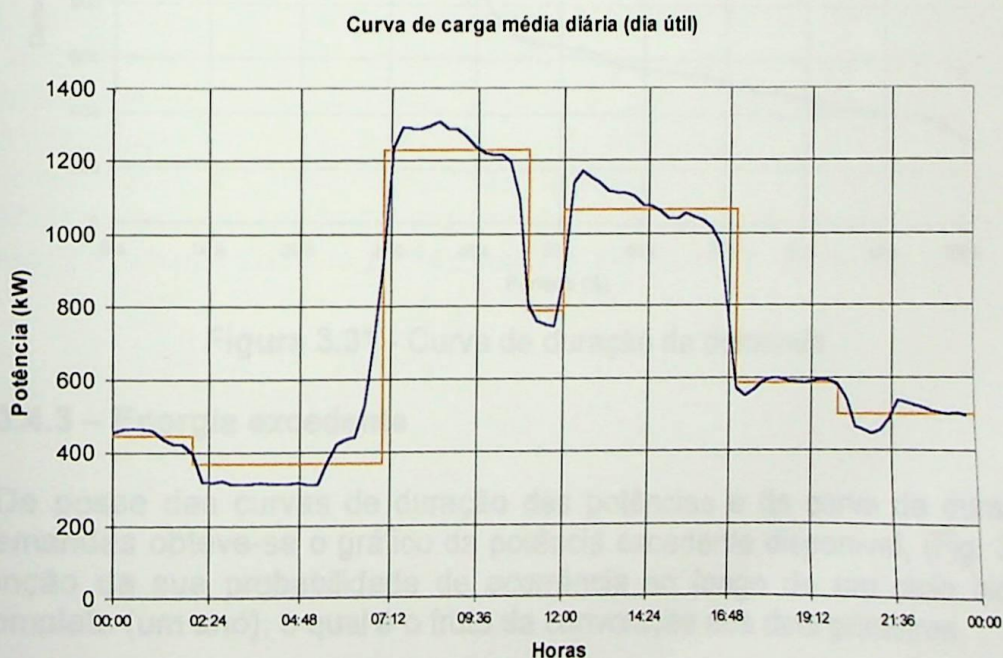


Figura 3.30 - Discretização da curva de carga

3. Calculou-se então a porcentagem dos valores destes intervalos em relação a demanda média mensal deste mês. O resultado está na Tabela 3.12.

Tabela 3.12 – Porcentagem dos intervalos em relação a demanda média mensal	
Intervalos	Valor Índice (%)
00:00 - 02:00	71,38
02:00 - 07:00	59,15
07:00 - 11:00	197,68
11:00 - 12:00	126,55
12:00 - 17:00	171,35
17:00 - 20:00	93,98
20:00 - 00:00	80,06

4. Com os valores percentuais da Tabela 3.12 e as demandas mensais de todo o ano de 1998, calculou-se a curva de duração de demandas (Fig. 3.31) influenciada pelos valores extremos da curva de demanda média real da Fábrica.

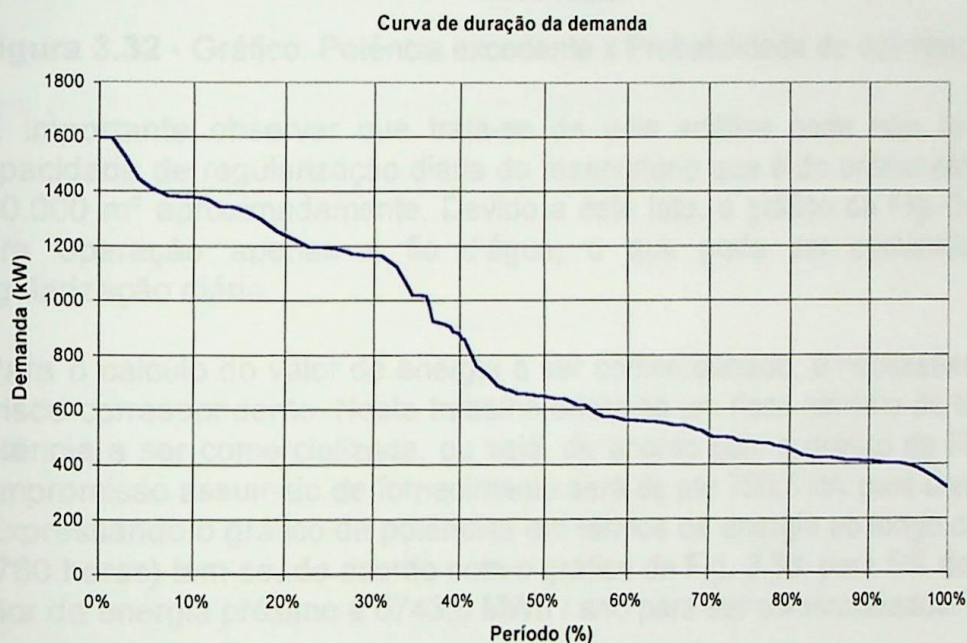


Figura 3.31 - Curva de duração da demanda

3.4.3 – Energia excedente

De posse das curvas de duração das potências e da curva de duração das demandas obteve-se o gráfico da potência excedente disponível, (Fig. 3.32) em função da sua probabilidade de ocorrência ao longo de um ciclo hidrológico completo (um ano), o qual é o fruto da convolução dos dois primeiros.



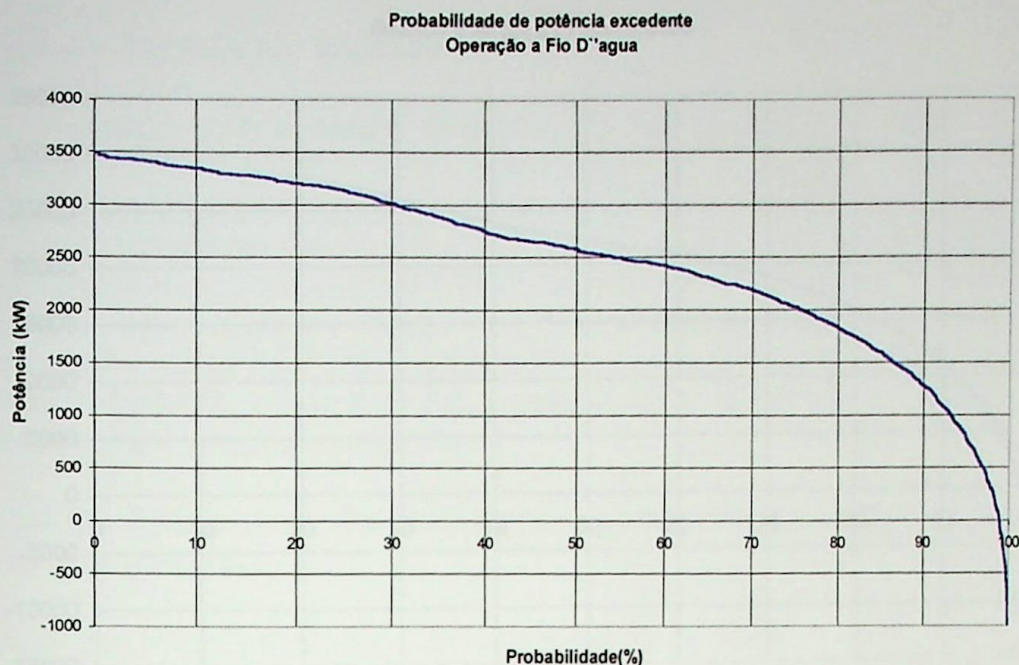


Figura 3.32 - Gráfico: Potência excedente x Probabilidade de ocorrência

É importante observar que trata-se de uma análise onde não se utiliza a capacidade de regularização diária do reservatório que é da ordem estimada de 800.000 m³ aproximadamente. Devido a este fato, o gráfico da Fig. 3.32 é real para operação apenas a fio d'água, o que pode ser otimizado com a regularização diária.

Para o cálculo do valor de energia a ser comercializado, é necessário analisar o risco correspondente. Neste trabalho adota-se um risco máximo de 5% para a potência a ser comercializada, ou seja, de acordo com o gráfico da Fig. 3.32 o compromisso assumido de fornecimento será de até 780,5 kW para demanda.

Expressando o gráfico de potências em termos de energia ao longo de um ano (8760 horas) tem-se, de acordo com o gráfico da Fig. 3.33, para 5% de risco um valor de energia próximo a 6743,6 MWh / ano para ser comercializada.

Gráfico Energia x Probabilidade

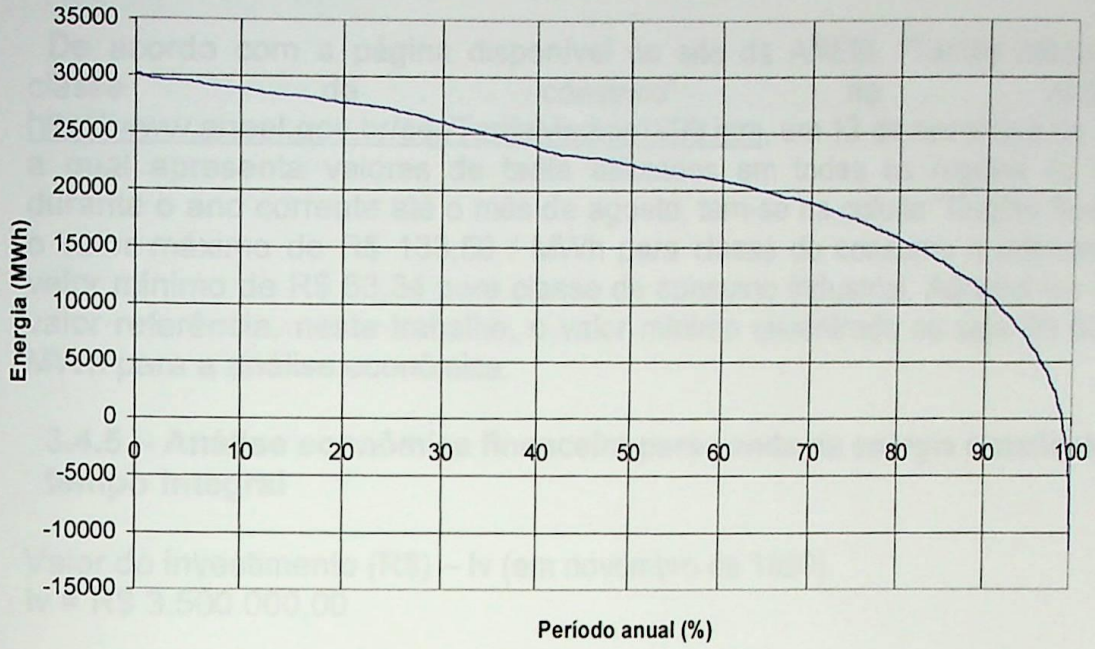


Figura 3.33 - Gráfico: Energia excedente anual x Probabilidade de ocorrência

Para uma visualização melhor construiu-se o gráfico da Fig. 3.34 que demonstra diretamente a relação Energia excedente x Risco e em detalhe a faixa em verde da energia pretendida para futura comercialização.

Gráfico: Energia Excedente x Risco

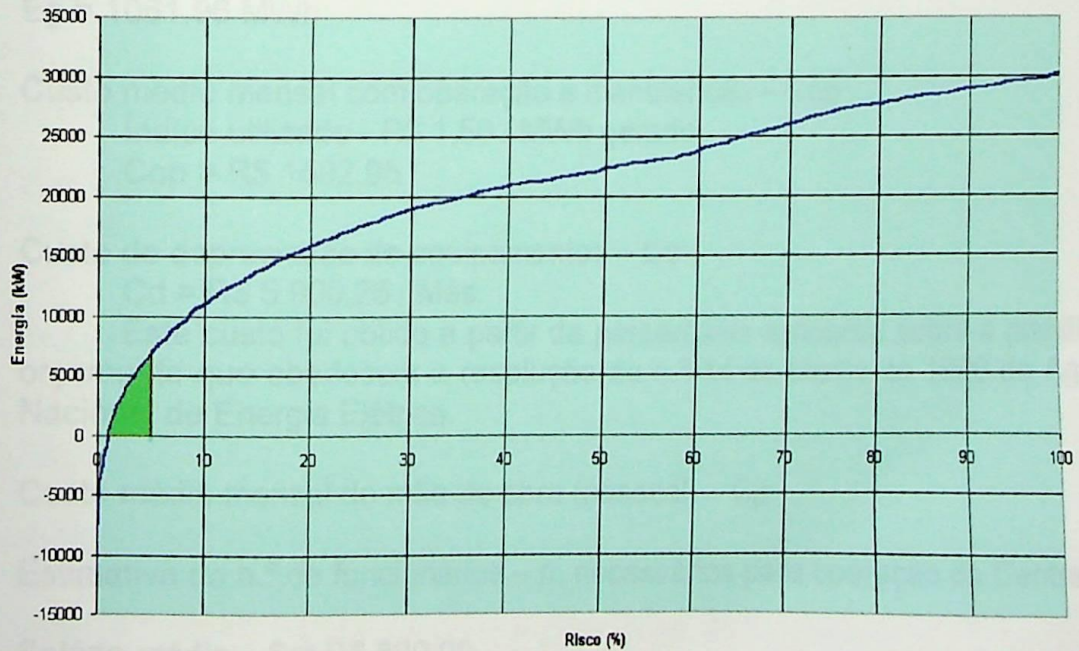


Figura 3.34 – Gráfico: Energia excedente x Risco

3.4.4 – Tarifa a ser aplicada

De acordo com a página disponível no site da ANEEL “Tarifas médias por classe de consumo” no endereço <http://www.aneel.gov.br/ser/TarifaMedias1999.htm>, em 12 de novembro de 1999, a qual apresenta valores de tarifa utilizados em todas as regiões do Brasil durante o ano corrente até o mês de agosto, tem-se na coluna “Região Sudeste” o valor máximo de R\$ 133,50 / MWh para classe de consumo residencial e o valor mínimo de R\$ 63,34 para classe de consumo industrial. Adotaremos como valor referência, neste trabalho, o valor mínimo encontrado ou seja R\$ 63,34 / MWh para a análise econômica.

3.4.5 – Análise econômica financeira para venda da energia excedente em tempo integral

Valor do investimento (R\$) – Iv (em novembro de 1999)

$$Iv = R\$ 3.500.000,00$$

Energia média consumida pela Fábrica / mês – Ef

$$Ef = 500 \text{ MWh}$$

Risco de fornecimento da energia – R

$$R = 5\%$$

Energia média comercializada / mês – Ex

$$Ex = 561,96 \text{ MWh}$$

Energia média mensal gerada total – Eg

$$Eg = 1061,96 \text{ MWh}$$

Custo médio mensal com operação e manutenção – Cop

Índice utilizado - R\$ 1,50 / MWh gerado.

$$Cop = R\$ 1592,95$$

Custo de depreciação de equipamentos – Cd

$$Cd = R\$ 5.900,26 / \text{Mês}$$

Este custo foi obtido a partir da percentuais aplicados sobre a planilha de orçamento que obedecem a resolução de n.º 44 de Março de 1999 da Agência Nacional de Energia Elétrica.

Custo médio mensal de mão de obra (pessoal) – Cp

Estimativa do n.º de funcionários – n, necessários para operação da Central – 05

Salário médio – Sm R\$ 800,00

Encargos - Ec: 112%

$$C_p = n \cdot Sm \cdot Ec$$

$$C_p = R\$ 8480,00$$

Custo médio total mensal – Ct

$$C_t = C_p + C_{op} + C_d$$

$$C_t = R\$ 15.973,21$$

Custo índice do MWh – Ci

$$Ci = R\$ 15,04 / MWh$$

Menor valor cobrado, em relação ao tipo de tarifação, pela concessionária local para atendimento total da fábrica – Vm (Valor obtido para valores de tarifa CEMIG no mês de setembro de 1999)

$$Vm = R\$ 51.180,00 / Mês$$

Tarifa de venda da energia excedente a ser comercializada – Tex

Valor adotado conforme sub-item anterior

$$Tex = R\$ 63,34$$

Receita média mensal – Rcm

$$Rcm = R\$ 70.801,65$$

Receita média anual – Ra

$$Ra = R\$ 849.619,82$$

Taxa de juros ao ano aplicada – i

$$i = 12\% / \text{Ano}$$

Tempo de retorno do investimento – n

$$t = \frac{\text{Log}\left(\frac{R_a}{R_a - Iv \cdot i}\right)}{\text{Log}(1+i)} \quad t = 6,02 \text{ Anos.}$$

Com as condições adotadas em aproximadamente 6 anos e 1 mês o investimento será amortizado.

Em 30 anos, mantida a atual taxa de juros, teríamos um fator de recuperação de capital - Frc de:

$$\text{Frc}(i,n) = \left(\frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right)$$
$$\text{Frc}(i,n) = \left(\frac{1.12 \cdot (1+1.12)^{10}}{(1+1.12)^{10} - 1} \right) \quad \therefore \text{Frc}(i,n) = 0,124$$

Nota: O fator de recuperação de capital – Frc foi calculado para 30 anos devido ao fato de tratar-se de uma repotenciação.

Logo tem-se um Fator de valor presente - Fvp, da ordem de

$$Fvp = \frac{1}{\text{Frc}} \quad \therefore Fvp = 8,055$$

O valor presente líquido – Vpl:

$$Vpl = Ea \cdot Fvp - Iv \quad \therefore Vpl = R\$ 3.343.843,93$$

A taxa interna de retorno – TIR, que representa a taxa que torna nulo o valor presente líquido do projeto em determinado período de tempo estipulado. Ou seja, é o valor de i que torna a equação abaixo verdadeira para uma expectativa de vida útil da Central de 30 anos:

$$Ea \cdot \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)_n} \right) - Iv = 0$$

$$TIR = 24,24\%$$

3.4.6 – Análise econômica financeira para venda da energia excedente em horário de ponta

A utilização do reservatório de regularização diária para operação em carga máxima durante o horário de ponta se mostra injustificada, pois a mesma é diretamente influenciada pela limitação de seus condutos forçados.

Uma rápida análise para esta provável condição resulta em:

Volume diário mínimo de entrada no reservatório - V_{md} (m^3), considerando-se a vazão firme de 95% do período

$$V_{md} = (24 * 60 * 60)s * 1,7m^3/s$$

$$V_{md} = 146.880 m^3$$

Para uma potência média - P_m da ordem de 845,51 kW, teria-se uma vazão média diária, - Q_{md} , da ordem de:

$$P_m = 845,51 \text{ kW}$$

$$Q_{md} = 0,78 m^3/s$$

Em termos de volume médio diário, - V_{de} , utilizado para gerar a energia necessária à fábrica tem-se:

$$V_{de} = Q_{md} * 24 * 60 * 60$$

$$V_{de} = 67.392 m^3$$

O volume diferencial, V_d , entre V_{md} e V_{de} praticamente é a potência excedente firme que a Central pode considerar para efeito de negócios: $V_d = V_{md} - V_{de}$

$$V_d = 79.488,00 m^3$$

O horário de término das atividades da fábrica é exatamente às 17:00hs. Sua demanda média durante o intervalo do horário de ponta da concessionária é de 580 kW e seu consumo médio da ordem de 1,63 MWh.

Concentrando todo este volume diferencial para fornecimento no horário de ponta teríamos, uma vazão neste intervalo de aproximadamente, 7,36 m^3/s .

Como por limitação de condutos forçados a vazão que maximiza a potência da Central é de 5,5 m^3/s considera-se esta para efeito de cálculos.

Neste intervalo, com todas as máquinas operando, tem-se uma potência máxima de 3612 kW. O excedente é da ordem de 3,0 MW, este em termos de energia, durante o horário de ponta da ordem de 9,0 MWh.

Em um mês tem-se 180 MWh considerando-se 20 dias úteis por mês. Supondo um valor de tarifa idêntico ao valor utilizado em setembro de 1999 para modalidade Horo-sazonal azul (CEMIG) para consumo na ponta úmida (R\$ 90,51 / MWh) teria-se aproximadamente uma Receita média anual – Ra de:

$$Ra = R\$ 617.983,08$$

3.5 Análise comparativa das opções, considerando valores atuais do mercado financeiro

Para se obter valores de referência, para fins de conclusão, alguns indicadores financeiros, de baixo risco foram utilizados. O resultado é apresentado nos itens 3.5.1, 3.5.2 e 3.5.3 .

3.5.1 – Valores de mercado

A taxa de rentabilidade média anual, encontrada em 16 de novembro de 1999, observado-se alguns tipos de investimento de pequeno risco, está ilustrada na Tabela 3.13.

Tabela 3.13 – Rentabilidade anual de outros investimentos			
Tipo de investimento	Entidade Financeira.	Rent. Ano Média (%)	Cotação Data
Poupança	Banco Brasil	11,07	01/12
FIF Curto Prazo	Bradesco	7,63	16/11
FIF Empresa DI 60	Bradesco	22,13	16/11
Principal Protegido II	Bradesco	22,82	16/11
Balanceado – Moderado	Bradesco	25,56	16/11

3.5.2 – Análise comparativa: Tempo integral x Ponta

Quando comparadas, as receitas obtidas com a venda em horário integral e a venda apenas no horário de ponta, rapidamente conclui-se que a venda de energia em tempo integral revela-se um investimento de maior atratividade. Este fato pode ser melhor observado no gráfico comparativo, presente na Fig. 3.35, que relaciona a taxa interna de retorno – TIR para diversos valores de tarifa, tanto para horário integral como para a ponta.

Gráfico comparativo: TIR x Tarifa

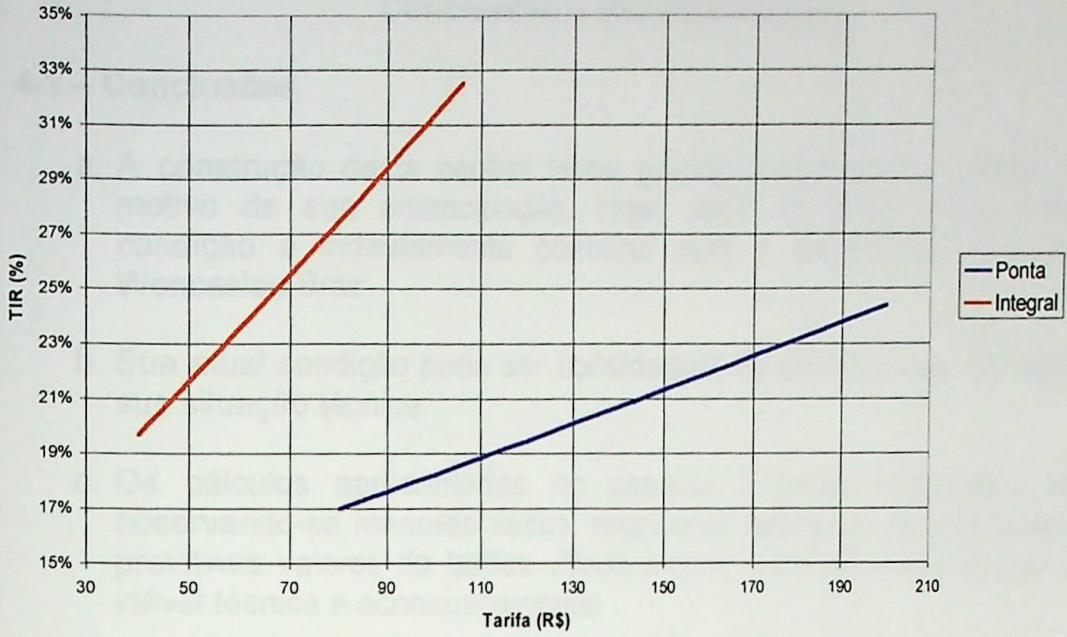


Figura 3.35 – Gráfico comparativo: TIR x Tarifa

3.5.3 – Conclusão parcial

Percebe-se que a opção de reabilitação desta central, juntamente com a venda da energia excedente, em horário integral, revela-se competitiva, em relação à rentabilidade anual de outros investimentos, de pequeno risco, do mercado financeiro.

Observa-se ainda, que as condições analisadas foram realizadas para a central operando com risco de fornecimento de apenas 5%.

Capítulo 4

Conclusões e Recomendações

4.1 – Conclusões

- a. A construção desta central levou grande crescimento à região e foi o motivo de sua emancipação. Hoje, após 67 anos, ela perdeu esta condição e indiretamente contribui para o declínio do Município de Wenceslau Bráz.
- b. Sua atual condição pode ser considerada de extremo risco em relação a sua situação técnica.
- c. Os cálculos apresentados no capítulo 3 foram elaborados sempre observando-se menores riscos, orçamento estimativo e subestimando-se prováveis valores de tarifas. Ainda assim, o investimento apresentou-se viável técnica e economicamente.
- d. O principal fator limitante são seus condutos forçados, os quais limitam a potência da central e também seu horizonte de geração em curtos intervalos de tempo, no horário de ponta por exemplo.
- e. Qualquer possível cronograma para reabilitação desta central poderá prever, em sua execução, sempre a presença de grupos geradores em operação, de modo a evitar que a alimentação da fábrica seja interrompida. Esta liberdade deve-se à presença de dois pontos de aproveitamento e, também, do grande n.º de grupos geradores na central principal.
- f. Em relação ao valor do investimento, por tratar-se de um orçamento estimativo, parte do mesmo foi obtida por porcentagens de equipamentos novos. Certamente o mesmo sofrerá alterações, para menos, em relação ao seu valor final. Para melhor visualizarmos o tempo de retorno em relação a outros possíveis valores de investimento e também de tarifas, construiu-se o gráfico da Fig. 4.1, que apresenta o tempo de retorno em função de valores de tarifa para diversos montantes de investimento.

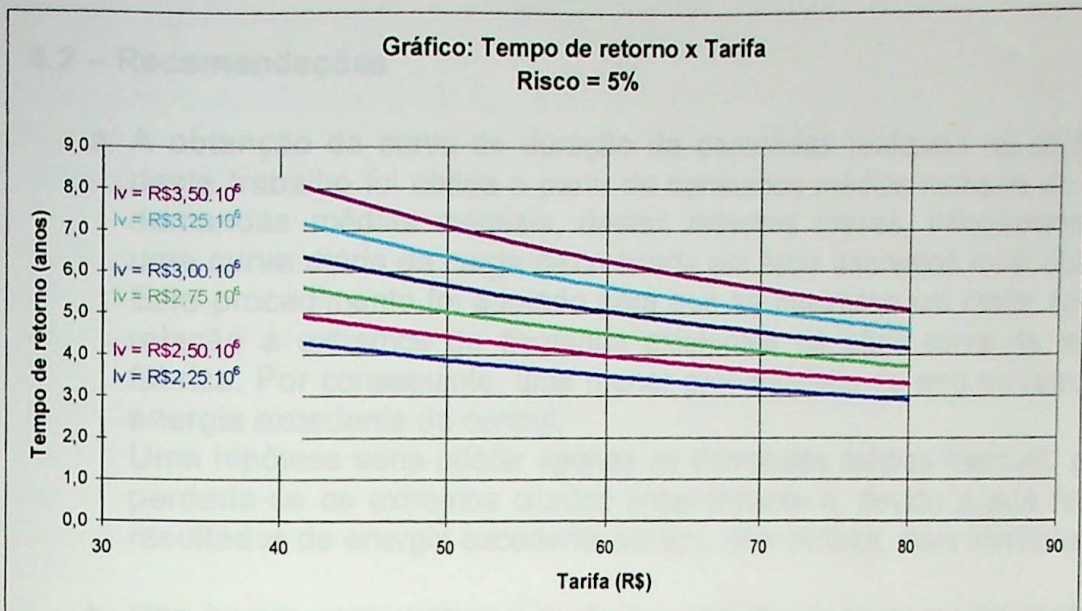


Figura 4.1 – Tempo de retorno x tarifa para risco de 5%

- g. Se forem mantidas as mesmas condições, exceto o risco, e este for aumentado para 10% o novo panorama é ilustrado na Fig. 4.2.

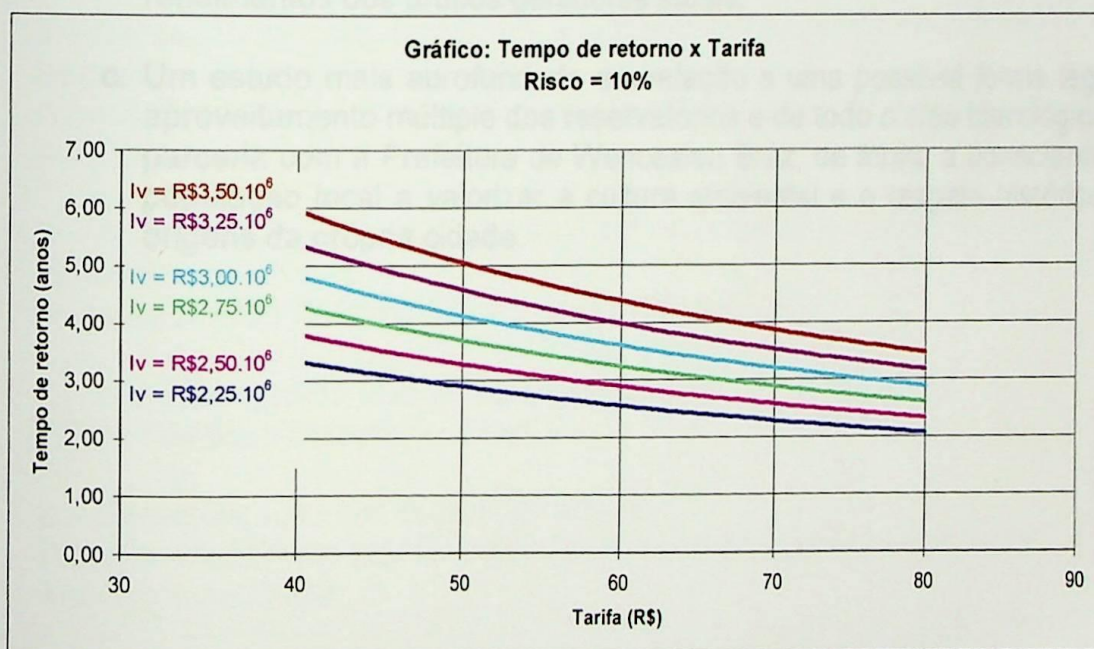


Figura 4.2 – Tempo de retorno x tarifa para risco de 10%

ou seja, o tempo de retorno diminuirá sensivelmente para as mesmas condições de investimento e tarifas

- h. O investimento na reabilitação resultará em um aumento estimado de 24,55 % na capacidade operativa da Central, quando operando a plena carga, sem que para tal seja necessário alterar o número de grupos geradores existentes. Isto representa um aumento de aproximadamente 500kW com impacto ambiental praticamente desprezível.
- i. A apresentação deste trabalho, em sua estrutura de tópicos, é uma tentativa de sistematização para Reabilitação de Pequenos Aproveitamentos Hidroenergéticos.

4.2 – Recomendações

- a. A obtenção da curva de duração de demandas realizada no capítulo 3 deste trabalho foi obtida a partir de consumos médios mensais de 1998, demandas médias mensais, destes mesmos meses, influenciadas por uma curva diária de carga discretizada em seus intervalos mais distintos. Este procedimento foi adotado para que se houvesse um maior rigor em relação a extremos de demanda existentes na atual curva da referida fábrica. Por conseguinte, uma menor probabilidade de erro no cálculo da energia excedente da central.
Uma hipótese seria adotar apenas as demandas médias mensais, porém perderia-se os extremos citados anteriormente e, devido a este fato, os resultados de energia excedente seriam, com certeza, mais otimistas.
- b. Não houve neste trabalho nenhuma medição direta de vazão. Todas as vazões citadas foram obtidas por métodos indiretos, através de leituras de potência e rendimentos observados através de comparações com dados de placa. Recomenda-se, para prosseguimento deste trabalho, um exercício de medição direta de vazões para a determinação real dos rendimentos dos grupos geradores atuais.
- c. Um estudo mais aprofundado em relação a uma possível forma legal de aproveitamento múltiplo dos reservatórios e de todo o sítio hidrológico, em parceria com a Prefeitura de Wenceslau Brás, de forma a conscientizar a população local a valorizar a cultura ambiental e o resgate histórico das origens da própria cidade.

Bibliografia

I. Artigos consultados do III Congresso Latino-Americano de Geração e Transmissão de Energia Elétrica realizado em campos do Jordão – SP de 09 a 13 de Novembro de 1997.

1 – Repotenciação de Hidrogeradores: Uma proposta de metodologia de análise e implantação.

Aderbal de A. P. Júnior; Fábio S. F. Sá – Brasil

2 – Potencial energético das Pequenas Centrais Hidrelétricas analisadas sob a ótica ambiental, levando-se em consideração a área ocupada pelos reservatórios.

Carlos A. Mariotoni; Luis F. Badanhan – Brasil

3 – Política de Rejuvenescimento e Repotenciação de PCH'S Wanderley I. de Souza; Marco A. Nucci – Brasil

4 – Automação de Pequenas Centrais Hidrelétricas

Wanderley I. de Souza; Marco A. Nucci – Brasil

5 – Utilização de modelagem para escolha do índice de motorização de Pequenas Centrais Hidrelétricas

Aloysio P. M. Saliba; Robson S. Filadelfo dos Santos; Marcos Pinotti; Carlos B. Martinez - Brasil

6 – Análise preliminar das Turbinas Hidráulicas operando com velocidade variável.

Augusto Nelson C. Viana; Harley Souza Alencar – Brasil

7 – Hidrogeração de energia em novos tempos.

Pedro Henrique Marques – Brasil

8 – Caracterização dos custos das PCH'S

Wagner José Oliva; Luiz H. Nobre Avellar; Luiz R. Carrocci; José Carlos Florençano – Brasil

II. Artigos consultados da 5.^a Reunião do Grupo de Trabalho sobre Hidromecânica, realizada em Montevideu – Uruguai de 11 a 14 de Maio de 1999.

1 – PCH de baixa queda.

Zulcy de Souza – Brasil

2 – Análisis crítico de los critérios adoptados para la renovación de la Central Hidroeléctrica Dr. Gabriel Terra

Bernardo Ravezzani; Jorge Ferreira

III. Artigo consultado do XIV SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica realizado em Belém – PA em outubro de 1997.

1 – Modernização de Turbinas hidráulicas: Uma lucrativa, renovável fonte de energia

Roland Cuenod; Sandro Martelli; Roberto Varela Freitas

IV. Artigos consultados da XV SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica realizado em Foz do Iguaçu – Paraná – Brasil de 17 a 22 de outubro de 1999

1 – Modernização de Reguladores de Velocidade. Considerações sobre a substituição de Reguladores Mecânicos por Digitais

Mário Bento Jr; Diego Albiach Esteve; Ronaldo Campanhã; Paulo de Tarso Telles Franco

2 – Regulador compacto para turbinas hidráulicas

José Claudio Mazzoleni; Mário Bento Jr; Jorge Izukawa; Diego Albiach Esteve

3 – Uma contribuição metodológica para modernização de unidades hidrogeradoras

Cícero Mariano P. Santos; Jorge Coelho; Acires Dias

V. Artigo consultado na Série Estudos e Informações Hidrológicas e Energéticas, Vol. 1, N.º 1 – 8. ANEEL e Parcerias. Edição Comemorativa do 1º Aniversário da ANEEL. Brasília 2 de Dezembro de 1998.

1 – Rendimento de um grupo gerador de 500 kW, em um sistema isolado usando procedimentos automatizados

Geraldo L. Tiago Filho, Edson C. Bortoni e Eraldo C. dos Santos

VI. Normas consultadas:

1. Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas.

M M E – ELETROBRÁS – D. N. A. E. E. Fevereiro de 1982.

2. IEEE St. 1147 – 1991 Guide for the Rehabilitation of Hydroelectric Power Plants

VII. Livros consultados:

1. Usinas Hidrelétricas. Gerhard Paul Schreiber
Editora Edgard Blücher Ltda. 1978.

2. Hidrologia Curva – Chave Análise e Traçado. Gilbert Jaccon, Kazimierz J. Cudo

Editora Ministério das Minas e Energia – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE

3. Hidrologia – Ciência e Aplicação. Carlos E. M. Tucci (Organizador) ABRH
Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

Editora da Universidade do Rio Grande do Sul

4. Statistical Analysis for Engineers and Scientists – A computer – based approach.
J. Wesley Barnes.
Mc Graw – Hill International Editions. Industrial Engineering Series
5. Inventário das Estações Fluviométricas - DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
Brasília – DNAEE, 1996.
6. Centrais Hidrelétricas – Dimensionamento de Componentes.
Zulcy de Souza
Editora Edgard Blucher Ltda
7. Centrais Hidro e Termelétricas
Zulcy de Sousa, Rubens Dario Fuchs e Afonso Henriques Moreira Santos
Editora Edgard Blucher Ltda
8. Boletim Fluviométrico n.º 8 – Ministério da Agricultura – Departamento Nacional da Produção Mineral – Divisão de Águas. Dados Fluviométricos na Bacia do Rio Grande (1941 a 1945).
Rio de Janeiro, 1950.
9. Centrais Hidrelétricas – Estudos para implantação
Zulcy de Souza; Afonso H. M. Santos e Edson da C. Bortoni
Edição Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - ELETROBRÁS
Editoração: Centro da Memória da Eletricidade no Brasil

VIII. Legislação consultada:

1. Portaria 466 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL
2. Resolução n.º 58, de 7 de Abril de 1999 – Homologa o reajuste das Tarifas de Fornecimento e Suprimento de Energia Elétrica para a COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG.
3. Manual de Orientação ao Consumidor – Tarifas Horo-Sazonais Azul e Verde
Comitê de Distribuição de Energia Elétrica da CEMIG
4. Decreto n.º 2.003, de 10 de setembro de 1996 – Regulamenta a produção de energia elétrica por Produtor Independente e por Autoprodutor e da outras providências.
5. Resolução n.º 394, de 04 de Dezembro de 1998 – Estabelece os critérios para o enquadramento de empreendimentos hidrelétricos na condição de pequenas centrais hidrelétricas.
6. Resolução n.º 44, de 17 de Março de 1999 - Altera as taxas anuais de depreciação estipuladas pela Resolução ANEEL n.º 002, de 24 de dezembro de 1997.

7. Resolução n.º 393, de 04 de Dezembro de 1998 - Estabelece os procedimentos gerais para registro e aprovação dos estudos de inventário hidrelétrico de bacias hidrográficas.
8. Resolução n.º 395, de 04 de Dezembro de 1998. - Estabelece os procedimentos gerais para registro e aprovação de estudos de viabilidade e projeto básico de empreendimentos de geração hidrelétrica, assim como da autorização para exploração de centrais hidrelétricas até 30 MW e dá outras providências.
9. Resolução n.º 396, de 04 de Dezembro de 1998. - Estabelece as condições para implantação, manutenção e operação de estações fluviométricas e pluviométricas associadas a empreendimentos hidrelétricos.
10. Retificação da Resolução n.º 393 de 04 de dezembro de 1998, publicada no DO de n.º 234-E, de 07/12/98, página 44 seção I, no artigo 15 parágrafo único onde se lê: " a que se refere os §§ 2º e 3º do art. 3º desta Resolução...."leia-se: "os §§ 1º e 2º do art.3º desta Resolução..."
11. Decreto N.º 62.724, de 17 de Maio de 1968.- Estabelece normas gerais de tarifação para as empresas concessionárias de serviços públicos de energia elétrica. V. Portaria DNAEE n.º 222, de 22.12.87.

Anexo 1 à Bibliografia

Relação de documentos pesquisados na Central de Bicas do Meio

1. "REPI - Roteiro Técnico"- Encontra-se na Usina, na sala do escritório. Descreve detalhadamente os equipamentos e instalações existentes bem como deveria ser sua operação. Organizado pelo Major Francisco Luiz Simões Corrêa em junho de 1962.
2. Plano Geral de ampliação e reforço da usina de Bicas, encontra-se na sala do escritório na REPI. Descreve o projeto de ampliação da usina de Bicas descrevendo a hipótese de construção de uma barragem de regularização e de uma nova usina auxiliar. Apresentado pelo Major Sylvio Lisboa da Cunha em 1940.
3. Resumo do Histórico da usina e algumas alterações administrativas, encontra-se na sala do escritório da REPI. Elaborado pelo Major Nelson Cavalcanti "Diretor da REPI em 29 de maio de 1959. Contém fotos.
4. Relatório descritivo da usina principal e suas instalações incluindo a Fábrica de Piquete no que se refere a consumo, encontra-se na sala do escritório da REPI (original). Realizado pelo 1º Tenente Hélio Macedo Soares e Silva em 28 de Dezembro de 1932.
5. Pasta contendo relatório, detalhes construtivos e de operação da Central de Bicas do Meio bem como dicas de operação, estudos de interligação à concessionária CEMIG, relação de plantas e desenhos da Mapoteca existente, relação de desenhos microfilmados etc. Encontra-se na Fábrica de Itajubá, na sala de manutenção.
6. Mapoteca contendo índice encadernado e todas as plantas referentes a central principal e auxiliar e todas as suas instalações, encontra-se na sala do escritório da REPI em Wenceslau Brás. Uma cópia do índice encadernado encontra-se no Anexo 2 à Bibliografia.
7. Ata de emancipação do município de Wenceslau Brás existente na Prefeitura da cidade.
8. Boletins diários das máquinas, encontra-se na sala do escritório da REPI.
9. Dados Hidrológicos das estações da bacia hidrográfica local medidas nos rios Bicas, Comprido e canal do Quilombo, encontram-se a disposição no site da ANEEL com a seguinte numeração 61261000, 61262000 e 61264000 respectivamente.
10. Resolução n.º 58, de 7 de Abril de 1999. Da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Homologa o reajuste das Tarifas de Fornecimento de Energia Elétrica para a COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG.

Anexo 2 à Bibliografia

Cópia do índice da Mapoteca

ÍNDICE

- A – MAPAS
- B – PLANTAS
- C – TERRENOS
- D – PRÉDIOS DA ADMINISTRAÇÃO
- E – RESIDÊNCIAS
- F – CASA DE FORÇA E SUBESTAÇÃO
- G – BARRAGENS, RESERVATÓRIOS, CANAIS E COMPORTAS
- H – TUBULAÇÃO FORÇADA
- I – PONTES E PASSADEIRAS
- J – USINA AUXILIAR
- L – INSTALAÇÕES DE ÁGUA E ESGOTO
- M – ESQUEMAS ELÉTRICOS DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO
- N – LINHAS DE TRANSMISSÃO
- O – DIAGRAMAS GRÁFICOS ELÉTRICOS DOS RIOS
- P – DIVERSOS

A

Assunto: MAPAS

- 1 – Lagoa Dourada.
- 2 – Parte dos Estados de Minas Gerais e São Paulo.
- 3 – Sistema geral das linhas de transmissão da empresa Força e Luz de Ribeirão Preto
- 4 – Mapas de cidades, vilas, povoados, lugarejos e fazendas.
- 5 – Croquis da zona contendo as cachoeiras: Boa Esperança, Piaguhy, Negros e Funil.
- 6 – Mapa da zona de localização e influência da REPI.
- 7 – Levantamento topográfico executado pela PROSPEC, (vale do Rio Bicas)

B

Assunto: Plantas

- 1 – Esquemas das redes e centrais adjacentes à REPI.
- 2 – Planta de Bicas do Meio – Itajubá.
- 3 – Levantamento da área da barragem – Ribeirão do Quilombo.
- 4 – Cidade de Wenceslau Bráz – MG.
- 5 – Planta geral da rede de distribuição de energia Itajubá – Bicas – Piquete.
- 6 – Cidade de Wenceslau Bráz – MG.
- 7 – Terreno do Quartel do 4º Batalhão de Engenharia de Itajubá
- 8 – Planta da Usina hidrelétrica e barragem em Bicas do Meio, executado pela Comissão – C. F. Trotil.
- 9 – Planta geral da Fábrica de Piquete.
- 10 – Planta da rede de distribuição de energia elétrica REPI.
- 11 – Planta do 1º Batalhão de Pontoneiros.
- 12 – Retiro São Caetano – Fábrica Presidente Vargas.
- 13 – Terreno pertencente ao Ministério do Quilombo Bicas do Meio.
- 14 – Terrenos necessários à instalação de uma subestação de 220KV em Bicas do Meio.
- 15 – Plantas das áreas desapropriadas pelo Ministério do Quilombo em Wenceslau Bráz.
- 16 – Planta da área ocupada pelo antigo laboratório de Física da UFRJ e dependências anexas.
- 17 – Planta geral das instalações pertencentes à REPI.
- 18 – Obras de ampliação da usina de Bicas.
- 19 – Planta geral dos terrenos pertencentes à REPI, área total = 440.000 m².
- 20 – Planta do Froprio Nacional a cargo da REPI.
- 21 – Planta da área de terreno da REPI cedida para TEL SANE.
- 22 – Planta geral dos terrenos pertencentes à REPI.
- 23 – Desenho da barragem principal.
- 24 – Instalação d'água contra incêndio.
- 25 – Planta da Vila de Bicas do Meio.
- 26 – Planta da usina hidrelétrica e barragem em Bicas do Meio.
- 27 – Planta de situação da pedreira do DNCR.
- 28 – Planta parcial da rede de distribuição de energia elétrica.
- 29 – Escolas reunidas Major Lopes – Planta de situação.
- 30 – Reservatório regulador de energia hidrelétrica.
- 31 – Linhas dos condutos forçados de água hidrelétrica em Bicas do Meio.
- 32 – Planta dos terrenos necessários à instalação de uma subestação de 220KV em Água Limpa.
- 33 – Planta da usina hidrelétrica de Bicas do Meio.
- 34 – Planta das áreas necessárias à instalação e projeto das obras de ampliação e ajuste da usina de Bicas.

C

Assunto: Terrenos

- 1 – Croquis Bairro da Pedra Preta.
- 2 – Área adquirida e área da F. S. R..
- 3 – Trecho da planta da usina hidrelétrica e barragem em Bicas do Meio.
- 4 – Planta do terreno doado ao Ministério da Guerra, por João José de Brito.
- 5 – Planta dos terrenos adquiridos pelo Ministério da Guerra de D^a Amélia Ribeiro da Costa, em Bicas do Meio – ano de 1930.
- 6 – Imóveis atuais da REPI.
- 7 – Planta da Usina Hidrelétrica da Bicas do Meio.
- 8 - Planta do terreno doado ao Ministério da Guerra, por Joaquim Américo Pinto.
- 9 – Terrenos adquiridos pelo ministério da Guerra, do Sr Benedito Rodrigues da Costa.
- 10 – Projeto de pavimentação do pátio da REPI.
- 11 – Projeto de pavimentação do pátio das Bicas – Cálculos das áreas.
- 12 – Planta de levantamento do terreno de José Braga Filho.
- 13 – Terreno pertencente ao Ministério da Guerra em Bicas do Meio.
- 14 – Terrenos necessários à instalação da usina hidrelétrica da FPSF., em Bicas do Meio.
- 15 – Plantas das áreas desapropriadas pelo Ministério do Exército em Wenceslau Bráz.
- 16 – Planta da área ocupada pela usina hidrelétrica da Fábrica de Trotil e dependências anexas.
- 17 – Planta geral dos terrenos pertencentes à REPI.
- 18 – Obras de ampliação da usina de Bicas.
- 19 – Planta geral dos terrenos pertencentes à REPI, área total = 445.6650 Há.
- 20 – Planta do Próprio Nacional a cargo da REPI.
- 21 – Planta da área de terreno da REPI cedida para TELEMIG.
- 22 – Planta geral dos terrenos pertencentes à REPI.
- 23 – Desenho da barragem principal.
- 24 – Instalação d'água contra incêndio.
- 25 – Planta da Vila de Bicas do Meio.
- 26 – Planta da usina hidrelétrica e barragem, em Bicas do Meio.
- 27 – Planta de situação da pedreira do DNER..
- 28 – Planta parcial da rede de distribuição de energia elétrica.
- 29 – Escolas reunidas Major Lisboa – Planta de situação.
- 30 – Reservatório regulador de energia hidrelétrica.
- 31 – Linhas dos condutos forçados da usina hidrelétrica em Bicas do Meio.
- 32 – Planta dos terrenos necessários à instalação da usina hidrelétrica da FPSF., em Água Limpa.
- 33 – Planta da usina hidrelétrica de Bicas do Meio.
- 34 – Planta das áreas necessárias a localização e proteção das obras de ampliação e atuais da usina de Bicas.

D

Assunto: Prédios da administração

- 1 – Projeto da casa de aparelhagem para purificação de água.
- 2 – Projeto de instalação sanitária, banheiro e vestiário para o pessoal operário da UHBM..
- 3 – Projeto de um (1) vestiário no campo de futebol.
- 4 – Galinheiro.
- 5 – Planta da situação dos prédios da Escola Estadual Major Lisboa da Cunha em Wenceslau Bráz.
- 6 - Planta da área ocupada pelos imóveis da administração da REPI..
- 7 – Oficina mecânica.
- 8 – Planta do conjunto Educandário da Escola E. Major Lisboa da Cunha em W. Bráz.
- 9 – Quartel do Contingente – Fábrica de Canos e Sabres para armas portáteis.
- 10 – Projeto do 2º pavilhão do ginásio João XXIII anexo.
- 11 – Garagem.
- 12 – Oficina de manutenção.
- 13 – Prédios do contingente da REPI.
- 14 – Anteprojeto do edifício do Centro Social da REPI..
- 15 – Planta da locação de eixos.
- 16 – Projeto do supermercado da REPI.
- 17 – Planta do estádio.
- 18 – Grupo Escolar Major Lisboa da Cunha.
- 19 – Conjunto de oficinas da REPI.
- 20 – Prédios ocupados pela administração da REPI..
- 21 – Planta do prédio do cinema.
- 22 – Quartel para contingente – Formas e armações das lajes e vigas.
- 23 – Prédio da subestação transformadora da REPI.

E

Assunto: Residências

- 1 – Rede de água e esgoto das casas dos operários.
- 2 – Residências de oficiais da REPI..
- 3 – Projeto de residência para o guarda da represa.
- 4 – Planta e detalhes do projeto de casa para residência de operários.
- 5 – Planta de 2 (duas) casas conjugadas.
- 6 – Grupo de 2 (duas) casas conjugadas para operários da REPI (água e esgoto).
- 7 – Projeto da casa para residência de operários.
- 8 – Planta da reforma da casa n.º 1.
- 9 – Grupo de 2 (duas) casas conjugadas para operários da REPI escala 1:50.
- 10 – Levantamento da residência n.º 34.
- 11 – Projeto de prédios para residência.
- 12 – Casas conjugadas para operários da UHBM. (Planta das fundações).



F

Assunto: Casa de força e subestação

- 1 – Estação geradora em Bicas do Meio.
- 2 – Prédio da subestação transformadora da REPI.
- 3 – Estação transformadora da represa.
- 4 – Subestação externa.
- 5 – Planta do grupo IV e do grupo V da geradora principal.
- 6 – Planta do grupo V da geradora principal.
- 7 – Subestação externa de distribuição e gerador de emergência.
- 8 – Estação geradora em Bicas do Meio (corte transversal e fachada lateral).
- 9 – Estação geradora em Bicas do Meio (corte longitudinal).
- 10 – Subestação n.º VI.
- 11 – Planta baixa da Usina com as máquinas I (200HP) e VI (1000 HP).
- 12 – Estação geradora em Bicas do Meio (Planta baixa).
- 13 – Projeto para a subestação transformadora de 30.000/ 2.200 V de Itajubá.
- 14 – Subestação secundária n.º II, III, IV e V.
- 15 – Subestação para o 4.º Batalhão de Engenharia.
- 16 – Planta de forma da base da Máquina de 200HP.
- 17 – Planta de locação das fundações.
- 18 – Planta de situação da usina geradora, usina auxiliar, barragens, condutos forçados e linhas locais de alta tensão.
- 19 – Estação geradora em Bicas do Meio, escala 1:100.
- 20 – Konstruktionsplan – (Planta de construção das turbinas).
- 21 – Rotor de turbina hidráulica (FRANCIS).
- 22 – Plataforma dos geradores.
- 23 – Esquema de montagem da máquina de 1000 HP.
- 24 – Instalação Piquete – Bicas do Meio - Desenho de Locação.
- 25 – Turbina espiral 350 Ø R 28 estreitada – composição - (instalação Piquete) Bicas do Meio.

G

Assunto: Barragens, Reservatórios, Canais e Comportas

- 1 – Perfil transversal da represa mostrando a comporta e a galeria de descarga.
- 2 – Perfil transversal da represa mostrando a tomada d'água.
- 3 – Boca de jusante de túnel limpeza de areias.
- 4 – Barragem de retenção - Vista de montante.
- 5 - Barragem de retenção.
- 6 – Perfil transversal do Rio de Bicas correspondente ao eixo longitudinal da represa de regularização.
- 7 – Planta geológica do subsolo correspondente ao paramento molhado.
- 8 – Perfil transversal do Rio Bicas correspondendo ao paramento molhado da represa.
- 9 - Perfil transversal da barragem submersa a ser construída 60 m a montante da represa sobre o Rio Bicas.
- 10 – Barragem de terra do Ribeirão do Quilombo.
- 11 – Planta de armação da laje L3 sobre o antigo canal de fuga.
- 12 - Planta de armação da laje Parede L2 de separação dos canais de fuga.
- 13 - Planta de armação da viga V4 – máquina de 1.000 HP.
- 14 – Perfil prático da represa sobre o Rio Bicas (a montante da “cachoeira dos Negros”).
- 15 – Perfil teórico da represa sobre o Rio Bicas (a montante da “cachoeira dos Negros”).
- 16 – Planta da barragem de terra do Ribeirão do Quilombo.
- 17 – Comportas de fundo e de entradas do canal adutor do Ribeirão Quilombo.
- 18 – Linhas de influência dos momentos.
- 19 – Projeto de barragem de retenção sobre o Rio Bicas.
- 20 – Dados necessários a organização do projeto da barragem de retenção de Bicas do Meio.
- 21 – Açude público Mãe D'água. Detalhes da barragem.
- 22 – Planta do canal de fuga do grupo VI.
- 23 – Planta topográfica da barragem de derivação do quilombo seção transversal A.
- 24 – Detalhes dos suportes da tubulação.
- 25 – Linha adutora do canal do Quilombo. Dreno da estaca 8.
- 26 – Planta de armação da laje – L4 – Paredes laterais do canal de fuga.
- 27 - Planta de armação da laje de cobertura do canal de fuga.
- 28 - Planta de armação da laje L5 sobre o fundo do canal de fuga.
- 29 - Planta de detalhe para a execução da barragem.
- 30 – Planta e detalhes da comporta de entrada da linha adutora; seções, 0 + 17,20 e pelo sangradouro.
- 31 – Planta da barragem vertedoura do canal de fuga da máquina de 1.000 HP.
- 32 – Barragem de adução do Ribeirão do Quilombo.
- 33 – Planta de locação da usina da Graminha de Wenceslau Bráz.
- 34 – Canal vertedouro – túnel – barragem submersa – comporta túnel.
- 35 – Mecanismo de comporta.
- 36 – Comportas de tubo de descarga.
- 37 – Barragem de regularização das comportas.
- 38 – Seções transversais da barragem de terra do Ribeirão do Quilombo.
- 39 – Comporta de madeira para o canal do Quilombo.

- 40 – Perfil longitudinal do leito do Rio Bicas.
- 41 – Planta das obras e prédios da administração da REPI.
- 42 – Planta das barragens.
- 43 – Passadiço da barragem do Ribeirão do Quilombo.
- 44 – Seções transversais da barragem de terra do Ribeirão do Quilombo.
- 45 – Construção de nova usina, a jusante da usina principal, para aproveitamento do Rio Bicas.
- 46 – Instalações das barragens, canais, tubulação e demais dependências da REPI.
- 47 – Planta e detalhes da barragem de terra do Ribeirão do Quilombo.
- 48 – Planta e perfil longitudinal da barragem do Ribeirão do Quilombo.
- 49 – Seções transversais da barragem do Ribeirão do Quilombo.
- 50 – Planta da calha “Venturi” do Canal do Quilombo.
- 51 – Tubulação de descarga do canal do Quilombo.
- 52 – Usina hidrelétrica e barragem em Bicas do Meio.
- 53 – Instalações hidrelétricas em Bicas do Meio.

14 – Várzea de saída do Ribeirão do Quilombo.

15 – Entrada dos condutos forçados.

16 – Conduto forçado.

H

Assunto: Tubulação forçada.

- 1 – Flange para peça “Y”.
- 2 – Anel da máquina de entrada M.3 e 4.
- 3 – Registro do grupo 5.
- 4 – Perfil do aterro sobre as tubulações.
- 5 – Tubo de descarga da barragem.
- 6 – Flange para tubo.
- 7 – Detalhe para solda, tubo para máquina de 1.000 HP.
- 8 – Registro de turbina.
- 9 – Prolongamento do tubo alimentador.
- 10 – Conduitos forçados (10 H – 1.2.3.4.5).
- 11 – Perfil de aterro sobre as tubulações.
- 12 – Registro para o tubo de descarga da barragem.
- 13 – Ponte de passagem dos conduitos forçados sobre o Rio Bicas.
- 14 – Válvula de saída da tubulação.(casa das válvulas).
- 15 – Entrada dos conduitos forçados (geradora).
- 16 – Conduto forçado.

Assunto: Pontes e Passadeiras

- 1 – Ponte em Santana.
- 2 – Ponte sobre o Ribeirão Quilombo.
- 3 – Ponte e marco parabólico de concreto armado sobre o Rio Bicas.
- 4 – Ponte do Guarda Corpo.
- 5 – Planta de forma – vista de cima.
- 6 - Planta de forma – perfil longitudinal – corte – B – B.
- 7 – Planta de conjunto – perspectiva.
- 8 – Planta de armação do tabuleiro.
- 9 – Planta de forma – vista de baixo.
- 10 – Planta de perfis.
- 11 – Planta de locação das fundações.
- 12 – Planta de armação das vigas V1, V2 e V3.
- 13 – Ponte metálica com piso de concreto armado em dois lances de 8 m e 5 m de vão livre para estrada de rodagem sobre o Rio Bicas.
- 14 – Ponte metálica com piso de concreto armado 8 m e 0,90 m de vão livre para estrada de rodagem sobre o Rio Bicas.

J

Assunto: Usina auxiliar

- 1 – Esquema de ligação do interruptor à expansão com imã de desligamento.
- 2 – Maschinenschaltung.
- 3 – Montagem – U. Bedienungsanweisung Fur.
- 4 – Grupo produtor de ar comprimido.
- 5 – “Bicas do Meio” Grates operating Instructions and discription. Folhas 1 e 2.
- 6 – Guincho de engrenagem reta.
- 7 – Generator protection (proteção do gerador).
- 8 – Drehstron – Trockengleichrichter.
- 9 – Grefahrneldddeenrichtung FII Arbeitsstrom Ausfiihrung I.
- 10 – Detalhe do circuito da válvula borboleta.
- 11 – Púlpito de manobra.
- 12 – Relação de peças para material de montagem.
- 13 – Púlpito de comando – Usina existente.
- 14 – Fundação para quadros de manobra de alta tensão.
- 15 – Neu Eigenbedarfsumspanner Einbaueisen.
- 16 – Mab Bild.
- 17 – Einbaueisen.
- 18 – Porta de chapa para armário de comando.
- 19 – Bohrzeichnung.
- 20 – Drahtgihertiir Fiir Bedienungsschr.
- 21 – Ferragens para cabine de 30 kV – existente.
- 22 – Drahtgittertiir.
- 23 – Volzblechtiir Fiir Bedienungsschrank.
- 24 – Einbaueisen.
- 25 – Anschlubschaltbild Fiir Parallelschaltgerat Rs + P16.
- 26 – Rede de dutos para cabos - rede de terra – ligação à terra do sistema elétrico e dos equipamentos.
- 27 – Esquema de ligação da válvula magnética do regulador de velocidade (de 1 a 4).
- 28 – Detalhe do circuito de controle do disjuntor.
- 29 – Detalhe do circuito de excitação e acionamento da chave de excitação.
- 30 – Desenho da instalação da válvula de ar.
- 31 – Sistema de saída do cabo de comando.
- 32 – Esquema de desligamento.
- 33 – Regulador de velocidade de turbinas da usina auxiliar.
- 34 – Diagrama da excitação, regulação e medição do gerador da usina auxiliar.
- 35 – Receptor de comando à distância.
- 36 – Esquema de desligamento.
- 37 – Púlpito de comando – Vista geral.
- 38 – Transmissor para comando à distância.
- 39 – Instalação e manobra de alta tensão com blindagem em chapa de aço (vista total).
- 40 – proteção do gerador.
- 41 – Neuanlage Steuer – und Relaistafel.
- 42 – Bases das torres.
- 43 – Escavação em rochas e em terra.
- 44 – Superestruturas lajes.

- 45 – Planta de locação e terraplenagem.
- 46 – Superestrutura planta de forma e cortes.
- 47 – Casa de força.
- 48 – Detalhes dos pilares.
- 49 – Hogspanningsskydoç.
- 50 – Tubulação forçada – instalação da peça “Y” – cortes.
- 51 - Tubulação forçada – instalação da peça “Y” – planta.
- 52 – Detalhes da tubulação (vista explodida).
- 53 – Sub – estrutura planta de forma.
- 54 – Planta de forma – corte longitudinal.
- 55 – Detalhes da tubulação – conjunto.
- 56 – Sub-estrutura – corte transversal.
- 57 – Instalação de manobra de alta tensão com blindagem de chapa de aço (visita e corte) Painel 1.
- 58 - Instalação de manobra de alta tensão com blindagem de chapa de aço (visita e corte) Painel 2.
- 59 – Esquema do equipamento para o seletor de comando à distância.
- 60 – Linha de transmissão de 2,2 kV para Bicas do Meio Exist. 4-2 km.
- 61 – Cabine de transformação 700kVA.
- 62 – Cabine de manobra 30kV.
- 63 – Salas de transformação para consumo próprio e baterias.
- 64 – Planta de disposição do anexo – casa de máquinas.
- 65 – Esquema do equipamento do seletor de comando à distância.
- 66 - Instalação de manobra de alta tensão com blindagem de chapa de aço (vista e corte) Painel 3.
- 67 – Planta de disposição - anexo a sala de máquinas.
- 68 – Transformador e sala das baterias.
- 69 - Diagrama de proteção da usina auxiliar.
- 70 – Tubulação forçada – cálculo dos pilares.
- 71 – Sub-estrutura vigas perimetrais - suporte da junta de dilatação.
- 72 – Canal de fuga – detalhe do vertedouro.
- 73 – Detalhe dos gradis – porta e janela.
- 74 – Linha de transmissão – curvas esticadoras e gabaritos.
- 75 – Casa de força – instalações sanitárias.
- 76 – Superestruturas – pilares.
- 77 – Casa de força.
- 78 – Detalhes dos pilares – pilar de ancoragem inferior.
- 79 – Câmara de sucção e canal de fuga.
- 80 – Superestrutura, fundações, vigas e lajes.
- 81 – Esquema geral da usina hidrelétrica de Piquete – Itajubá.
- 82 – Mecanismo de movimentação de ponte.
- 83 – Esquema trifilar – cubículo de alta tensão – painéis 2 e 3.
- 84 – Esquema trifilar – cubículo de alta tensão – painel 1 – cabine de 30 kV e sala de transformador.
- 85 – Púlpito de manobra – esquema de fiação.
- 86 – Ponte rolante manual – via de trilhas da ponte.
- 87 - Ponte rolante manual – carro da ponte.
- 88 – Superestruturas – vigas.
- 89 – Linhas de transmissão – perfil e traçado.

L

Assunto: Instalação de água e esgoto

- 1 – Projeto para a caixa d'água da represa.
- 2 – Reservatório enterrado.
- 3- Rede de distribuição d'água.
- 4 – Planta da rede de esgoto da REPI.
- 5 – Projeto Estação de purificação de água.
- 6 – Projeto de tanque regulador com capacidade de 20.000 l.
- 7 – Detalhe das peças da estação de purificação de água da REPI.
- 8 – Estação de tratamento de água da REPI.

M

Assunto: Esquema elétrico da rede de distribuição

- 1 – Ligação de condensadores em triângulo.
- 2 – Grupo de 2 (duas) casas conjugadas para operários da REPI – Instalação elétrica.
- 3 – Esquema elétrico geral.
- 4 – Esquema de transformador.
- 5 – Ligação dos relés de máxima, tipo RI de comando das chaves do secundário dos transformadores da subestação de Piquete.
- 6 – Rotor para excitador tipo "D.T.71", 6 (seis) pólos, 36 bobinas duplas e coletor de 73 lâminas.
- 7 – Instalação elétrica de residência de operários da REPI.
- 8 – Circuito de campainha.
- 9 – Projeto elétrico UR n.º 1.
- 10 – Escova de grafite para excitatriz e alternadores.
- 11 – Esquema de ligação da excitatriz dos grupos I e II.
- 12 – Centro telefônico.
- 13 – SIEMENS – Schuckert Werke.
- 14 – Esquema de ligação da subestação secundária n.º 2.
- 15 – Esquema geral da subestação em Itajubá.
- 16 – Esquema da estação rede de TELEVOX.
- 17 – Proteção contra alta tensão – 30 kV – Linha telefônica.
- 18 – Diagrama de ligação do comando à distância da chave Brow Boveri.
- 19 – Circuito elétrico de alarme.
- 20 – Cruzeta para 220 V.
- 21 – Esquema de ligação da subestação secundária I.
- 22 - Esquema de ligação da subestação secundária V.
- 23 – Esquema elétrico – Ligação da máquina de 1.000 HP.
- 24 – Motor da represa.
- 25 – Diagrama unifilar.
- 26 – Cruzeta para 2.200 V.
- 27 – Subestação antiga do 4.º BECmb.
- 28 – Gerador DC para automóvel.
- 29 – Poste para linha de transmissão.
- 30 – Cabine telefônica.
- 31 – Rede de distribuição primária e secundária da cidade de Piquete.
- 32 – Instalação da carpintaria.
- 33 – Esquema da geradora e subestação da REPI.
- 34 – Rede telefônica da REPI.
- 35 – Comportas da barragem de regularização – instalação elétrica.
- 36 – Rotor para excitatriz.
- 37 – Alternador do grupo 2 – alteração das bobinas.
- 38 – Instalação elétrica da Escola Cívico Social da REPI.
- 39 – Subestação de 30 kV da F5.
- 40 – Esquema da geradora e subestação elevadora.
- 41 – Esquema elétrico da Escola de Rezende.

N

Assunto: Linhas de transmissão.

- 1 – Reconstrução da rede elétrica da REPI – Itajubá.
- 2 – Poste treliça (medidas).
- 3 – Poste para linha de transmissão.
- 4 – Torre de ancoragem.
- 5 – Projeto de torre intermediária.
- 6 – projeto de torre de ancoragem da usina auxiliar.
- 7 – Desenho para montagem da linha de transmissão Bicas do Meio – Itajubá.
- 8 – Poste treliça.
- 9 – Planta de situação da usina principal, oficinas e administração.
- 10 – Torre A1 – 1.º lance.
- 11 - Torre A1 – 2.º lance.
- 12 - Torre A1 – 3.º lance.
- 13 – Diagramas de montagem - torre A1.
- 14 – Diagramas de montagem - torre B1.
- 15 – Diagramas de montagem - torres duplas A11 e B11.
- 16 – Torre B1 – 1.º lance – folha 4.
- 17 – Torre B1 – 2.º lance – folha 5.
- 18 – Torre de ancoragem – cruzetas – folha 6.
- 19 – Torre de ancoragem – cruzetas – folha 7.
- 20 – Projetos de torres duplas.
- 21 – Cálculos de linha de transmissão para Piquete.
- 22 – Planta geral do sistema Piquete – Wenceslau Bráz – Itajubá.
- 23 – Postes da linha de transmissão – Bicas do Meio (tipo de poste para suportar os pesos dos cabos).
- 24 - Postes da linha de transmissão – Bicas do Meio (tipo de poste para ângulo e para suportar os cabos).
- 25 – Linha de transmissão Bicas – Itajubá – folha 4.
- 26 - Linha de transmissão Bicas – Itajubá – folha 3.
- 27 – Projeto da linha Bicas do Meio – Itajubá.

O

Assunto: Diagramas e gráficos elétricos dos rios.

- 1 – Usina hidrelétrica de Bicas do Meio – estação hidrométrica – curva característica.
- 2 – Diagrama estatístico do tráfego - usina de Bicas.
- 3 – Diagrama das descargas – estação hidrométrica - Bicas do Meio.
- 4 – Curvas de descargas acumuladas - fornecendo os volumes de reservatório para as várias descargas regularizáveis.
- 5 – Diagrama das descargas (1934 – 1933 – 1938).
- 6 – Diagrama de descarga do Rio e Potência (média).
- 7 – Gráfico de preço por kW em função do nível da água.
- 8 – Diagrama de capacidade do reservatório de regularização.
- 9 – Diagrama das demandas.
- 10 – Diagrama comparativo do consumo de energia elétrica da FPEP (1937).
- 11 - Diagrama comparativo do consumo (FPEP – FCSAP e 1.º B + 1 pinr) – 1934.
- 12 - Diagrama comparativo do consumo de energia elétrica da FPEP (1935).
- 13 - Diagrama comparativo do consumo de energia elétrica da FPEP (1936).
- 14 – Diagrama de descargas.
- 15 – Gráfico de descargas do Rio Bicas (1926).
- 16 – Diagrama de descargas mensais do Rio Bicas e Canal do Quilombo no período das chuvas.
- 17 – Gráfico de descargas do Rio Bicas (1927).
- 18 – Curva característica da estação hidrométrica.
- 19 – Diagrama geral dos dados do anteprojeto do regularização do Rio Bicas.
- 20 – Quadro dos valores característicos dos débitos hidráulicos dos Rios Sapucaí e Bicas nas estações hidrométricas de Guarda, Itajubá e Buraco.
- 21 – Estação hidrométrica – curva característica.
- 22 – Diagrama das descargas em 1934.
- 23 – Diagrama das descargas em 1935.
- 24 – Diagrama das descargas em 1936.
- 25 – Diagrama das descargas em 1937.
- 26 – Diagrama de descargas mensais do Rio Bicas e Canal do Quilombo no período de seca.
- 27 - – Diagrama de descargas mensais do Rio Bicas e Canal do Quilombo no período das chuvas (ano de 1940 a 1950).

P

Assunto: Diversos.

- 1 – Relação de material.
- 2 – Isolador para chave desligadora, tipo barramento, uso interno e tensão de serviço de 30 kV.
- 3 – Insígnia de comando.
- 4 – Gráfico de demanda (1973 – 1974).
- 5 – Esquema demonstrativo das questões que afetam a determinação da capacidade e da produção de uma estação hidrelétrica indicando suas interligações. Segundo W. P. Creager.
- 6 – Demanda máxima em kW – mês de setembro de 1975.
- 7 – Caixa d'água.
- 8 – Aço para máquina de cortar vergalhão de ferro.
- 9 – Grupo de 3 (três) armários para o contingente especial.
- 10 – Muro de arrimo.
- 11 – Porta da casa de máquina.
- 12 - Grupo de 4 (quatro) armários para o contingente especial.
- 13 – Projeto de um portão para acesso à UHBM sobre a passarela - no Ribeirão de Bicas.
- 14 – Anel do alternador das máquinas n.º 01 e 02.
- 15 – Muro de arrimo para sustentação do terreno da tubulação da usina.
- 16 – Registro para GG I e II.
- 17 – Tabela de ferros.
- 18 – União elástica de GG de 500 HP.
- 19 – Projeto de um armário de peroba para o arquivo da REPI.
- 20 – Planta de assentamento – serra n.º 1.
- 21 – Planta parcial da ponte rolante da estação geradora.
- 22 – Projeto de mastro para bandeira.
- 23 – Distintivo para caminhão.
- 24 – Equivalência de lubrificantes.
- 25 – Projeto de pilar para sustentação dos tubos da usina.
- 26 – Porca e parafuso, rosca esquerda.
- 27 – Campo de jogos da REPI.
- 28 – Projeto de um grupo de celas estrumeiras.
- 29 – Planta de eixos de alternadores ASEA 2.200 V – 6 rolos.
- 30 – Escovas para os grupos geradores.
- 31 – Muralha beira rio – seções transversais e longitudinais.
- 32 – Peça de união elástica do grupo gerador n.º 2.
- 33 – Área a levantar – Usina do Funil.

Anexo 3 à Bibliografia

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA-ANEEL

RESOLUÇÃO Nº 394, DE 04 DE DEZEMBRO DE 1998.

Estabelece os critérios para o enquadramento de empreendimentos hidrelétricos na condição de pequenas centrais hidrelétricas.

O DIRETOR-GERAL DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, em exercício, no uso de suas atribuições que lhe foram conferidas pela Portaria nº 88-ANEEL, de 18 de novembro de 1998, de acordo com Deliberação da Diretoria, e tendo em vista o disposto nos incisos I, III e IV do art. 4º do Anexo I do Decreto no 2.335, de 06 de outubro de 1997, o que consta no Processo nº 48500.004076/98-22 e considerando:

a necessidade de estabelecer condições, visando a estimular o desenvolvimento de estudos, projetos e construção de centrais hidrelétricas de potência igual ou inferior 30.000 kW, de conformidade com o previsto no art. 4º da Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998;

a necessidade de revisar os antigos critérios, estabelecidos para Pequenas Centrais Hidrelétricas, pautados exclusivamente na potência instalada, sem levar em consideração o impacto global da central ao meio ambiente e aspectos relacionados à segurança;

as contribuições recebidas dos diversos agentes e setores da sociedade através da Consulta Pública nº 009, realizada no período de 11 a 26 de novembro de 1998, resolve:

Art. 1º Aprovar, na forma que se segue, os critérios para o enquadramento de empreendimentos hidrelétricos na condição de pequenas centrais hidrelétricas, a serem observados pelos agentes do setor elétrico brasileiro e sociedade em geral, interessados em realizar atividades relacionadas à geração de energia elétrica.

Art. 2º Os empreendimentos hidrelétricos com potência superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW, com área total de reservatório igual ou inferior a 3,0 km², serão considerados como aproveitamentos com características de pequenas centrais hidrelétricas.

Parágrafo único. A área do reservatório é delimitada pela cota d'água associada à vazão de cheia com tempo de recorrência de 100 anos.

Art. 3º O empreendimento que não atender a condição de área máxima inundada poderá, consideradas as especificidades regionais, ser também enquadrado na condição de pequena central hidrelétrica, desde que deliberado pela Diretoria da ANEEL, com base em parecer técnico, que contemple, entre outros, aspectos econômicos e sócio-ambientais.

Art. 4º Ficam revogadas as Portarias DNAEE nº 125, de 17 de agosto de 1984 e nº 136, de 6 de outubro de 1987.

Art. 5º São mantidos os direitos e obrigações dos titulares de concessões ou autorizações de aproveitamentos hidrelétricos outorgadas até a data de publicação desta Resolução, observado o disposto no § 4º do art. 26 da Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, com a redação dada pelo art. 4º da Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998.

Art. 6º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

AFONSO HENRIQUES MOREIRA SANTOS

Anexo 4 à Bibliografia

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA-ANEEL

DECRETO Nº 2.003, DE 10 DE SETEMBRO DE 1996

Regulamenta a produção de energia elétrica por Produtor Independente e por Autoprodutor e dá outras providências.

O Presidente da República, no uso da atribuição que lhe confere o art. 84, inciso IV, da Constituição, e tendo em vista o disposto na Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995,

DECRETA:

Capítulo I

Seção I

DAS DISPOSIÇÕES GERAIS

Art. 1º A produção de energia elétrica, por produtor independente e por autoprodutor, depende de concessão ou autorização, que serão outorgadas na forma da legislação em vigor e deste Decreto.

Art. 2º Para fins do disposto neste Decreto, considera-se:

I - Produtor Independente de Energia Elétrica, a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco;

II - Autoprodutor de Energia Elétrica, a pessoa física ou jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo.

Art. 3º Dependem de concessão de uso de bem público, precedida de licitação:

I - o aproveitamento de potencial hidráulico de potência superior a 1.000 kW, por produtor independente;

II - o aproveitamento de potencial hidráulico de potência superior a 10.000 kW, por autoprodutor.

§ 1º As licitações dos aproveitamentos hidráulicos a que se refere este artigo serão realizadas por iniciativa do poder concedente, ou a pedido de qualquer interessado, na forma estabelecida neste Decreto.

§ 2º O órgão regulador e fiscalizador do poder concedente definirá o aproveitamento ótimo do potencial hidráulico a ser licitado.

§ 3º Considera-se aproveitamento ótimo todo potencial definido em sua concepção global pelo melhor eixo do barramento, arranjo físico geral, níveis d'água operativos, reservatório e potência, integrante da alternativa escolhida para divisão de quedas de uma bacia hidrográfica.

§ 4º O órgão regulador e fiscalizador do poder concedente poderá autorizar o interessado a realizar, por sua conta e risco, os estudos técnicos necessários para a definição do aproveitamento ótimo, ficando assegurado, no caso de aprovação desses estudos e sua inclusão no programa de licitações do poder concedente, o ressarcimento dos custos incorridos, pelo vencedor da licitação, nas condições e valores estabelecidos no edital.

§ 5º Os estudos, inclusive os de impacto ambiental, e levantamentos visando à definição do aproveitamento ótimo relativo ao potencial hidráulico, aprovados pelo órgão regulador e fiscalizador do poder concedente, serão fornecidos a todos os interessados na licitação, mediante ressarcimento, na forma estabelecida no edital.

Art. 4º Dependem de autorização:

I - a implantação de usina termelétrica de potência superior a 5.000 kW, destinada a autoprodutor e a produtor independente;

II - o aproveitamento de potencial hidráulico de potência superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 10.000 kW, por autoprodutor.

Art. 5º O aproveitamento de potencial hidráulico igual ou inferior a 1.000 kW e a implantação de usina termelétrica de potência igual ou inferior a 5.000 kW independem de concessão ou autorização, devendo, entretanto, ser comunicados ao órgão regulador e fiscalizador do poder concedente, para fins de registro.

Parágrafo único. O aproveitamento de potencial hidráulico de que trata este artigo, que vier a ser afetado por aproveitamento ótimo de curso d'água, definido nos termos do § 3º do art. 3º, não acarretará ônus de qualquer natureza ao poder concedente.

Seção II

Da Licitação e do Contrato

Art. 6º A licitação para outorga de concessão a produtor independente e a autoprodutor obedecerá ao disposto na lei geral de licitações, na Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, no que couber, ao estabelecido neste Decreto e no respectivo edital.

Art. 7º Os requisitos para a habilitação ficarão limitados à comprovação da regularidade jurídico-fiscal e da qualificação técnica e econômico-financeira dos interessados.

Art. 8º O edital da licitação estabelecerá que, quando participarem e forem vencedoras empresas reunidas em consórcio, a concessão será outorgada de forma compartilhada entre elas, na proporção da participação de cada uma, ficando a empresa líder do consórcio responsável, perante o poder concedente, pelo cumprimento do contrato, sem prejuízo da responsabilidade solidária das demais consorciadas.

Parágrafo único. No caso de licitação para produção independente, o edital poderá prever, alternativamente, que os consorciados constituam empresa específica, com a participação proporcional de cada um deles, que será a responsável pelo cumprimento do contrato de concessão.

Art. 9º As concessões relativas aos aproveitamentos de potenciais hidráulicos serão outorgadas a título oneroso.

Parágrafo único. O edital da licitação indicará as condições de aceitabilidade das propostas, o critério de julgamento e a forma do pagamento devido pelo outorga da concessão.

Art. 10. As concessões e autorizações, de que trata este Decreto, terão prazo de até trinta e cinco e de até trinta anos, respectivamente, contado da data de assinatura do contrato ou do ato autorizativo, podendo ser prorrogado, a critério do órgão regulador e fiscalizador do poder concedente, nas condições estabelecidas no respectivo contrato.

§ 1º A prorrogação deverá ser requerida até 36 meses anteriores à data final do respectivo contrato.

§ 2º A falta de manifestação do órgão regulador e fiscalizador do poder concedente nos dezoito meses seguintes ao pedido será havida como concordância com a prorrogação, nas mesmas condições vigentes.

Art. 11. A concessão para aproveitamento de potencial hidráulico será formalizada mediante Contrato de Concessão de Uso de Bem Público.

§ 1º São cláusulas essenciais do contrato de concessão de uso do bem público as que definem:

a) os direitos e as obrigações do produtor independente, ou do autoprodutor, na exploração do aproveitamento hidráulico;

b) as condições de operação da usina e de comercialização da energia elétrica produzida;

c) os encargos financeiros da exploração da energia elétrica, conforme disposto na Seção V deste Capítulo;

d) as penalidades a que estará sujeito o produtor independente ou autoprodutor e as hipóteses de caducidade da concessão;

e) as condições em que será admitida a transferência da concessão.

§ 2º A minuta do contrato constituirá anexo do edital da licitação.

Art. 12. Nos casos de autorização, o ato do poder concedente indicará os direitos e obrigações do autorizado e as hipóteses de revogação.

Seção III

Do Acesso aos Sistemas de Transmissão e de Distribuição

Art. 13. Para garantir a utilização e a comercialização da energia produzida, o produtor independente e o autoprodutor terão assegurado o livre acesso aos sistemas de transmissão e de distribuição de concessionários e permissionários de serviço público de energia elétrica, mediante o ressarcimento do custo de transporte envolvido.

Parágrafo único. O órgão regulador e fiscalizador do poder concedente definirá, em ato específico, os critérios para determinação do custo de transporte, que deverá explicitar as parcelas relativas à transmissão e à distribuição, assegurado o tratamento isonômico para os produtores independentes e autoprodutores perante os concessionários e permissionários do serviço público de energia elétrica.

Seção IV

Da Modalidade da Operação Energética

Art. 14. A operação energética das centrais geradoras de produtor independente e de autoprodutor poderá ser feita na modalidade integrada ou não integrada.

§ 1º Considera-se operação integrada ao sistema aquela em que as regras operativas buscam assegurar a otimização dos recursos eletroenergéticos existentes e futuros.

§ 2º Sempre que a central geradora, em função de sua capacidade e da sua localização, interferir significativamente na operação do sistema elétrico, o contrato de concessão ou o ato autorizativo disporá sobre a necessidade de sua operação integrada, de acordo com os critérios e as regras de otimização do respectivo sistema, sujeita aos ônus e benefícios decorrentes.

§ 3º A operação da central geradora integrada será determinada com base nos estudos realizados pelos órgãos responsáveis pela operação otimizada do sistema elétrico.

§ 4º Fica assegurado ao produtor independente e ao autoprodutor, que operem na modalidade integrada, o recebimento de energia do sistema, de modo a garantir o cumprimento de seus contratos de fornecimento, nos casos em que for determinada a redução do despacho de suas usinas pelos órgãos responsáveis pela operação otimizada do sistema.

§ 5º As usinas termelétricas destinadas a autoprodução operarão na modalidade não integrada, podendo ser interligadas ao sistema elétrico.

Art. 15. Os contratos de concessão e as autorizações definirão, nos casos de operação integrada ao sistema, o montante de energia anual, em MWh, e a potência, em MW, que poderão ser comercializados, ou utilizados para consumo próprio, pelo produtor independente ou autoprodutor, e as formas pelas quais esses valores poderão ser alterados.

Parágrafo único. Nos casos de operação não integrada ao sistema, os contratos de concessão ou as autorizações definirão o montante de potência, em MW, associado ao empreendimento e as formas pelas quais esse valor poderá ser alterado.

Seção V

Dos Encargos Financeiros da Exploração de Energia Elétrica

Art. 16. A partir da entrada em operação da central geradora de energia elétrica, o produtor independente e o autoprodutor sujeitar-se-ão aos seguintes encargos, conforme definido na legislação específica e no respectivo contrato:

I - compensação financeira aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios, bem como a órgãos da administração direta da União, pelo aproveitamento de recursos hídricos, para fins de geração de energia elétrica;

II - taxa de fiscalização dos serviços de energia elétrica, a ser recolhida nos prazos e valores estabelecidos no edital de licitação e nos respectivos contratos;

III - quotas mensais da “Conta de Consumo de Combustíveis - CCC”, subconta Sul/Sudeste/Centro-Oeste ou subconta Norte/Nordeste:

a) incidente sobre a parcela de energia consumida por autoprodutor que opere na modalidade integrada no sistema em que estiver conectado;

b) incidente sobre as parcelas de energia consumida ou comercializada com consumidor final, nos termos dos incisos II, IV e V do art. 23 deste Decreto, por produtor independente que opere na modalidade integrada no sistema em que estiver conectado;

IV - quotas mensais da “Conta de Consumo de Combustíveis - CCC”, subconta Sistemas Isolados, incidentes sobre as parcelas de energia comercializada com consumidor final por produtor independente, nos termos dos incisos II, IV e V do art. 23.

Seção VI

Da Fiscalização e das Penalidades

Art. 17. O órgão regulador e fiscalizador do poder concedente, diretamente, por intermédio de empresas especializadas ou mediante convênios com órgão estaduais, exercerá a fiscalização técnica das obras referentes aos aproveitamentos de potenciais hidráulicos por produtor independente e autoprodutor, visando garantir a compatibilidade com os projetos aprovados.

§ 1º O órgão regulador e fiscalizador poderá autorizar ou determinar revisões dos projetos, inclusive para adequá-los à definição do aproveitamento ótimo.

§ 2º Também serão objeto de fiscalização as instalações e a operação das centrais geradoras que operem na modalidade integrada, podendo o órgão regulador e fiscalizador determinar as correções que forem consideradas necessárias para assegurar a adequada inserção dessas centrais geradoras no sistema elétrico.

Art. 18. O descumprimento das normas legais e regulamentares e o desatendimento às instruções e recomendações do órgão regulador e fiscalizador do poder concedente, inclusive as constantes do contrato, sujeitarão o produtor independente e o autoprodutor às penalidades de advertência e multa, conforme definido em contrato ou ato autorizativo, sem prejuízo do disposto no art. 22.

Seção VII

Dos Bens Utilizados na Produção de Energia Elétrica

Art. 19. Os bens e instalações utilizados na produção de energia elétrica a partir do aproveitamento de potencial hidráulico e as linhas de transmissão associadas, desde o início da operação da usina, não poderão ser removidos ou alienados sem prévia e expressa autorização do órgão regulador e fiscalizador do poder concedente.

§ 1º O produtor independente e o autoprodutor poderão oferecer os direitos emergentes da concessão ou da autorização, compreendendo, dentre outros, a energia elétrica a ser produzida e a receita decorrente dos contratos de compra e venda dessa energia, bem assim os bens e instalações utilizados para a sua produção, em garantia de financiamentos obtidos para a realização das obras ou serviços.

§ 2º No caso de inadimplência do produtor independente ou autoprodutor, poderá o poder concedente:

a) autorizar a transferência do contrato de concessão ou da autorização a qualquer interessado que atenda aos requisitos de qualificação técnica e econômico-financeira, previstos no edital da licitação ou no ato autorizativo;

b) declarar a caducidade da concessão, ou revogar a autorização, e promover nova outorga, para a mesma ou para outra finalidade.

§ 3º A execução da garantia não poderá comprometer a continuidade da exploração da central geradora.

§ 4º Na hipótese prevista na alínea “b” do § 2º, o poder concedente utilizará os recursos gerados com a nova licitação ou outorga para indenização da parcela dos investimentos já realizados e ainda não amortizados, podendo, inclusive, transferir diretamente aos credores do concessionário ou autorizado a parcela que a eles couber, até o valor dos débitos não liquidados e observado o limite da indenização aqui referida.

Art. 20. No final do prazo da concessão ou autorização, os bens e instalações realizados para a geração independente e para a autoprodução de energia elétrica em aproveitamento hidráulico passarão a integrar o patrimônio da União, mediante indenização dos investimentos ainda não amortizados.

§ 1º Para determinação do montante da indenização a ser paga, serão considerados os valores dos investimentos posteriores, aprovados e realizados, não previstos no projeto original, e a depreciação apurada por auditoria do poder concedente.

§ 2º No caso de usinas termelétricas, não será devida indenização dos investimentos realizados, assegurando-se, porém, ao produtor independente ou ao autoprodutor remover as instalações.

Seção VIII

Da Encampação e Caducidade

Art. 21. Por motivo de interesse público, o poder concedente poderá promover a encampação dos bens e instalações utilizados na produção independente ou autoprodução de energia elétrica, assegurado ao interessado o direito à prévia indenização, nos termos da legislação em vigor.

Art. 22. A inadimplência contratual acarretará, a critério do poder concedente, a aplicação das sanções previstas no respectivo contrato ou a declaração de caducidade da concessão ou revogação da autorização.

§ 1º A declaração de caducidade deverá ser precedida da verificação da inadimplência, através de processo administrativo específico, assegurados o contraditório e a ampla defesa.

§ 2º Não será instaurado o processo administrativo antes de notificados, ao produtor independente ou autoprodutor, os fatos constitutivos da inadimplência, fixando-lhe prazo para correção das irregularidades.

§ 3º A caducidade da concessão ou a revogação da autorização não acarretará, para o poder concedente, qualquer responsabilidade em relação aos encargos, ônus, obrigações ou compromissos assumidos pelo produtor independente ou autoprodutor, com relação a terceiros, inclusive seus empregados, ressalvada a indenização dos investimentos realizados, apurada na forma do disposto no “caput” do art. 20, deduzidos os valores das penalidades e dos danos porventura decorrentes do fato motivador da caducidade.

Capítulo II

DAS DISPOSIÇÕES RELATIVAS AO PRODUTOR INDEPENDENTE

Art. 23. O produtor independente poderá comercializar a potência e/ou energia com:

I - concessionário ou permissionário de serviço público de energia elétrica;

II - consumidores de energia elétrica nas condições estabelecidas nos arts. 15 e 16 da Lei nº 9.074, de 1995;

III - consumidores de energia elétrica integrantes de complexo industrial ou comercial, aos quais forneça vapor ou outro insumo oriundo de processo de cogeração;

IV - conjunto de consumidores de energia elétrica, independentemente de tensão e carga, nas condições previamente ajustadas com o concessionário local de distribuição;

V - qualquer consumidor que demonstre ao poder concedente não ter o concessionário local lhe assegurado o fornecimento no prazo de até 180 dias, contado da respectiva solicitação.

Parágrafo único. A comercialização de energia elétrica nas hipóteses dos incisos I, IV e V deste artigo deverá ser feita a preços sujeitos aos critérios gerais fixados pelo poder concedente.

Art. 24. Os contratos de comercialização de energia elétrica celebrados entre o produtor independente e o concessionário ou permissionário de serviço público de energia elétrica deverão ser submetidos por estes à homologação do órgão regulador e fiscalizador do poder concedente.

Art. 25. Mediante ajuste com os concessionários ou permissionários de serviço público de energia elétrica e prévia autorização do órgão regulador e fiscalizador do poder concedente, poderá o produtor independente permutar blocos de energia elétrica economicamente equivalentes:

I - para possibilitar o consumo em instalações industriais de propriedade do produtor independente;

II - para atender a consumidores interessados na energia elétrica do produtor independente, nas hipóteses previstas no art. 23;

III - para atender a necessidades localizadas de energia elétrica, justificadas pelos concessionários ou permissionários do serviço público de distribuição.

Parágrafo único. O contrato de permuta deverá explicitar os custos das transações de transmissão e distribuição envolvidos.

Art. 26. O produtor independente integrado, ou que operar usinas térmicas em sistemas isolados, e comercializar energia elétrica nos termos dos incisos I, IV e V do art. 23, poderá utilizar o mecanismo de ressarcimento do custo de combustíveis instituídos na Conta de Consumo de Combustíveis - CCC, mediante autorização do órgão regulador e fiscalizador do poder concedente.

Parágrafo único. No caso de comercialização de apenas parte da energia produzida, a utilização do mecanismo previsto neste artigo ficará limitada à parcela comercializada.

Capítulo III

DAS DISPOSIÇÕES RELATIVAS AO AUTOPRODUTOR

Art. 27. A outorga de concessão ou de autorização a autoprodutor estará condicionada à demonstração, perante o órgão regulador e fiscalizador do poder concedente, de que a energia elétrica a ser produzida será destinada a consumo próprio, atual ou projetado.

Art. 28. Mediante prévia autorização do órgão regulador e fiscalizador do poder concedente, será facultada:

I - a cessão e permuta de energia e potência entre autoprodutores consorciados em um mesmo empreendimento, na barra da usina;

II - a compra, por concessionário ou permissionário de serviço público de distribuição, do excedente da energia produzida;

III - a permuta de energia, em montantes economicamente equivalentes, explicitando os custos das transações de transmissão envolvidos, com concessionário ou permissionário de serviço público de distribuição, para possibilitar o consumo em instalações industriais do autoprodutor em local diverso daquele onde ocorre a geração.

Art. 29. A parcela de energia produzida por autoprodutor que operar usinas térmicas em sistemas isolados, adquirida por concessionário ou permissionário do serviço público de distribuição, nos termos do inciso II do artigo anterior, fará jus ao ressarcimento do custo de combustíveis instituído na Conta de Consumo de Combustíveis - CCC, mediante autorização do órgão regulador e fiscalizador do poder concedente.

Capítulo IV

DAS DISPOSIÇÕES FINAIS

Art. 30. A requerimento justificado do interessado, o poder concedente poderá declarar a utilidade pública, para fins de desapropriação ou instituição de servidão administrativa, de terrenos e benfeitorias, de modo a possibilitar a realização de obras e serviços de implantação de aproveitamento hidráulico ou de usina termelétrica, cabendo ao produtor independente ou

Anexo 4 à Bibliografia

autoprodutor interessado promover, amigável ou judicialmente, na forma da legislação específica, a efetivação da medida e pagar as indenizações devidas.

Art. 31. O órgão regulador e fiscalizador do poder concedente expedirá as normas complementares, necessárias à aplicação do disposto neste Decreto.

Art. 32. Fica revogado o Decreto nº 915, de 6 de setembro de 1993.

Art. 33. Este Decreto entra em vigor na data de sua publicação.

Brasília, 10 de setembro de 1996; 175º da Independência e 108º da República.

FERNANDO HENRIQUE CARDOSO

Raimundo Brito

DOU 11.09.96