

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS

**PROJETO EXECUTIVO DO SISTEMA DE
TRANSPOSIÇÃO DO AÇUDE ORÓS PARA A
REGIÃO DO FEITICEIRO, EM ORÓS - CE**

**TOMO I - RELATÓRIO GERAL
VOLUME 2 - MEMORIAL DE CÁLCULO**



ÍNDICE

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO.....	5
1. INTRODUÇÃO	7
1.1. Trecho de Recalque (conduto forçado).....	8
1.2. Trecho em Canal (conduto livre).....	9
2. ESTAÇÃO ELEVATÓRIA.....	10
2.1. Número de Conjuntos Turbo-Bomba e Vazões Bombeadas	11
2.2. Carga Média de Projeto	16
2.2.1. Método Determinístico:.....	16
2.2.2. Método de Simulação	20
2.3. Especificação da Bomba e Ponto de Operação	30
2.4. Especificação do Sistema Hidráulico Açude-Barrilete	42
2.4.1. Dados	44
2.4.2. Formulário.....	44
2.5. Especificação dos Barriletes de Adução e Recalque	47
2.5.1. Barrilete de Adução das Turbinas	47
2.5.2. Barrilete de Sucção das Bombas.....	49
2.5.3. Barriletes de Recalque.....	51
2.5.4. Espessura da Parede das Tubulações.....	53
3. ADUTORA.....	62
3.1. Escolha do Traçado do Sistema Adutor	63
3.2. Cálculo das Perdas de Carga	63
3.3. Escolha do Diâmetro e Número de Adutoras	65
3.4. Espessura da Chapa da Adutora	65
3.5. Transiente Hidráulico	69
4. PROJETO ESTRUTURAL	70
4.1. Projeto Estrutural da Estação de Recalque.....	71
4.2. Projeto Estrutural dos Blocos de Ancoragem	72
5. CANAL	73
5.2. Derivações.....	74
5.3. Estruturas Especiais.....	74
6. ANEXOS	75
6.1. Turbina Michell Bunki e Transmissão Similar à Especificada	76



6.2. Estudo de Possibilidades	76
6.3. Traçado Adutor	106
6.4. Simulação de Operação, Taxa de Ociosidade e Justificativa Econômica ..	107
6.4.1. Simulação de Operação	108
6.4.2. Taxa de Ociosidade.....	110
6.4.3. Justificativa Econômica da Utilização de Turbo-Bombas.....	110
6.5. Cadernetas do Levantamento Topográfico	111



APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

O presente documento consolida os trabalhos executados através do contrato nº 22/99/SRH-CE firmado entre a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará e a GHG Engenharia de Geologia Ltda. para a elaboração do Projeto Executivo denominado Sistema de Transposição do Açude Orós para a Região do Feiticeiro.

Os estudos desenvolvidos, conforme o Termo de Referência, são constituídos por atividades específicas que permitem a elaboração dos seguintes documentos, que compõem o acervo do projeto.

Este documento constitui o Volume 2 - Memorial de Cálculo do Tomo I - Relatório Geral.

TOMO I - RELATÓRIO GERAL

Volume 1 - Texto

Volume 2 - Memorial de Cálculo

Volume 3 - Quantitativos e Custos

Volume 4 - Especificações Técnicas

Volume 5 - Normas de Medição e Pagamento

TOMO II - DESENHOS

Volume 1 - Arquitetura, Hidromecânica e Plantas Complementares

Volume 2 - Projeto Estrutural da Estação de Recalque

Volume 3 - Perfil e Caminhamento – Adutora

Volume 4 - Perfil e Caminhamento – Canal



1. INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

Este volume constitui-se no Volume 2 – Memorial de Cálculo, Tomo I, cujo objetivo é apresentar o detalhamento dos cálculos realizados para o dimensionamento do Projeto do Sistema de Transposição do Açude Orós para a Região do Feiticeiro.

As características técnicas do sistema adutor projetado são as seguintes:

1.1. Trecho de Recalque (conduto forçado)

Resumo dos cálculos referentes às adutoras:

- Número de adutoras: 2 (duas).
- Número de conjuntos Turbo-Bomba: 4 (quatro), dois conjuntos por adutora.
- Extensão da tubulação de recalque: 6260 m.
- Diâmetro da tubulação: 700 mm.
- Material da tubulação: aço ASTM A283D, com tensão máxima admissível de 2240 kgf/cm², DN 700 mm com espessura de 11,4 mm e anel de vedação conforme NBR 9915.
- Revestimento da tubulação: revestimento interno e externo conforme norma ABNT NBR 12780 Coal - Tar Enamel tipo 1.
- Vazão máxima de projeto obtida por adutora: 0,86 m³/s.
- Vazão máxima de projeto (duas adutoras): 1,72 m³/s.
- Vazão mínima de projeto obtida por adutora: 0,35 m³/s.
- Vazão mínima de projeto (duas adutoras): 0,70 m³/s.
- Manancial: Açude Orós.
- Captação: Será a mesma tubulação utilizada para adução das turbinas, sendo apoiada sobre blocos de ancoragem entre a casa de máquinas e a extremidade de jusante da tubulação da tomada d'água do açude, onde atualmente se encontra instalada uma válvula dispersora cônica. A válvula deverá ser removida e instalada na extremidade da tubulação de adução das turbinas, denominado neste projeto de Sistema Hidráulico Açude-Barrilete.

1.2. Trecho em Canal (conduto livre)

A seguir são apresentadas as premissas que, a partir destas, foram realizadas as considerações iniciais a respeito do canal. Tais premissas justificaram a utilização de canal em trechos que se apresentaram economicamente mais viáveis e tecnicamente possíveis de serem utilizados.

- Extensão: Aproximadamente 7000 m
- Seção do canal: semi-circular
- Diâmetro: 1,5 a 2,0 m.
- Material de fabricação: pré-moldado em concreto armado
- Vazão máxima de projeto: 1,8 m³/s
- Declividade média de projeto: 0,001 m/m



2. ESTAÇÃO ELEVATÓRIA

2. ESTAÇÃO ELEVATÓRIA

2.1. Número de Conjuntos Turbo-Bomba e Vazões Bombeadas

A estação elevatória foi dimensionada para operar com 4 conjuntos Turbo-Bomba (turbina e bomba acopladas), sendo dois conjuntos por adutora. Os principais motivos para essa escolha são:

- Possibilidade de implantação dos conjuntos e adutoras de forma gradual, reduzindo assim o custo inicial do projeto.
- Capacidade de operação em função da vazão disponível para acionamento da turbina, resultando em uma maior flexibilidade nas operações de recalque. No caso de um único conjunto, este poderia ficar inutilizado para vazões turbináveis parciais, o que não ocorre quando se trabalha com dois ou mais conjuntos, permitindo assim a parada de um conjunto de acordo com a necessidade ou disponibilidade de vazão para acionamento da turbina.

O número de conjuntos está fortemente relacionado com a vazão a ser recalçada. Sendo assim, com a altura manométrica escolhe-se as possíveis bombas que diferem na vazão no ponto de maior rendimento, variando inclusive este último. Escolhe-se aquela que exigirá uma potência que esteja dentro dos limites possíveis de fabricação das turbinas; a potência da turbina também está limitada pela vazão disponível para seu acionamento, que é a vazão mais próxima possível da vazão regularizada.

Os dados a seguir apresentam as características do sistema hidráulico de recalque para a especificação do número de conjuntos.

- Altura geométrica de recalque: 109,3 m
- Vazão de Recalque Total Esperada: 1,70 m³/s
- Diâmetro da Tubulação: 700 mm
- Altura Manométrica: 150 m.c.a.

Como ponto de partida toma-se uma vazão de recalque tida como satisfatória de aproximadamente 800 l/s por adutora. Em seguida escolhe-se uma bomba, cuja associação em paralelo resulte em uma vazão aproximada à esperada.

Uma vez traçada a curva da bomba (para mais que uma bomba, a curva traçada deverá ser destas bombas associadas em paralelo), traça-se a curva do sistema com diferentes valores para o diâmetro. O ponto de cruzamento das duas curvas (curvas da bomba associadas e do sistema) deve-se dar próximo ao ponto de maior rendimento da bomba. Este ponto no cruzamento das curvas é o ponto de operação.

Com o ponto de operação determina-se a potência necessária a ser fornecida à bomba pela turbina. Deve-se considerar as perdas de transmissão, que são da ordem de 5%. A opção de recalque adotada e considerada suficiente para a viabilidade do projeto, segundo estudo realizado pela Prefeitura Municipal de Jaguaribe, após o estudo de diversas possibilidades é dada por:

- Vazão de recalque por adutora: 0,86 m³/s (dois conjuntos operando)
- Vazão de recalque por bomba: 0,43 m³/s
- Carga manométrica total: 150 m.c.a.

A seguir são apresentados os cálculos e curvas de bombas que auxiliaram a obtenção dos valores acima:

- Potência consumida pela bomba (cálculo para primeira aproximação):

$$P_B = \frac{\gamma \times Q_B \times H_B}{\eta_B \times 75}$$

Onde:

Q_B = vazão de recalque (m³/s)

H_B = carga manométrica (m.c.a.).

γ = peso específico do líquido (1000 kg/m³)

P_B = potência fornecida ao eixo da bomba (CV)

η_B = rendimento da bomba

$$P_B = \frac{1000 \times 0,43 \times 150}{0,75 \times 75}$$

$$P_B = 1146,7CV$$

O rendimento da turbina é de 69%, e o do sistema de transmissão é de 95%. Uma vez que a carga líquida na turbina é de 26 m.c.a., pode-se calcular a vazão necessária a ser fornecida à turbina de forma que esta produza a potência de eixo exigida pela bomba. Calculando a potência necessária no eixo da turbina:

$$P_{\text{eixo}} = \frac{P_B}{\eta_{\text{tran}}} = \frac{1146,7}{0,95}$$

$$P_{\text{eixo}} = 1207CV$$

Onde:

P_B = potência no eixo da bomba (CV)

η_{tran} = rendimento da transmissão

P_{eixo} = potência no eixo da turbina (CV)

A partir da potência no eixo da turbina chega-se à potência hidráulica necessária:

$$P_H = \frac{P_{\text{eixo}}}{\eta_{\text{turb}}} = \frac{1207}{0,69}$$

$$P_H = 1749,3CV$$

Onde:

η_{turb} = rendimento da turbina

P_H = potência hidráulica (CV)

Com a potência hidráulica e carga no eixo da turbina, determina-se a vazão turbinada:

$$Q_{\text{turb}} = \frac{75 \times P_H}{1000 \times H_T} = \frac{75 \times 1749,3}{1000 \times 26}$$

Onde:

H_T = carga líquida na turbina (m.c.a.)

Q_{turb} = vazão turbinada (m^3/s)

$$Q_{\text{turb}} = 5,04 m^3/s$$

A vazão total turbinada é a vazão das quatro turbinas, dada por:

$$Q_{Turb} = 4 \times 5.04 = 20,16 m^3/s$$

A vazão total consumida pelo sistema é a soma da vazão turbinada e a recalçada:

$$Q_{TS} = 20,16 + 1,72 = 21,88 m^3/s$$

A curva característica da bomba mais apropriada é apresentada na figura 1. Para o estudo foram utilizadas curvas da Sulzer, Ksb e ABS. Bombas de outros fabricantes podem ser utilizadas desde que atendam às características hidráulicas com vazão, altura manométrica e rendimento.

Apesar dos cálculos anteriores levarem a uma potência necessária no eixo da bomba bastante superior à potência solicitada nas curvas de fabricantes, estes valores de potência foram adotados para o dimensionamento das turbinas, conferindo maior segurança ao sistema e possibilitando a adoção de bombas de qualquer fabricante.

As vazões bombeadas foram determinadas a partir da potência hidráulica disponível (vazão regularizada e carga média), sendo o sistema dimensionado para operar com vazões muito próximas à regularizada.

Embora a vazão regularizada de projeto seja de 20,4 m³/s com 90% de garantia, o sistema de recalque foi dimensionado para operar com até 21,88 m³/s, incluído neste valor a vazão recalçada. A vazão máxima turbinada é da ordem de 20,16 m³/s (quatro turbinas), como foi demonstrado anteriormente.

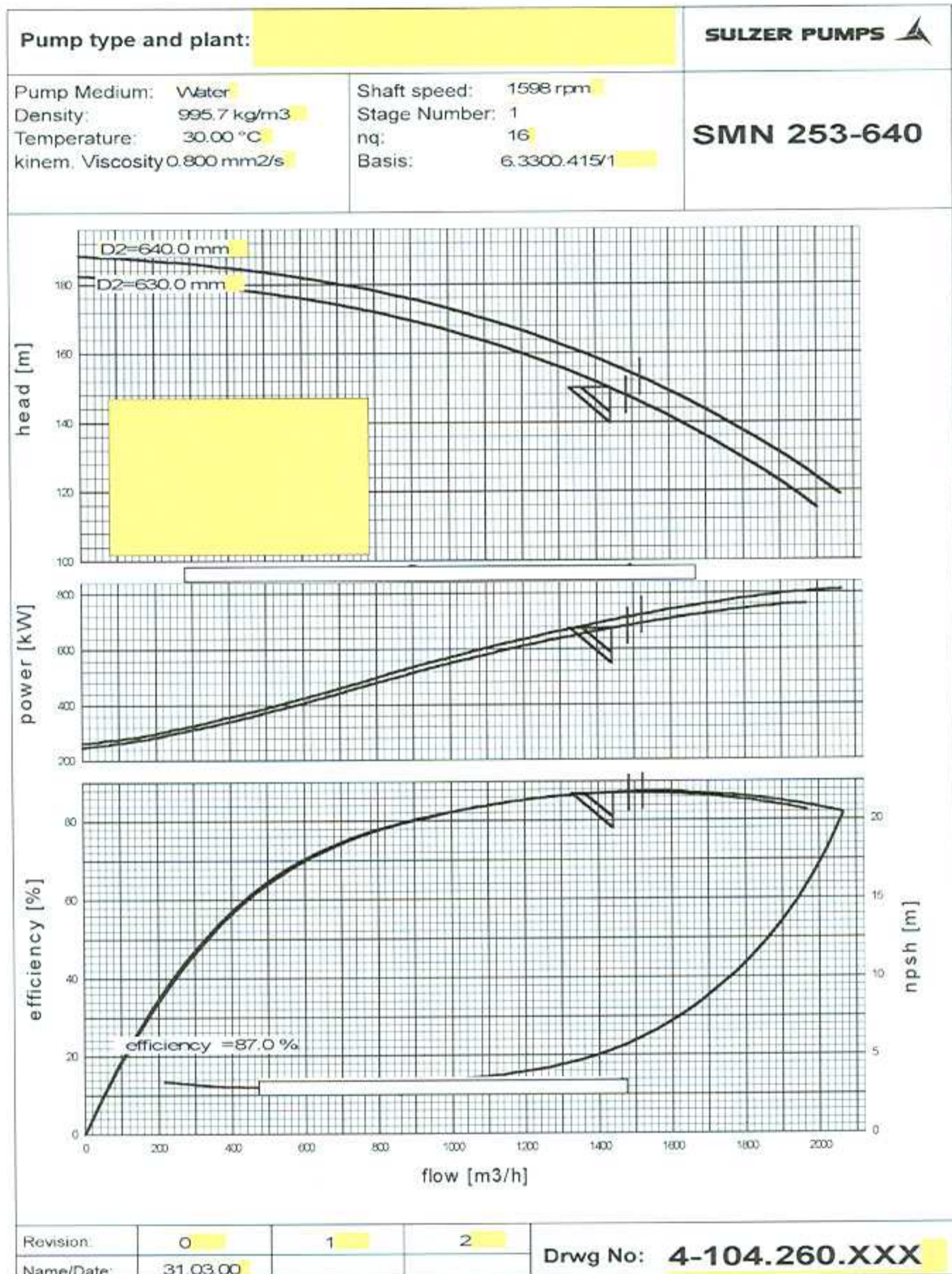


Figura 1 – Curva da bomba mais apropriada

2.2. Carga Média de Projeto

A carga média foi determinada através dos registros do nível do reservatório obtidos junto à COGERH, registrados no período de 169 meses entre os anos de 1986 e 2000 (aqui denominado método determinístico) e através de simulação com o auxílio do software ModSimP32, desenvolvido pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) e de livre domínio (método de simulação).

2.2.1. Método Determinístico:

A análise estatística (tabela 1) dos registros de nível indicou que no período analisado a cota média foi de 195,1 m. Utilizando-se do desvio padrão, cujo valor é de 4,1m, tomou-se a cota de projeto como sendo aquela que estivesse abaixo da média(a título de segurança) em 1 desvio padrão (um desvio padrão), o que resultou fixar em 191,0 m a cota de projeto. Este valor foi adotado porque aproximadamente 85% das cotas no período histórico ficaram acima de 191,0 m, o que é uma boa garantia operacional.

De acordo com otimizações e ajustes nas manobras de operação do sistema, pode-se otimizar esta garantia de fornecimento, desde que se aproveite o excedente de vazão nas quadras chuvosas e se intensifique a operação do sistema quando o nível da água passar da cota 191,0 m no açude.

Os equipamentos normalmente são dimensionados mecanicamente com folga, podendo suportar uma sobrecarga em potência no eixo da turbina em até 25%.

Tabela 1 - Análise estatística sobre as cotas registradas no açude Fogareiro

Média	195,1
Mediana	196,3
Moda	198,7
Desvio Padrão	4,1
Variância	17,1
Assimetria	-0,87
Mínimo	184,1
Máximo	200,8
Soma	32972
Contagem	169



A variação da cota do nível do reservatório, a cota média e a cota adotada para o projeto podem ser vistas no gráfico Cota x Tempo apresentado na figura 2a.

A curva de permanência composta pelos dados registrados reais encontra-se na figura 2b. A garantia equivalente à cota 191, 0 é de 84,2%.

Curva Cota em Função do Tempo - Açude Orós

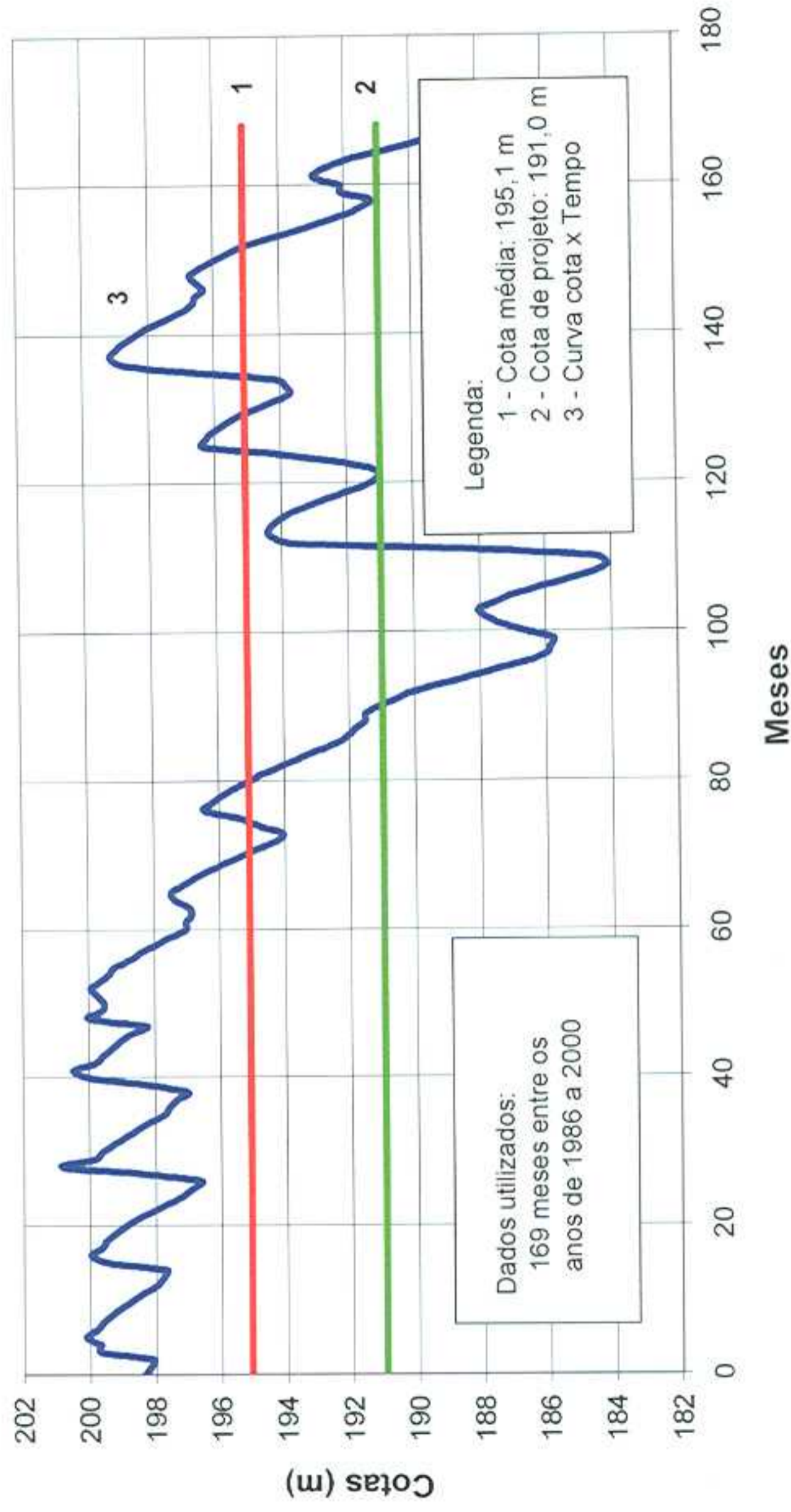


Figura 2a - Gráfico Cota x Tempo

Curva de Permanência (Dados Reais)

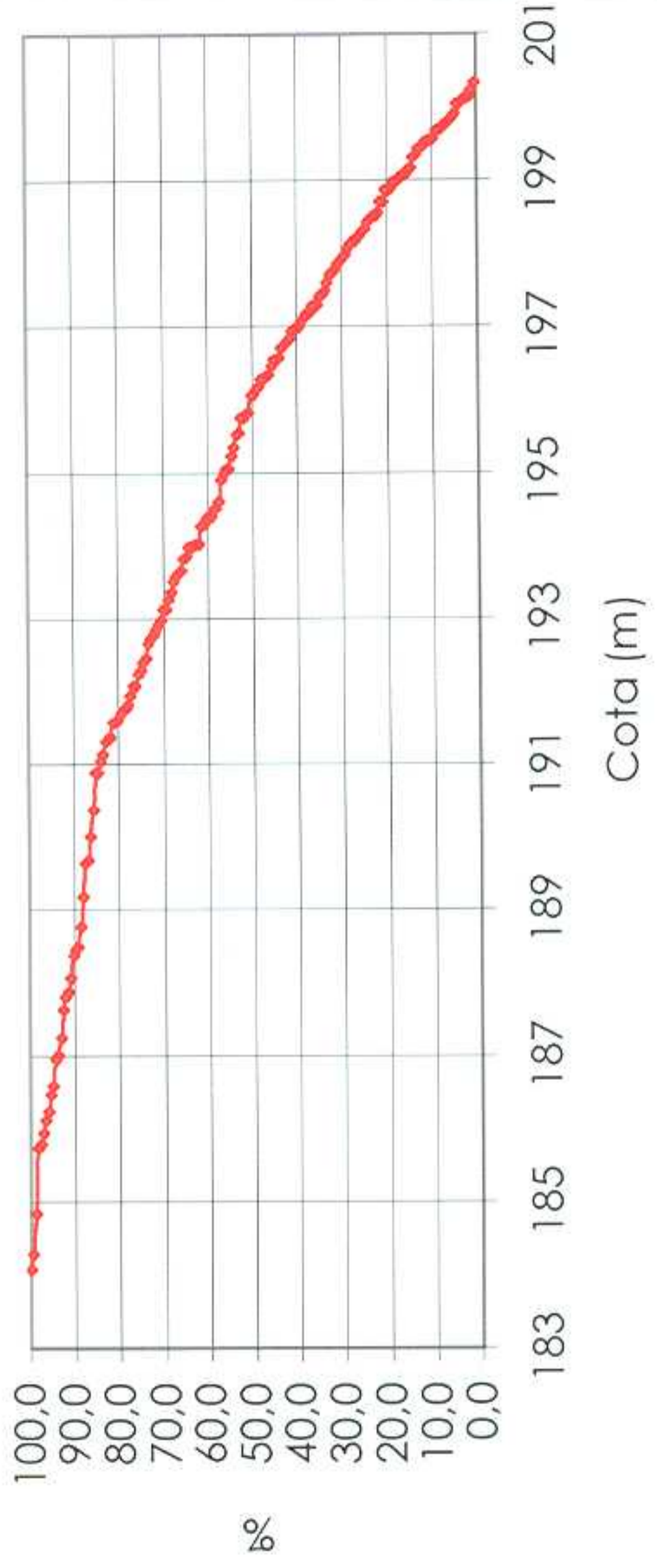


Figura 2b – Curva de Permanência com Dados Reais

2.2.2. Método de Simulação

Neste método foi utilizado para a simulação de dados de volume acumulado o software ModSimP32 de Rubem La Laina Porto – Poli / USP e Alexandre Nunes Roberto – Poli / USP – Interface para o modelo de simulação de bacias hidrográficas – MODSIM de John W. Labadie – Colorado State University, que a partir de dados e séries históricas reais consegue gerar dados simulados para o reservatório.

Os principais dados de entrada são:

- Vazões Afluentes - Grande parte dos dados reais de vazões afluentes foram obtidos a partir de dados históricos pluviométricos registrados pelas estações de controle pluviométrico da região, e pelas vazões regularizadas dos açudes de montante.
- Vazões Defluentes – Calculados a partir da média mensal de vazões liberadas pela COGERH a partir da data em que começaram a ser registrados.
- Coeficientes de evaporação – Calculados com base em dados registrados pelas estações da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME.
- Demanda a jusante – Calculada levando em conta a criação do Perímetro de Irrigação de Morada Nova.
- Coeficientes de infiltração – não foram adotados neste caso devido à dificuldade de obtenção e ao fato dos solos da região terem baixíssima permeabilidade. Tal coeficiente torna-se assim praticamente irrelevante frente a fatores como evaporação, por exemplo.
- Volume máximo do reservatório - 1940 Hm³
- Volume mínimo do reservatório (vol. Morto) – 30 Hm³
- Número de anos calculados: 70, a partir de janeiro de 1920 até dezembro de 1989.

- Curva Cota x Área x Volume – Ver Tabela 2. O gráfico da figura 3 mostra os dados Cota x Volume e a equação do tipo potência que mais se adapta como linha de tendência.

A partir desta equação serão transformados os dados de volume em respectivas cotas dos níveis de água do açude.

Tabela 2 – Curva Cota x Área x Volume do Açude Orós

Área (Km ²)	Volume (Mm ³)	Cota (m)
0	0	160
18,51	106,48	177
28,94	201,87	181
45	351,31	185
50,39	400,37	186
63,1	516,25	188
78,54	660,22	190
96,81	837,97	192
118,37	1056,25	194
130,65	1183,25	195
144,12	1323,41	196
158,9	1477,94	197
175,09	1647,99	198
192,68	1834,63	199
202,11	1940	199,5

Dos dados de saída(ou gerados), foram utilizados principalmente os volumes gerados do reservatório, obtidos mês a mês, em um total de 840 meses. Os dados gerados são apresentados na figura 4.

Os respectivos níveis, calculados pela equação da figura 3, são apresentados na figura 5.

A Figura 6 apresenta a curva de permanência em relação aos níveis gerados e a tabela 3 apresenta alguns pontos da curva.

Cota x Volume

$$y = 144,85x^{0,042}$$

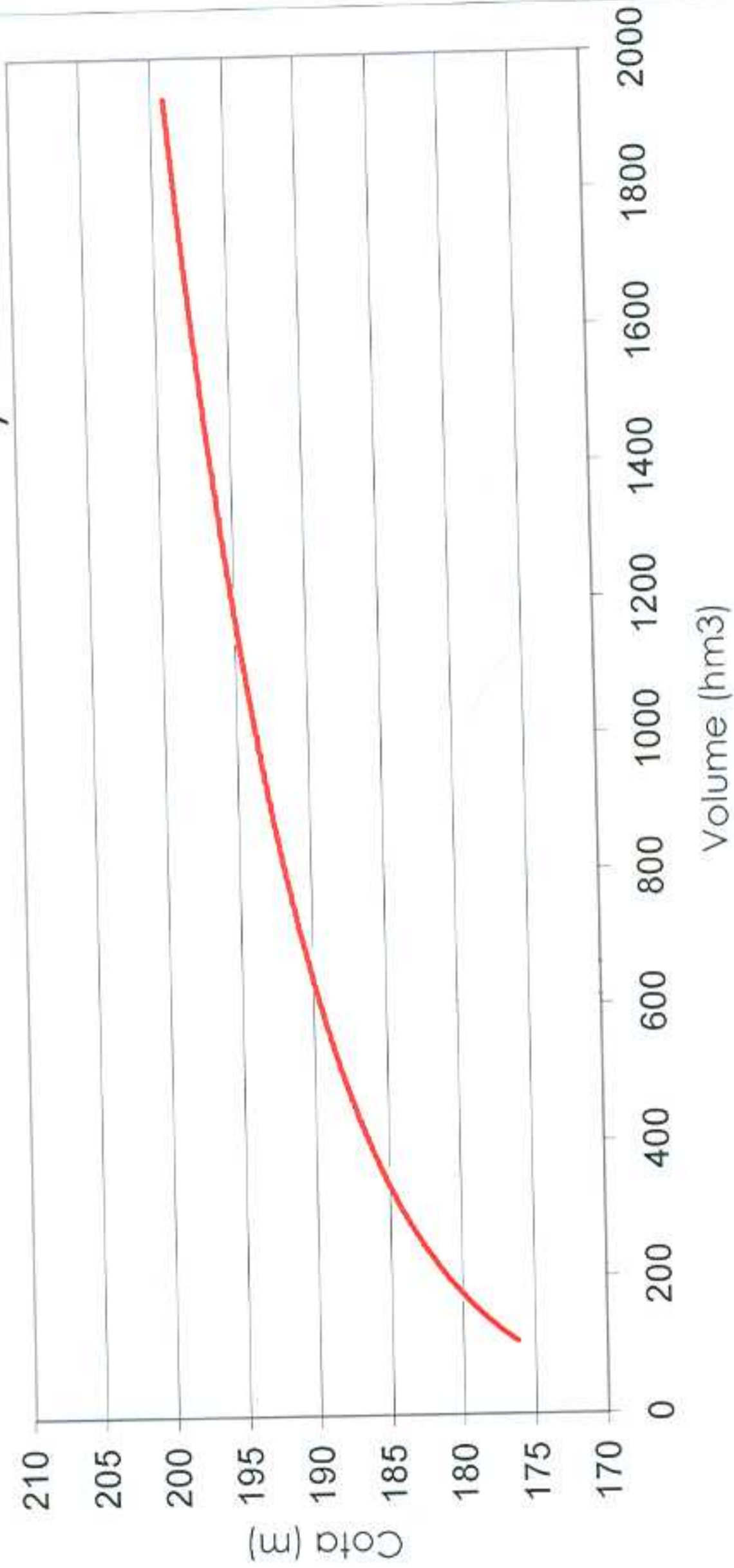


Figura 3 – Curva Cota x Volume

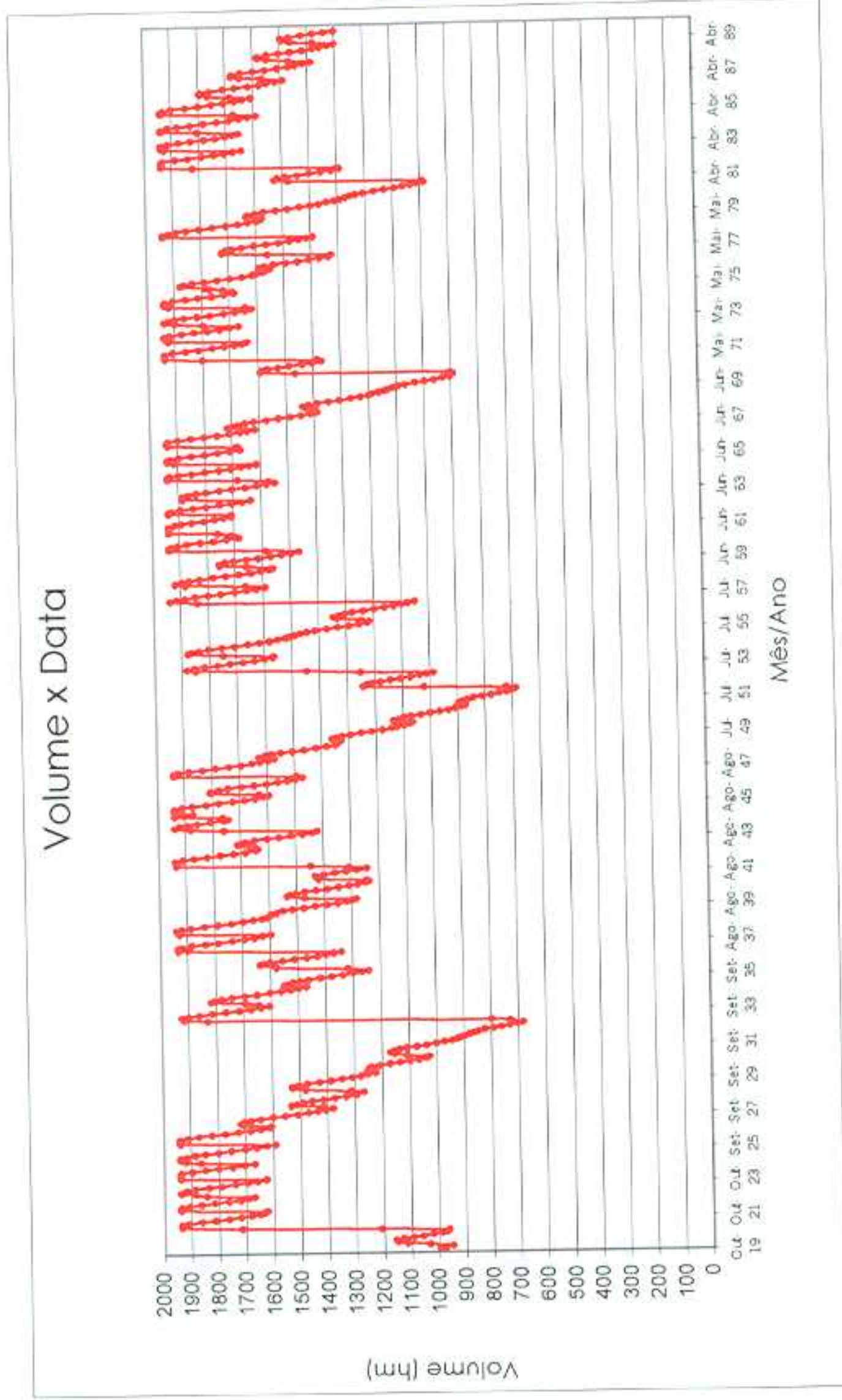


Figura 4 – Simulação de Volume Acumulado

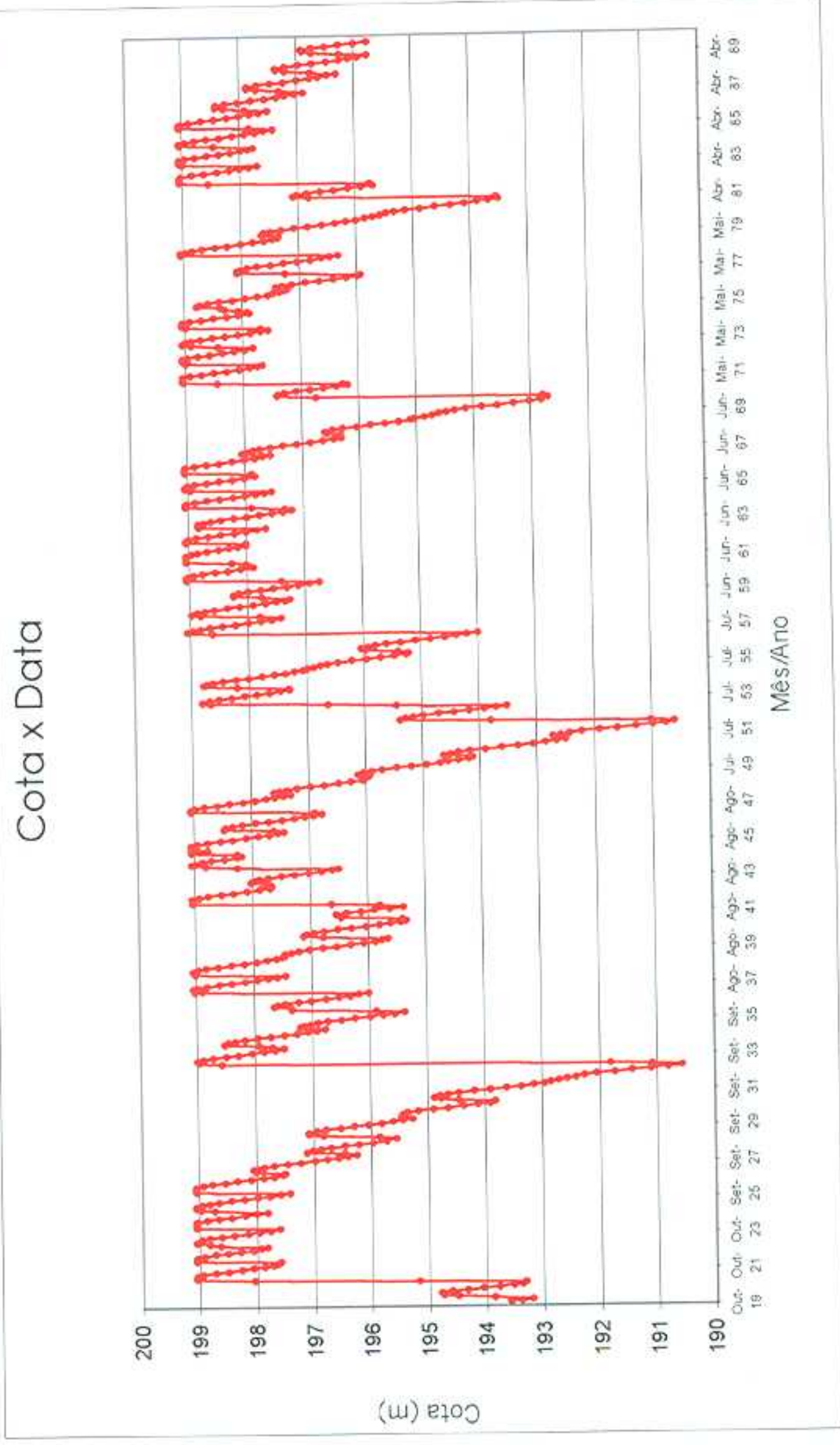


Figura 5 – Simulação de Níveis do Açude

Curva de Permanência de Níveis Gerados

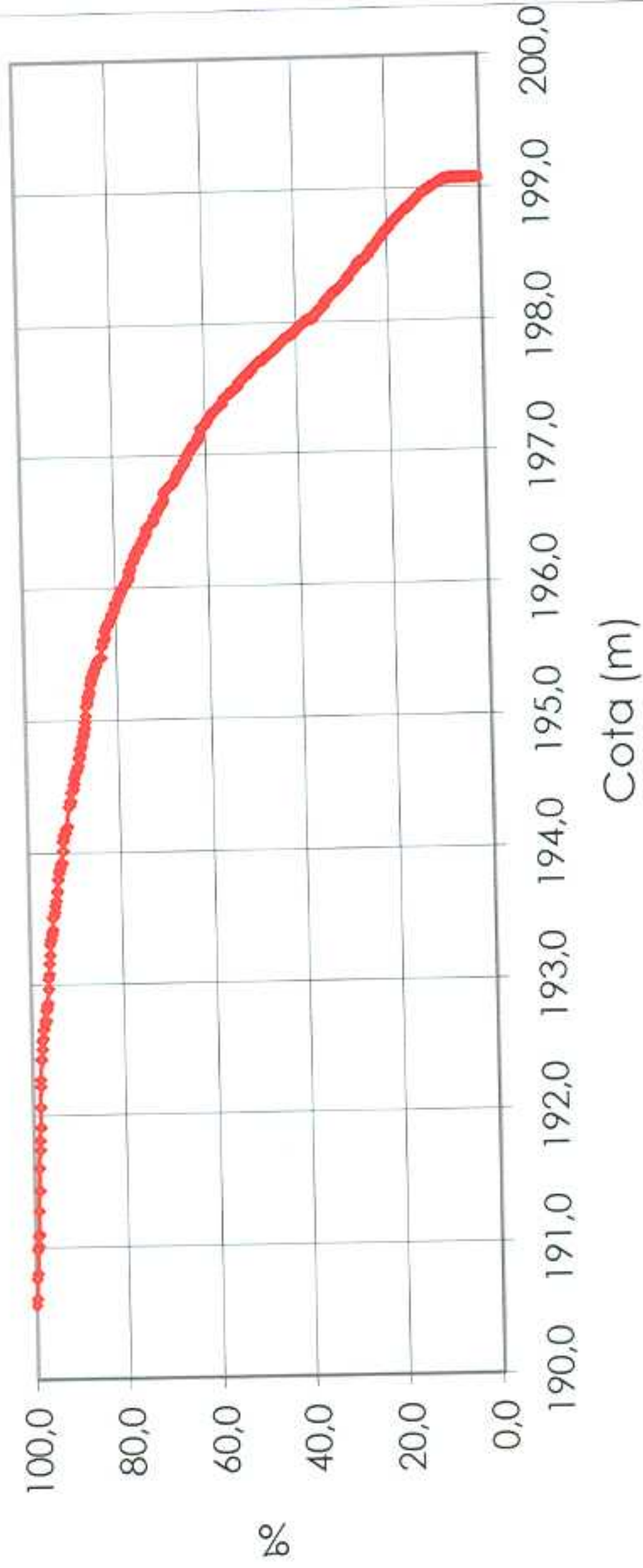


Figura 6 – Curva de Permanência com Níveis Gerados pelo MODSIM

Levando em conta todos os dados conseguidos até então, optou-se por adotar um nível de projeto que esteja entre os obtidos, a saber:

Tabela 3 - Garantias obtidas das curvas de permanência

Cota (m)	Garantia (%)
191 (*)	84,2
193.42	95
194.49	90
195.40	85
195.89	80
196.30	75
196.62	70
196.92	65
197.24	60
197.46	55
197.62	50

*Dado obtido pelo método determinístico e dados reais

Com base nos dados da tabela 3, tem-se de adotar um nível para cálculo que satisfaça tanto o aspecto econômico quanto o aspecto técnico.

À primeira vista, seria interessante adotar um nível para cálculo próximo à garantia de 90%, (194,5 m), mas para conferir maior segurança de trabalho ao sistema e diminuir ao máximo os níveis da taxa de ociosidade dos equipamentos, pode-se optar em utilizar a cota 191m do método determinístico como sendo a cota de projeto. Outro motivo para reforçar esta tese é que os dados utilizados para o método determinístico representam melhor a realidade, já que são mais atuais e levam em conta as atuais demandas a jusante e montante do Açude Orós.

Conclusão: Adotou-se para projeto o nível de 191m, do método determinístico. Desta forma o sistema trabalhará com um rendimento próximo ao ideal e é levado em conta um nível de garantia inicial(lembrando que o sistema pode vir a ser otimizado de acordo com a operação) satisfatório.

2.3. Seleção da Turbina

O tipo de turbina foi selecionado considerando-se vários critérios, como custo, facilidade de manutenção, resistência ao fenômeno de cavitação, variação do rendimento quando submetida a vazões parciais e sua compatibilidade com o sistema hidráulico proposto.

Devido à sua simplicidade, a turbina Michell-Banki apresenta um dos menores custos na fabricação, grande facilidade para manutenção, não sofre ação do fenômeno de cavitação, e sua variação de rendimento para vazões parciais é menor que a da Francis, sua concorrente direta. A figura 7 apresenta uma comparação entre a turbina Francis e a Michell-Banki (fluxo-cruzado ou cross-flow) quanto à variação do seu rendimento para vazões parciais.

O aproveitamento hidráulico pode ser caracterizado em função da rotação específica. Com os dados de carga na turbina (carga líquida de 26 m.c.a), vazão na turbina ($Q = 5,04 \text{ m}^3/\text{s}$) e rotação na turbina (variando entre 600 e 1000 RPM) chega-se à rotação específica do sistema hidráulico da turbina, dada por n_s em RPM.

$$n_s = n \times \frac{\sqrt{Q}}{H^{\frac{5}{4}}}$$

Para $H = 26 \text{ m.c.a.}$, $Q = 5,04 \text{ m}^3/\text{s}$, n variando de 600 a 1000 RPM resulta na rotação específica (em RPM) variando no intervalo:

$$117 \leq n_s \leq 195$$

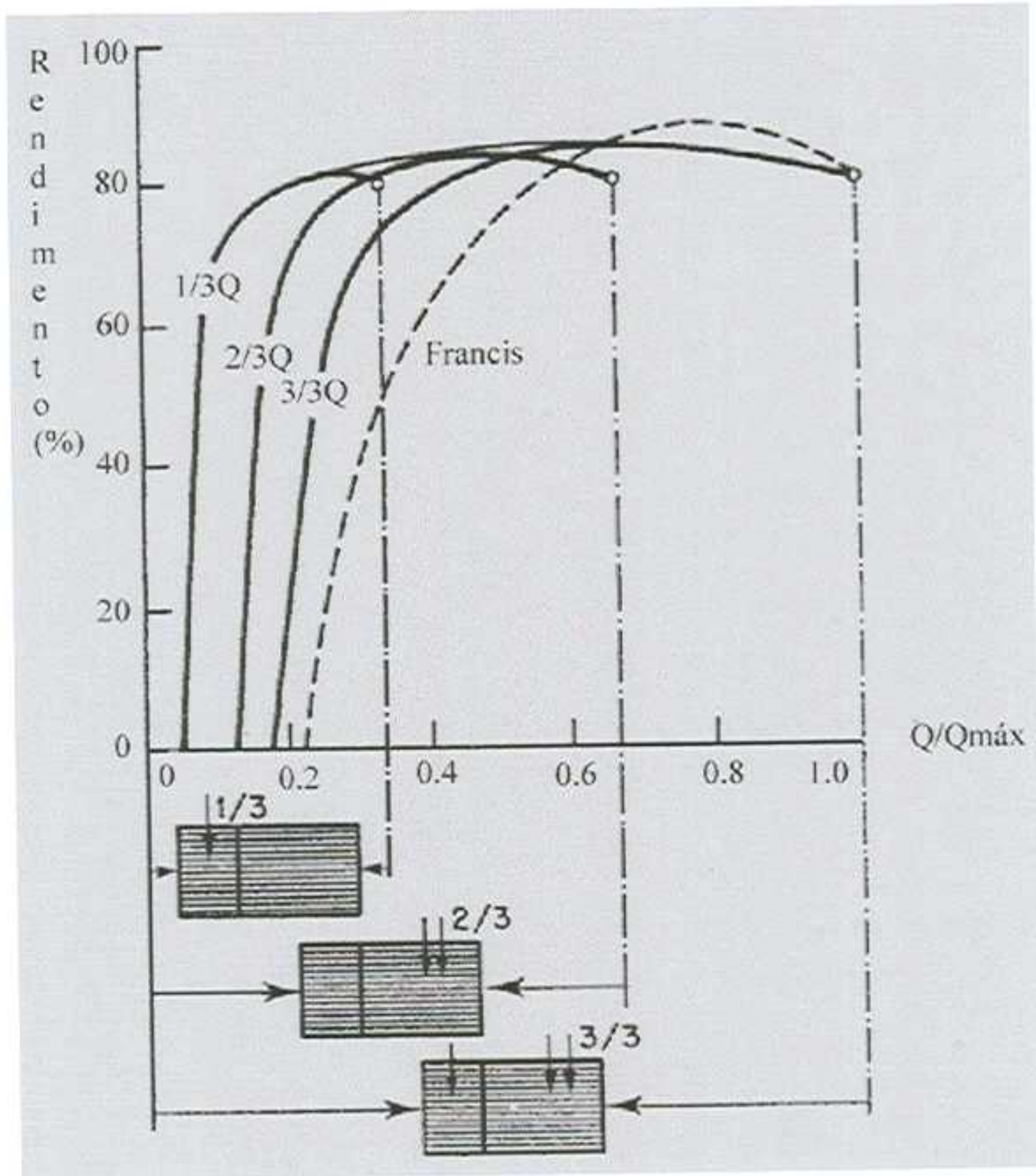


Figura 7 - Rendimento da Turbina Michell-Banki e Turbina Francis para vazões parciais

O gráfico da Figura 8 apresenta diferentes tipos de turbinas para intervalos de rotação específica.

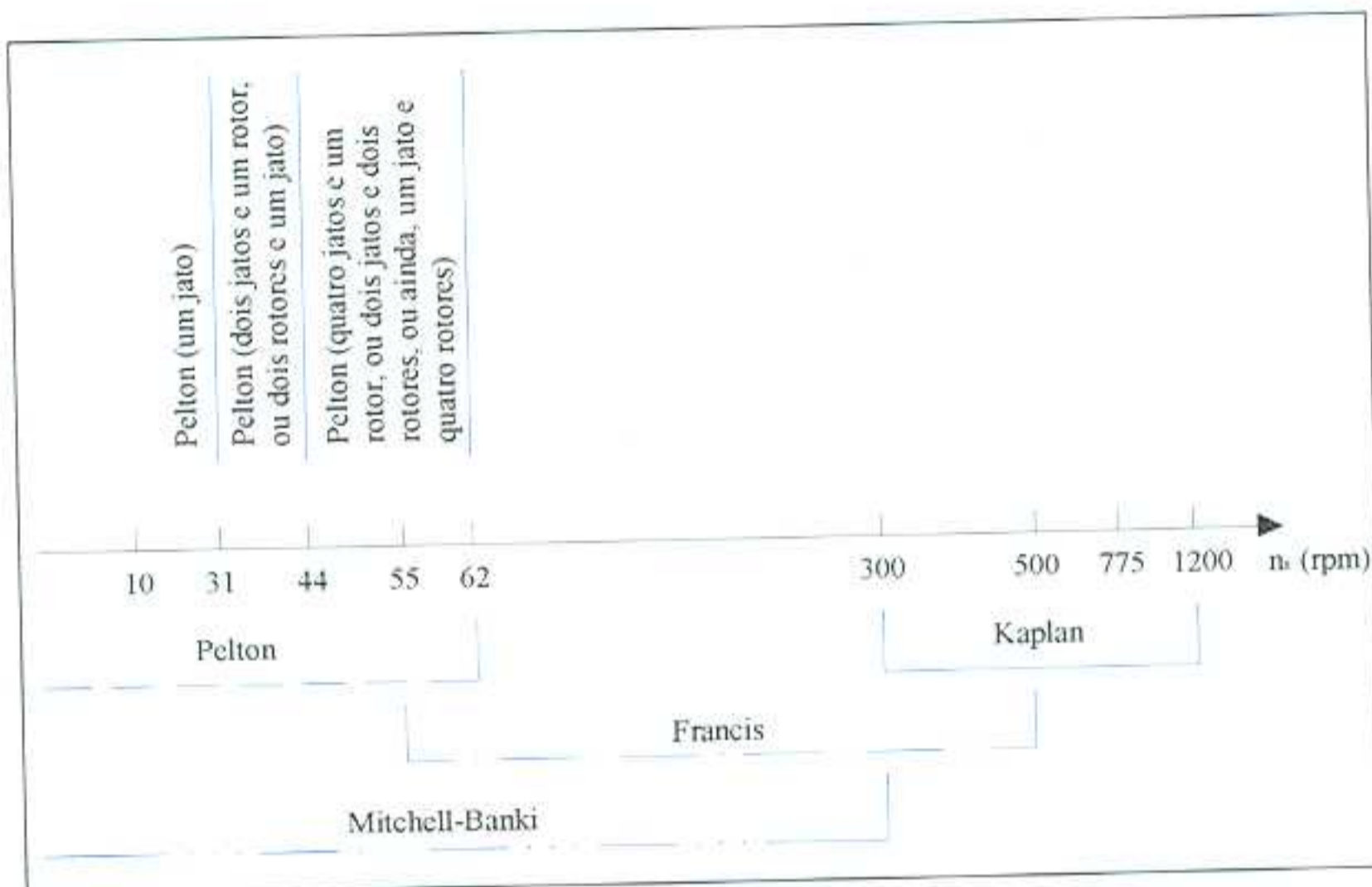


Figura 8 - Intervalos normais de operação de diferentes turbinas em função da rotação específica

Pelo exposto se conclui que a turbina Mitchell-Banki Cross-Flow (ou Fluxo-Cruzado) é a mais adequada para o aproveitamento hidráulico deste projeto.

2.3. Especificação da Bomba e Ponto de Operação

A bomba foi especificada procurando atender a vazão e altura manométrica esperada. Foram observados vários tipos e modelos de bombas, procurando especificar a que melhor se adaptasse ao sistema hidráulico proposto, o que significa ter seu ponto de funcionamento o mais próximo possível do máximo rendimento.

Também foi considerada a possibilidade de operações parciais, devendo o sistema ser capaz de operar com baixas cargas na turbina (redução de 25% na carga).

As bombas estudadas com base nos dados fornecidos pelos fabricantes foram a Sulzer, KSB e ABS, onde dentre estas, a considerada de melhor performance foi a Sulzer, modelo SMN 253-640, com rotação de 1598 RPM e rotor de 640 mm, curva original (1170 RPM) número 6.3300.815/1.



Bombas de outros fabricantes podem ser utilizadas, desde que apresentem características hidráulicas semelhantes às bombas utilizadas no projeto.

A Tabela 4 apresenta opções do sistema de recalque onde é destacada em **negrito** a opção escolhida, que consiste em duas adutoras de 700 mm com dois conjuntos Turbo-Bomba por adutora, apresentando uma vazão total de projeto no recalque em torno de 1,72 m³/s, vazão total consumida pelo sistema de 21,88 m³/s, operando com bombas Sulzer modelo SMN 253-640, rotação de 1598 RPM e rotor de 640 mm, curva original (1170 RPM) número 6.3300.815/1.

KSB RDL 300-620 B

1750 rpm

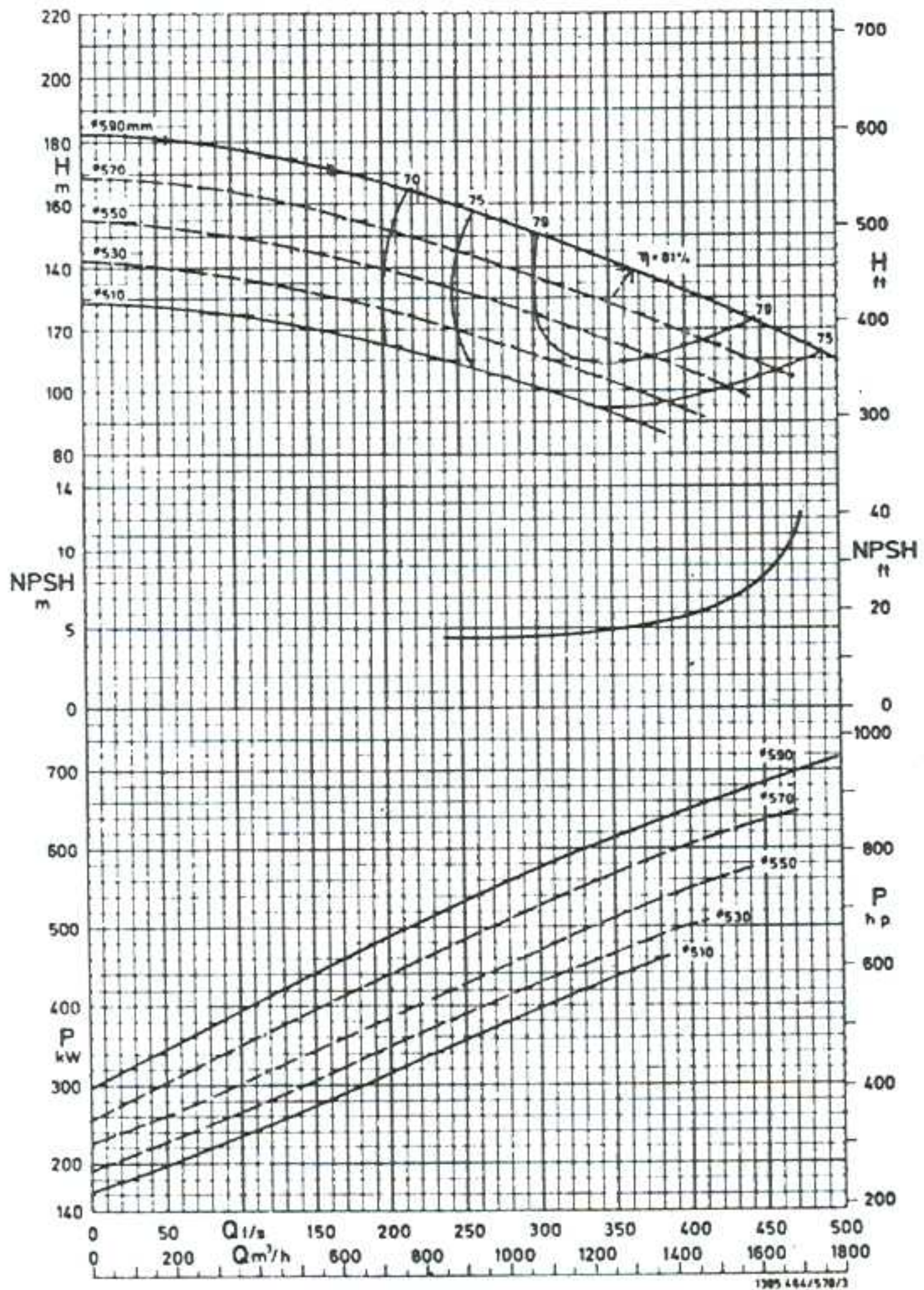


Figura 9 – Bomba KSB 300-620 B

KSB RDL 400-850 A

1160 rpm

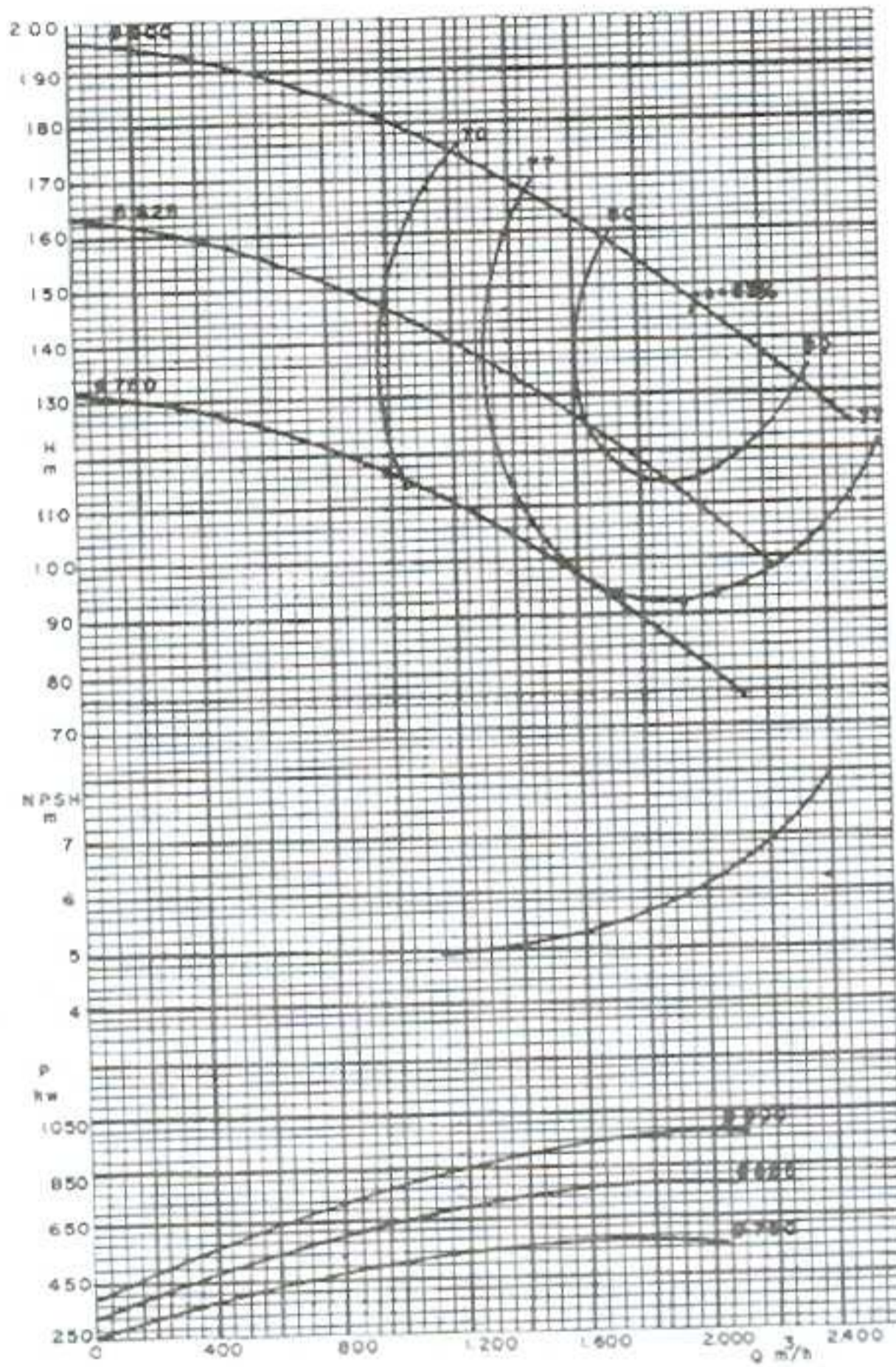


Figura 10 – Bomba KSB 400-850 A

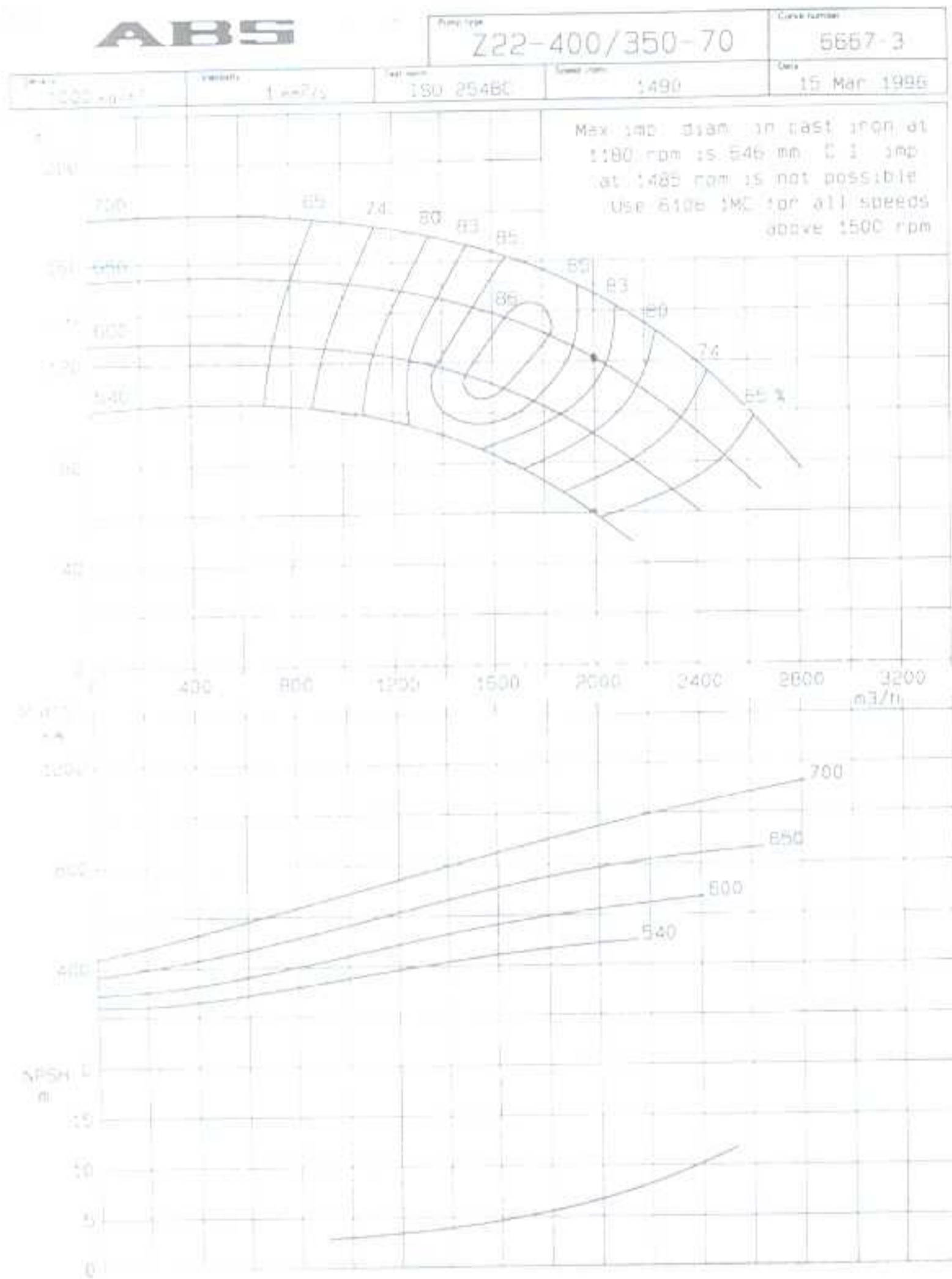


Figura 11 – Bomba ABS 6667-3

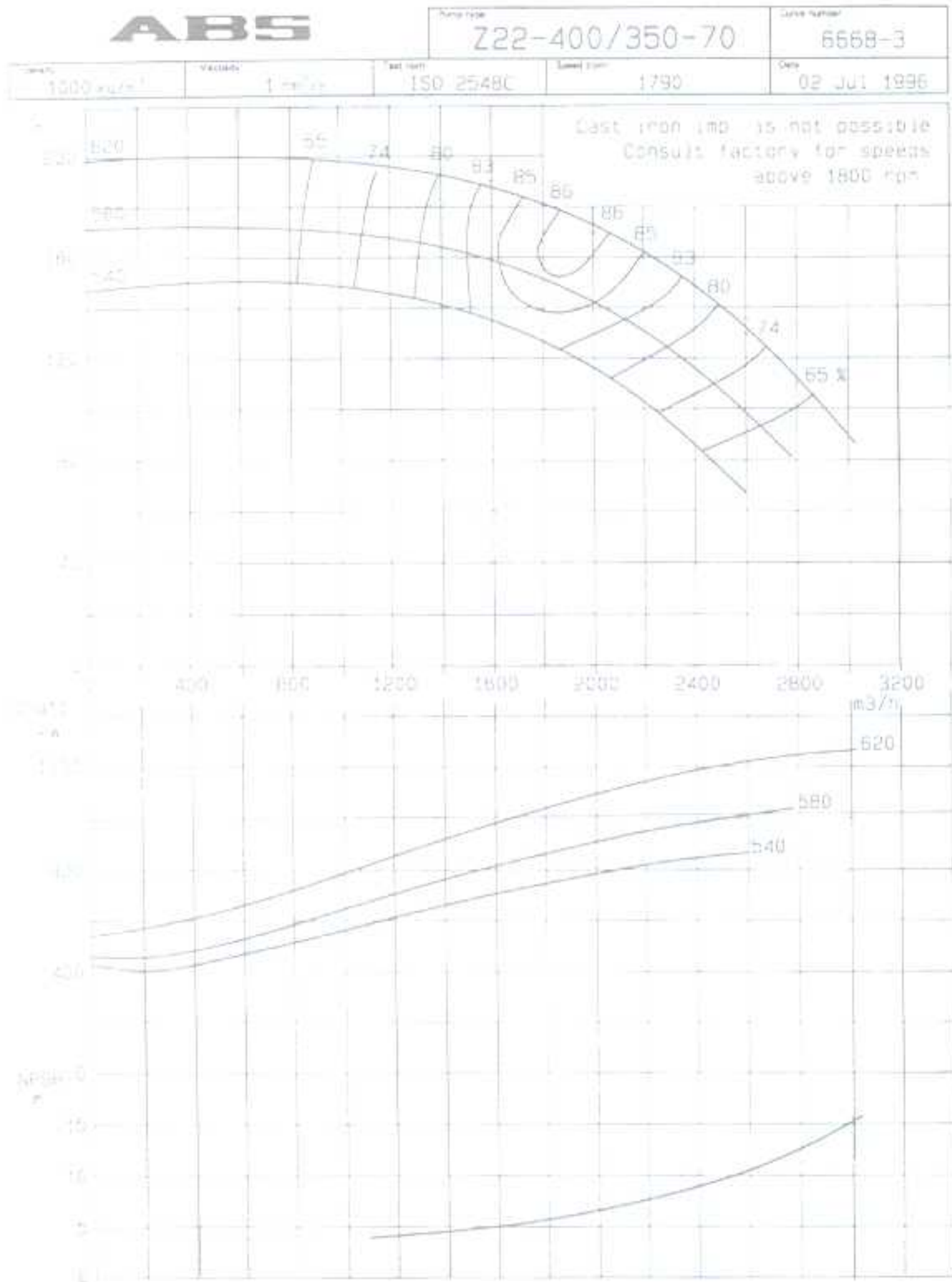


Figura 12 – Bomba ABS 6668-3

Tabela 4 - Diferentes Opções de Recalque

Número de Conjuntos por Adutora em operação	Diâmetro da Adutora (mm)	Carga na Turbina (m.c.a.)	Vazão Recalcada por adutora (m ³ /s)	Vazão Recalcada Total (m ³ /s)	Vazão Turbinada Total (m ³ /s)	Vazão Total Consumida Pelo Sistema (m ³ /s)
Bomba Sulzer SMN 253-640 - Rotor 640 mm – 1598 RPM						
2	600	26	0,67	1,34	17,32	18,66
2	650	26	0,79	1,58	19,24	20,82
1	700	19,5	0,35	0,70	8,6	9,30
1	700	26	0,50	1,00	10,74	11,74
2	700	19,5	0,55	1,10	14,92	16,02
(*) 2	700	26	0,86	1,72	20,16	21,88
2	750	26	0,95	1,90	21,04	22,94
2	800	26	1,00	2,00	21,44	23,44
Bomba ABS Z22-400/350-70 – Curva 6668-3 – Rotor 620 mm – 1790 RPM						
2	600	26	0,83	1,67	26,08	27,75
2	650	26	0,96	1,92	27,20	29,12
2	700	26	1,10	2,20	30,04	32,24
2	750	26	1,20	2,40	30,80	33,2
2	800	26	1,28	2,56	30,84	33,4

(*) Alternativa mais favorável

Continuação da Tabela 4 - Diferentes Opções de Recalque

Número de Conjuntos por Adutora em operação	Diâmetro da Adutora (mm)	Carga na Turbina (m.c.a.)	Vazão Recalcada por adutora (m ³ /s)	Vazão Recalcada Total (m ³ /s)	Vazão Turbinada Total (m ³ /s)	Vazão Total Consumida Pelo Sistema (m ³ /s)
Bomba ABS Z22-400/350-70 – Curva 6667-3 – Rotor 700 mm – 1490 RPM						
2	600	26	0,72	1,44	19,40	20,84
2	650	26	0,85	1,70	22,00	23,70
2	700	26	0,96	1,92	24,00	25,92
2	750	26	1,05	2,10	24,40	26,50
2	800	26	1,12	2,24	25,60	27,84
Bomba KSB RDL 300-620 B – Rotor 590 mm – 1750 RPM						
2	600	26	0,60	1,20	14,28	15,48
2	650	26	0,66	1,32	15,12	16,44
2	700	26	0,74	1,48	15,76	17,24
2	750	26	0,80	1,60	16,72	18,32
2	800	26	0,83	1,66	16,76	18,42
Bomba KSB RDL 400-850 A – Rotor 900 mm – 1160 RPM						
2	600	26	0,72	1,44	19,36	20,80
2	650	26	0,84	1,68	21,52	23,20
2	700	26	0,95	1,90	23,28	25,18
2	750	26	1,05	2,10	24,80	26,90
2	800	26	1,15	2,30	25,88	28,18

Para os resultados apresentados na tabela foram utilizados os seguintes dados:

- Extensão da adutora: 6260 metros
- Desnível geométrico: 109,30 metros

- Carga líquida na turbina: 26 m.c.a.
- Rendimento da turbina: 69%
- Rendimento da Transmissão: 95%
- Rendimento da Bomba: 75%

O rendimento adotado de 75% para as bombas é devido às variações na carga da turbina, que resulta em aumento ou diminuição na rotação da bomba levando esta a operar fora do seu ponto de projeto. Desta forma o rendimento já não é mais o rendimento do ponto de projeto, que no caso das bombas analisadas é de aproximadamente 80%. O rendimento de 75% pode ser considerado aqui como um rendimento médio.

Com base na Tabela 4, a opção adotada foi a (*), ou seja, dois conjuntos por adutora com 700 mm, com vazão recalçada de 0,86 m³/s. O critério para a escolha foi o custo da adutora, a vazão recalçada, a vazão total consumida, e principalmente a possibilidade de montagem por etapas, uma vez que o sistema escolhido consta de duas adutoras e quatro conjuntos de recalque.

A seguir são apresentados dois gráficos do sistema de recalque para uma única adutora (700 mm), tendo dois conjuntos Turbo-Bomba acoplados e uma válvula borboleta na extremidade final da adutora, simulando diferentes aberturas. Os gráficos mostram que devido à grande extensão da adutora esta válvula borboleta na extremidade apresenta baixo controle no sistema hidráulico. Para um maior controle outras válvulas podem ser instaladas, numa segunda etapa. Estes dois gráficos correspondem à opção adotada e a diferença entre eles é a carga atuante na turbina, de 26 metros no gráfico da figura 5 e 19,5 metros no gráfico da figura 10. A redução na carga faz com que seja reduzida a rotação na turbina e consequentemente na bomba, o que resulta na redução da vazão e carga na bomba. A tabela 5 apresenta o ponto de funcionamento do sistema hidráulico adotado (diâmetro da adutora e número de conjuntos Turbo-Bomba) para um ou dois conjuntos operando e também a vazão obtida pelo sistema para uma carga na turbina reduzida de aproximadamente 25%, ou seja, uma carga de 19,5 m.c.a. Os gráficos construídos cujos resultados se encontram na Tabela 4 (Diferentes Opções de Recalque), encontram-se em anexo neste volume.

Tabela 5 - Vazões de Recalque para Diferentes Condições de Operação

Número de conjuntos de recalque	Número de conjuntos por Adutora ($\phi=700$ mm)	Número de conjuntos operando por adutora	Carga na turbina (m.c.a.)	Rotação na Bomba (RPM)	Vazão recalçada por adutora (m^3/s)	Vazão total Turbinada (m^3/s)
4	2	1	26	1590	0,50	10,74
			19,5	1367	0,35	6,43
		2	26	1590	0,86	20,16
			19,5	1367	0,55	11,2

Legenda da Abertura de Válvulas:

Cada linha ascendente dos gráficos das figuras 9 e 10 corresponde a um coeficiente de perda de carga da válvula denominado K_s , que corresponde a uma abertura em graus (a abertura máxima desta válvula é 90 graus) e então pode-se calcular a porcentagem de abertura, sendo assim:

Respectivamente, de baixo para cima:

- $K_s = 0,15$: implica 87 graus de abertura ou 97%
- $K_s = 70$: implica 30 graus de abertura ou 33%
- $K_s = 175$: implica 20 graus de abertura ou 22%
- $K_s = 280$: implica 15 graus de abertura ou 16,6%

Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação

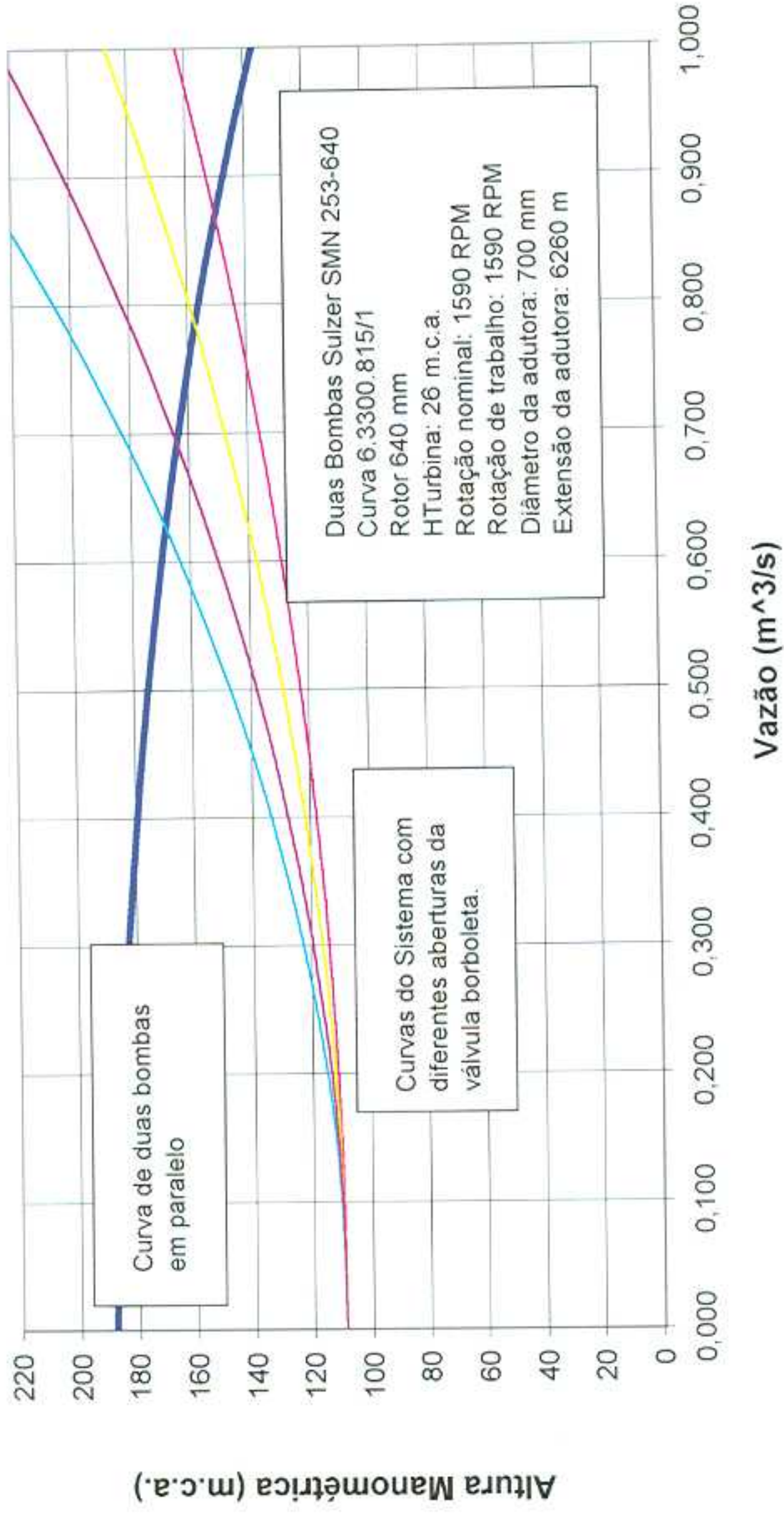


Figura 13 - Pontos de operação para carga na turbina de 26,0 m.c.a.

Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação

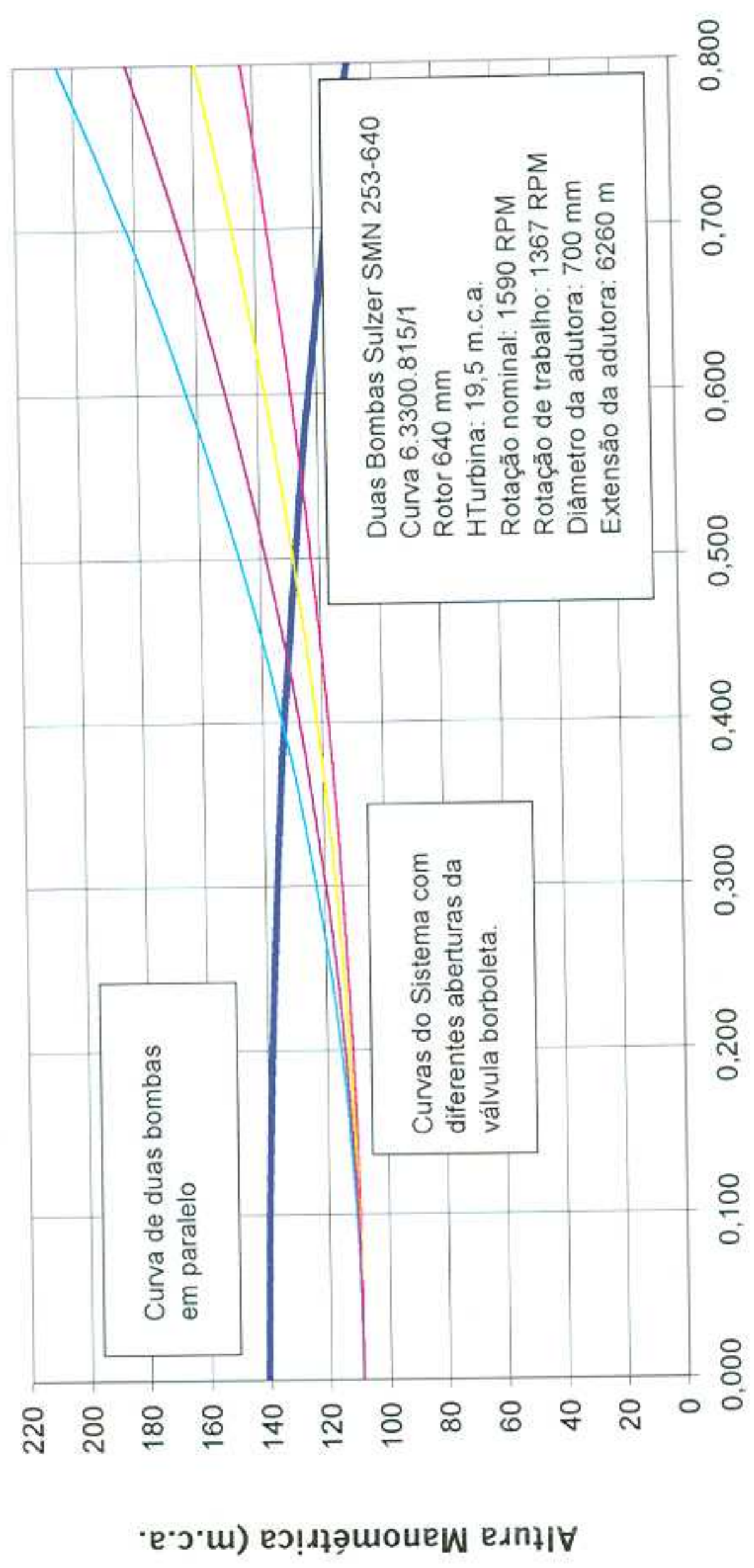


Figura 14 - Pontos de operação para carga na turbina de 19,5 m.c.a.

2.4. Especificação do Sistema Hidráulico Açude-Barrilete

O sistema hidráulico alimentador de bombas e turbinas será constituído por meio de uma tubulação proveniente da tomada d'água do açude Orós, sendo capaz de abastecer por gravidade tanto o sistema hidráulico das turbinas (adução), como o das bombas (sucção). A tubulação proveniente da galeria é única, e chegará à casa de máquinas (estação elevatória) permitindo uma derivação destinada ao barrilete de sucção das bombas. Na extremidade desta tubulação deverá ser implantada a válvula dispersora hoje instalada no final da galeria do açude. Os dois barriletes de saída serão os de recalque para as duas adutoras. A água turbinada deverá deixar a casa de máquinas através de um canal de fuga construído sob o piso da casa de máquinas.

Portanto, neste item será feito o dimensionamento do sistema hidráulico Açude-Barrilete verificando se as vazões (e cargas) obtidas através do escoamento gravitário atendem às vazões e cargas necessárias para o acionamento das turbinas. A figura 11 apresenta um esquema (sem escala) do sistema hidráulico proposto.

A galeria existente no açude Orós termina com o diâmetro de 1,5 metros no flange que faz a conexão com a válvula dispersora cônica. A válvula dispersora será removida iniciando-se no mesmo local o sistema hidráulico Açude-Barrilete. Considerando o sistema açude-barrilete como sendo um penstock, este não deve apresentar perdas superiores a 1% neste trecho. Porém admitiu-se perdas de até 3%, que poderão ocorrer quando a válvula dispersora e turbinas estiverem operando com máxima capacidade. A razão principal para se admitir perdas de até 3% é a redução de custos da tubulação entre açude e barrilete, além de evitar-se obras para alteração nas instalações já existentes.

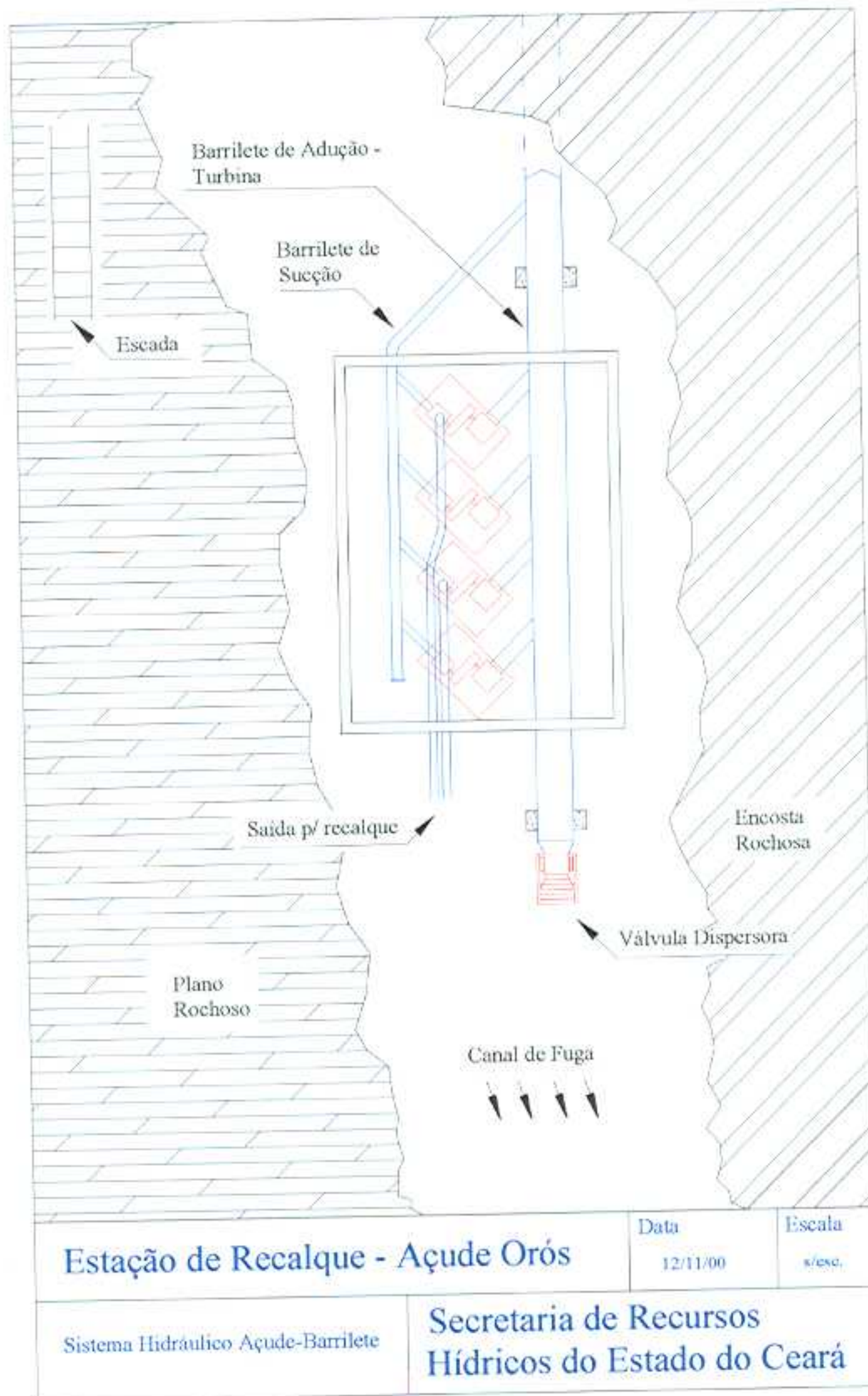


Figura 15 – Desenho esquemático do sistema hidráulico de recalque

A verificação da vazão obtida por gravidade foi feita da seguinte forma:

2.4.1. Dados

a - Vazões (projeto)

- $Q_{\text{Turbinada}} = 20,16 \text{ m}^3/\text{s}$ (vazão máxima correspondente a quatro turbinas operando)
- $Q_{\text{Bombeada}} = 1,72 \text{ m}^3/\text{s}$ (vazão máxima correspondente a quatro bombas operando)
- $Q_{\text{Total}} = Q_{\text{Turbinada}} + Q_{\text{Bombeada}} = 21,88 \text{ m}^3/\text{s}$ (vazão total do sistema)

b - Extensão da Tubulação

- Subterrânea: 240 metros
- Aérea: 10 metros

c - Diâmetro da Tubulação ou Galeria

- Subterrânea: 5,35 metros
- Aérea: 1,50 metros

2.4.2. Formulário

a - Perda de Carga

Para o cálculo da perda de carga foram utilizadas:

- Fórmula Universal de Darcy-Weisbach

$$\Delta H = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

Sendo:

ΔH = perda de carga (m.c.a.)

f = fator de atrito

L = comprimento da tubulação (m)

D = diâmetro interno do tubo (m)

V = velocidade média do escoamento (m/s)

g = aceleração da gravidade (m/s^2)

- Formulação Explícita de Swamee e Jain para o cálculo do fator de atrito:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{5,74}{\text{Re} y^{0,9}} + \frac{e}{3,7D} \right) \right]^2}$$

Válida para o intervalo:

$$5 \times 10^5 \leq \text{Re} y \leq 10^8$$

$$10^{-6} \leq \frac{e}{D} \leq 10^{-2}$$

Onde:

f = fator de atrito (adimensional)

e = rugosidade absoluta do tubo (m)

D = diâmetro da tubulação (m)

Re = número de Reynolds

Sendo que o número de Reynolds é dado por:

$$\text{Re} = \frac{VD}{\mu}$$

Para:

V = velocidade média do escoamento (m/s)

D = diâmetro interno da tubulação (m)

μ = viscosidade cinemática (m²/s)

Os valores adotados para a rugosidade absoluta do tubo (e) e viscosidade cinemática foram de:

$e = 0,00025$ m (tubo de aço com leve enferrujamento)

$\mu = 0,000000876$ (para temperatura de 26°)

- Equação e Gráfico da Perda de Carga para o Sistema Gravitário Açude-Barrilete

Para o sistema constituído desprezando as perdas de carga localizadas tem-se:

$$\Delta H = f_1 \frac{240}{5,35} \times \frac{V_1^2}{2 \times 9,81} + f_2 \frac{10}{1,5} \times \frac{V_2^2}{2 \times 9,81}$$

Que origina o seguinte gráfico:

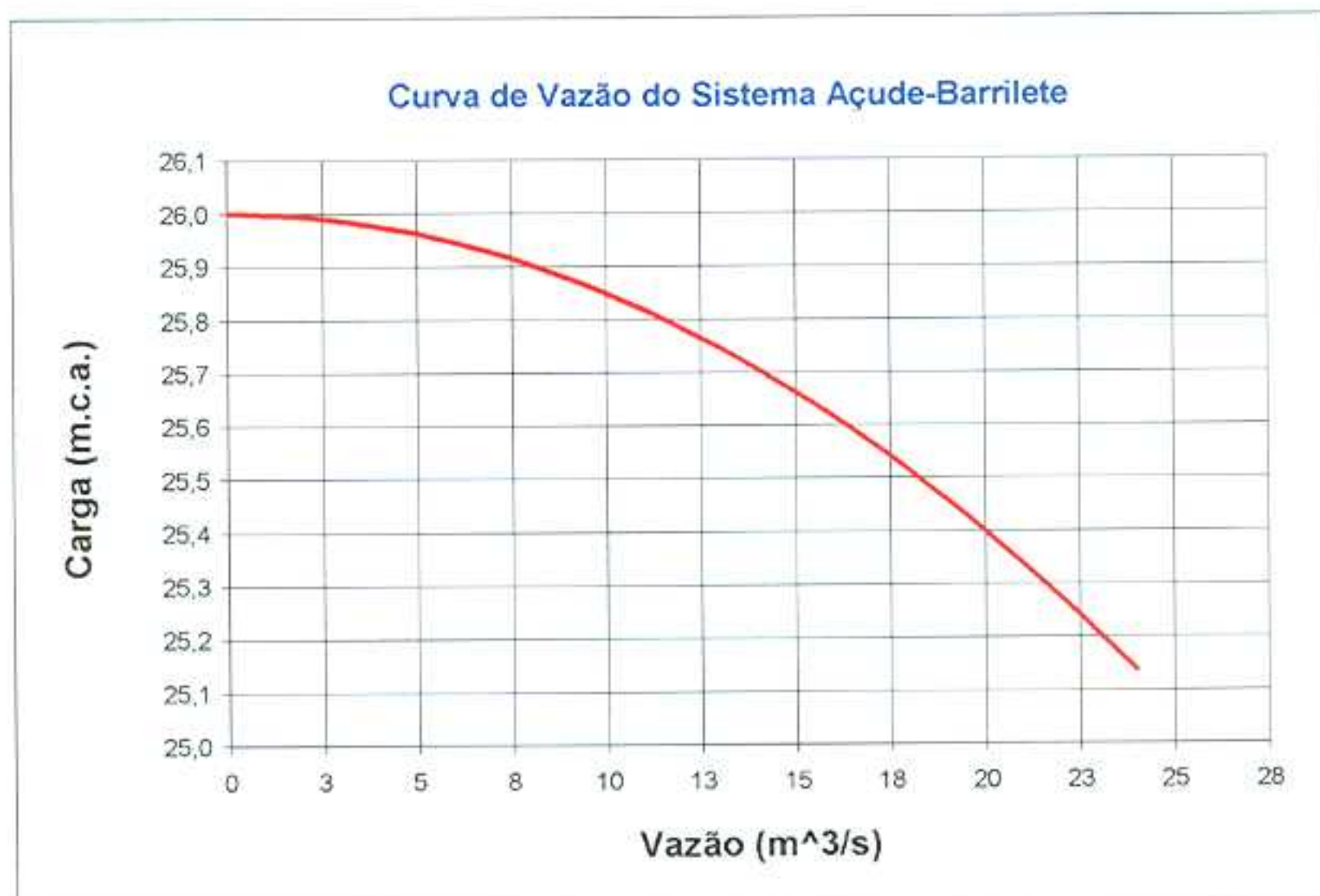


Figura 16 – Carga na entrada do barrilete de adução em função da vazão

De acordo com o gráfico, para a vazão de 21,88 m³/s (vazão total consumida pelo sistema) a perda de carga fica dentro do previsto, ou seja menor que 3%, pois para esta vazão a perda é de 0,7 m.c.a. (2,69%). A carga líquida utilizada no dimensionamento do conjunto Turbo-Bomba foi de 26 m.c.a. Deve-se observar que esta carga (como vista anteriormente) é limite tomado como mínimo dentro dos níveis registrados no açude, ou seja 75% dos registros resultaram em cargas iguais ou superiores a 26 metros.

2.5. Especificação dos Barriletes de Adução e Recalque

Nos itens seguintes são apresentadas as metodologias para o dimensionamento hidráulico e mecânico dos barriletes de adução das turbinas, de sucção e recalque das bombas.

O desenho com o sistema composto pelos barriletes de adução e derivações para as turbinas, de sucção e suas derivações para as bombas em 45° e os de recalque, podem ser vistos no Tomo II – Desenhos – Volume 1.

2.5.1. Barrilete de Adução das Turbinas

O critério para o dimensionamento hidráulico do barrilete alimentador das turbinas é o da velocidade, devendo a mesma ficar em no máximo 4 m/s, sendo que o ideal é entre 1,8 e 2,2 m/s, considerada como ótimo pelos fabricantes de turbinas. Estes limites de velocidade se baseiam em uma adaptação da forma de Bresse e tem como princípio a utilização do coeficiente K bem próximo a 0,8, uma vez que os parâmetros passíveis de utilização variam de 0,7 a 1,13.

Desta forma, o diâmetro do barrilete teve início com $\varnothing = 1500$ mm e não sofreu uma única redução devido a elevada velocidade do escoamento; como as derivações não devem ter velocidades aproximando-se de 4m/s, estas derivações (saída para as turbinas em 45°) continuaram com o diâmetro de 1500 mm, cuja finalidade foi manter a velocidade em aproximadamente 2,85 m/s. Os diâmetros das derivações devem ser todos de:

$$D = \left(\frac{4 \times Q}{\pi \times V} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Onde:

Q = vazão (m³/s)

V = velocidade média do escoamento (m/s)

D = diâmetro (m)

Assim:

$$D = \left(\frac{4 \times \frac{20,16}{4}}{\pi \times 2,85} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D = 1500mm$$

Portanto as quatro derivações do barrilete em direção à turbina deverão ter o diâmetro de 1500 mm. Após as derivações o barrilete não sofrerá nenhuma redução mantendo-se o diâmetro de 1500 mm. Após as quatro derivações (vazões para duas turbinas), o barrilete ao seu final deverá ter um flange cego permitindo desta forma a possibilidade de instalação da válvula dispersora.

O controle de vazão e conseqüentemente da velocidade será feito através de dispositivos hidráulicos (válvulas) instaladas n-s derivações, entre o barrilete e turbina. A seguir é apresentada a Tabela 6 - Resumo das Características Hidráulicas do Barrilete de Adução e Derivações, com seus respectivos diâmetros, vazões, áreas das seções e velocidades.

O desenho relativo ao sistema hidráulico Açude-Barrilete, barrilete de adução e derivações, em escala, podem ser vistos no Tomo II - Desenhos, Volume 1.

Tabela 6 - Características Hidráulicas do Barrilete de Adução e Derivações

	Seções no Barrilete				Derivações do Barrilete			
	*S _{B1}	S _{B2}	S _{B3}	S _{B4}	*S _{D1}	S _{D2}	S _{D3}	S _{D4}
Vazão (m ³ /s)	20,16	15,12	10,08	5,04	5,04			
Diâmetro (mm)	1500	1500	1500	1500	1500			
Velocidade (m/s)	11,41	8,55	5,70	2,85	2,85			
Área das seções (m ²)	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77			

*S_B e *S_D são respectivamente as seções dos barriletes e das derivações.

2.5.2. Barrilete de Sucção das Bombas

O critério para o dimensionamento hidráulico do barrilete de sucção também é o critério de velocidade. Desta forma, a tubulação do barrilete deve ter um diâmetro tal que a velocidade no seu interior não ultrapasse 2 m/s, no caso de água fria (Azevedo Netto & G. A. Alvarez, Manual de Hidráulica, 1991). Quanto à altura de sucção, não haverá problemas posto que as bombas trabalharão manometricamente afogadas.

O barrilete foi dimensionado admitindo-se uma velocidade de 0,97 m/s para a vazão de projeto de 1,72 m³/s (vazão de recalque dos quatro conjuntos de recalque).

O barrilete de sucção será o mesmo para as quatro bombas de onde partem as derivações para cada bomba. A partir destes valores (velocidade e vazão) chega-se facilmente ao diâmetro necessário da tubulação. À medida que ocorre a redução da vazão devido à sucção da primeira para a segunda bomba, o diâmetro é reduzido de forma a manter a mesma velocidade dentro de limites aceitáveis, de forma que o líquido tenha a mesma velocidade no flange de entrada das duas bombas.

Para a velocidade de escoamento de 0,97 m/s, o diâmetro no início do barrilete (na derivação do sistema hidráulico Açude-Barrilete) será de:

$$D = \left(\frac{4 \times Q}{\pi \times V} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Onde:

Q = vazão (m³/s)

V = velocidade média do escoamento (m/s)

D = diâmetro (m)

Assim:

$$D = \left(\frac{4 \times 1,72}{\pi \times 0,97} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D = 1500m$$

A vazão de projeto na sucção neste item para cada bomba é de $0,43 \text{ m}^3/\text{s}$. Considerando agora a vazão de $1,29 \text{ m}^3/\text{s}$ e a velocidade em $0,97 \text{ m/s}$ para a segunda seção, o diâmetro será de:

$$D = \left(\frac{4 \times 1,29}{\pi \times 0,97} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D = 1300 \text{ mm}$$

Para a terceira seção, vazão de $0,86 \text{ m}^3/\text{s}$, velocidade de $0,97 \text{ m/s}$, resulta em um diâmetro de:

$$D = \left(\frac{4 \times 0,86}{\pi \times 0,97} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D = 1062 \text{ mm}$$

Para a quarta e última seção, que equivalente também as derivações, para a vazão de $0,43 \text{ m}^3/\text{s}$ e velocidade de $0,97 \text{ m/s}$, o diâmetro resultante é de:

$$D = \left(\frac{4 \times 0,43}{\pi \times 0,97} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D = 750 \text{ mm}$$

Desta forma as quatro derivações do barrilete terão também 700 mm de diâmetro com velocidade de $0,97 \text{ m/s}$. As derivações deverão sair do barrilete em 45° . A seguir é apresentada a Tabela 7 - Resumo das Características Hidráulicas do Barrilete de Sucção e Derivações, com seus respectivos diâmetros, vazões, áreas das seções e velocidades.

Tabela 7 - Características Hidráulicas do Barrilete de Sucção e Derivações

	Seções no Barrilete				Derivações do Barrilete			
	*S _{B1}	S _{B2}	S _{B3}	S _{B4}	*S _{D1}	S _{D2}	S _{D3}	S _{D4}
Vazão (m ³ /s)	1,72	1,29	0,86	0,43	0,43			
Diâmetro (mm)	1500	1300	1062	750	750			
Velocidade (m/s)	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97			
Área das seções (m ²)	1,77	1,33	0,88	0,44	0,44			

*S_B e *S_D são respectivamente as seções dos barriletes e das derivações.

Os desenhos relativos ao sistema hidráulico Açude-Barrilete, barrilete e derivações podem ser vistos no Tomo II - Desenhos, Volume 1.

2.5.3. Barriletes de Recalque

O dimensionamento hidráulico, como nos itens anteriores, também foi baseado no critério de velocidade. À medida que são acrescentadas as vazões oriundas das duas bombas ao barrilete, o diâmetro vai sendo aumentado de forma a manter a mesma velocidade que deve ser menor que a velocidade da tubulação de recalque (adutora).

Normalmente a velocidade no barrilete de recalque é menor que 3 m/s (Macintyre, A. J., Bombas e Instalações de Bombeamento, 1997).

A velocidade de projeto da adutora para a vazão de $0,86 \text{ m}^3/\text{s}$ (vazão de projeto por adutora) é de aproximadamente $2,23 \text{ m/s}$, portanto a velocidade no barrilete não deverá exceder este valor. A vazão na saída de cada bomba é da ordem de $0,43 \text{ m}^3/\text{s}$.

Fixando a velocidade de recalque no barrilete em $1,5 \text{ m/s}$, valor usual em instalações de recalque, o diâmetro na saída das bombas deverá ser de:

$$D = 600\text{mm}$$

Já no barrilete propriamente dito, à partir da segunda bomba, o diâmetro deverá ser de:

$$D = 850\text{mm}$$

Com o qual seguirá a tubulação até o encontro do início da adutora.

A seguir é apresentada a Tabela 8 - Resumo das Características Hidráulicas do Barrilete de Recalque e Derivações, com seus respectivos diâmetros, vazões, áreas das seções e velocidades.

Tabela 8 - Características Hidráulicas do Barrilete de Recalque e Derivações

	Seções no Barrilete		Derivações do Barrilete	
	*S _{B1}	S _{B2}	*S _{D1}	S _{D2}
Vazão (m ³ /s)	0,86	0,43	0,43	
Diâmetro (mm)	850	600	600	
Velocidade (m/s)	1,5	1,5	1,5	
Área das seções (m ²)	0,567	0,283	0,283	

*S_B e *S_D são respectivamente as seções dos barriletes e das derivações.

A formulação utilizada no cálculo é a mesma dos itens anteriores.

2.5.4. Espessura da Parede das Tubulações

A espessura da parede da tubulação (dimensionamento mecânico), do Sistema Hidráulico Açude-Barrilete e dos barriletes de adução da turbina e sucção das bombas teriam, a princípio, espessuras diferentes. Porém, por estarem submetidas a pressões e sobrepressões baixas muito próximas, (no caso do sistema hidráulico Açude-Barrilete e barrilete de adução e sucção das bombas), o dimensionamento resultou na espessura mínima estrutural. A espessura mínima estrutural é a espessura mínima que deve ter a tubulação para resistir ao transporte, corrosão, flecha mínima, esforços sobre os apoios e resistir ao próprio peso.

No caso do barrilete de recalque, as pressões atuantes são em função das pressões originadas pelas bombas somadas aos transitórios ocorridos em funções de manobras inerentes ao sistema e ou acidentes. Isto posto, o valor de projeto calculado resultou em um valor menor que a espessura mínima.

A espessura mínima estrutural é a que deve ter a tubulação para resistir ao transporte, corrosão, flecha mínima, esforços sobre os apoios e resistir ao próprio peso. Este item foi desenvolvido com base na literatura encontrada sobre o assunto, constituída pelo "**Curso de Tubulações Hidráulicas**" – Departamento de Engenharia Hidráulica da **UFMG**, 1972, o qual é baseado nas normas:

- **American Water Works Association (AWWA)**

Norma H-1 (ANSI A-21.1) – Computation of Strength and Thickness of Cast Iron Pipe.

Norma M-11 – Steel Pipes

- **American National Standard Institute** – American Standard Code for Pressure Piping – (ANSI B.31)

- **Normas da ABNT**

P-NB-126, EB-5, EB-6, EB-43, EB-103, EB-109, EB-137.

Também sobre o assunto, consta o livro **"Tubulações Industriais"**, cujo autor é **Telles, P.C.S.**, EPUSP, 1976, 4ª Edição, o qual tem por base normas da **ANSI (American National Standard Institute)**. Doravante, ao se citar a referência bibliográfica, subentende-se as normas utilizadas nos cálculos.

A determinação da espessura da parede foi feita considerando um tubo de parede fina de espessura (e) e diâmetro (D). Usualmente é considerado tubo de parede fina se $D \gg 40 \times e$. $D \gg 40 \times e$.

O dimensionamento da espessura foi feito com base no Aço ASTM A283D que apresenta as seguintes características (Curso de Tubulações Hidráulicas, UFMG, 1972):

- Limite de escoamento: 2240 kg/cm²
- Tensão admissível (50% do limite de escoamento): 1120 kg/cm²

Para o caso de tubos não enterrados, o dimensionamento é feito em função da pressão interna (Curso de Tubulações Hidráulicas, UFMG, 1972; Telles, 1976), onde:

$$\sigma_{Adm} = \frac{P \times D}{2 \times t}$$

Onde:

P = pressão interna (m.c.a.)

D = diâmetro (m)

t = espessura do tubo (m)

A espessura do tubo pode ser determinada então por:

$$t \geq \frac{P \times D}{2 \times \sigma_{Adm}}$$

Com o valor da espessura calculada, verifica-se o valor da pressão de colapso. Deve ser analisado se a pressão de colapso é superior à pressão externa de projeto caso o tubo possa estar sujeito a vácuo. A pressão de colapso é dada pela seguinte fórmula (Curso de Tubulações Hidráulicas, UFMG, 1972):

$$P_c = 35280000 \left(\frac{t}{D} \right)^3$$

Onde:

t = espessura do tubo (m)

D = diâmetro do tubo em (m)

P_c = pressão de colapso (m.c.a.)

O espaçamento máximo entre apoios foi definido a partir da equação para a verificação da flecha máxima e da tensão máxima atuante na parede do tubo, onde a primeira (flecha máxima, segundo o Curso de Tubulações Hidráulicas, UFMG, 1976) é dada por:

$$f = 0,0015(qt + ql) \frac{L^4}{I_0}$$

Onde:

qt = peso próprio do tubo (kg/m)

ql = peso do líquido contido (kg/m)

L = vão entre suportes (m)

I_0 = momento de inércia da seção transversal (cm⁴)

Reescrevendo a equação:

$$L = \left(\frac{f \times I_0}{0,0015 \times (qt + ql)} \right)^{\frac{1}{4}}$$

A tensão máxima atuante na parede do tubo devido aos momentos fletores relativos às cargas, como peso próprio, peso do líquido contido no interior e sobrecargas externas que podem estar atuando sobre o tubo, dependerá do sistema de apoios e do tipo de carregamento. Neste caso o cálculo será feito como viga contínua, simplesmente apoiada em vários suportes sucessivos, igualmente espaçados. Para esta configuração, a maior tensão devida aos momentos fletores que ocorrerá na seção transversal de cada apoio é dada por (Curso de Tubulações Hidráulicas, UFMG, 1972):

$$S_v = \frac{10 \times L^2}{Z} (qt + ql)$$

Onde:

S_v = tensão máxima na parede do tubo (kg/cm²)

L = vão entre suportes (m)

Z = momento resistente da seção transversal (cm³)

qt = peso próprio do tubo (kg/m)

ql = peso do líquido contido (kg/m)

Partindo desta equação e reescrevendo-a em outra forma pode-se verificar o espaçamento máximo entre apoios a partir da tensão máxima atuante nas paredes dos tubos:

$$L = \left(\frac{S_v \times Z}{10(qt + ql)} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Foi considerada ainda a tensão concentrada que se verifica na região dos suportes. Para tubos de aço com paredes flexíveis, a tensão localizada é dada por (Curso de Tubulações Hidráulicas, UFMG, 1972):

$$S_r = f \frac{R}{t^2} \log \frac{D}{2 \times t}$$

Sendo:

S_r = tensão concentrada máxima (lbs/pol²)

f = coeficiente cujo valor é dado por:

$$f = 0,02 - 0,00012(A - 90)$$

A = ângulo de apoio (graus)

R = reação dos pesos no suporte (lbs)

D = diâmetro do tubo (pol)

t = espessura do tubo (pol)

Para o dimensionamento da espessura da tubulação devemos determinar a pressão de projeto, que é diferente da pressão de trabalho da tubulação. Pressão de projeto neste item será a pressão de trabalho acrescida da sobrepressão e subpressão decorrente do transitório gerado por alguma manobra.

Com uma avaliação simplificada e conservadora, o transiente hidráulico foi determinado a partir da equação de MICHAUD, dada por:

$$\Delta H = \pm \frac{2 \times L \times \Delta V}{g \times t}$$

Onde:

ΔH = variação da pressão máxima em torno da pressão estática normal (m.c.a.)

L = comprimento da tubulação (m)

ΔV = variação da velocidade antes e depois do golpe (m/s)

g = aceleração da gravidade (m/s^2)

t = tempo de fechamento eficaz (s)

A equação de MICHAUD leva em consideração uma variação linear da velocidade de escoamento em função do tempo (como o fechamento de uma válvula), portanto o tempo de fechamento deve estar de acordo com a equação abaixo, caracterizando uma manobra lenta.

$$t \geq \frac{2 \times L}{a}$$

Onde:

t = tempo de fechamento eficaz (s)

L = comprimento da tubulação (m)

a = velocidade de propagação (m/s)

A equação para a velocidade de propagação da onda é dada por:

$$c = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + k \frac{D}{e}}}$$

Onde:

c = velocidade de propagação (m/s)

k = coeficiente que leva em consideração o módulo de elasticidade = 0,5 para tubos de

aço.

D = Diâmetro do tubo (m)

e = espessura do tubo (m)

Com o valor da sobrepressão e subpressão somado à carga estática determina-se a pressão de projeto.

A espessura calculada não é a espessura utilizada. A espessura calculada é o valor mínimo que a tubulação deve ter para que os tubos resistam aos esforços mecânicos.

Em virtude dos processos de fabricação não terem um controle de qualidade ideal, tubos de aço fabricados a partir de chapas, devem ser acrescidos na espessura em 0,25 mm (Curso de Tubulações Hidráulicas, UFMG, 1972).

Para locais onde o fluido ou o ambiente é agressivo, propiciando a corrosão do material do tubo, deve-se adotar uma sobre-espessura para evitar-se a corrosão na parede do tubo. Para o caso de águas neutras, a espessura deve ser aumentada em 1,5 mm (Curso de Tubulações Hidráulicas, UFMG, 1972); segundo Telles, (Tubulações Industriais, 1976), a sobre-espessura para escoamento com água agressiva deve ser de 3 a 4 mm.

Mesmo em tubulações com baixa pressão interna e esforços externos reduzidos, o tubo deve ter uma espessura mínima para não se deformar pelo próprio peso e para possibilitar o manuseio. Para tubos aéreos, estes devem ter uma espessura mínima estrutural que os permita vencer os vãos entre suportes. De acordo com o "Curso de Tubulações Hidráulicas",

UFMG, 1972, a espessura mínima dos tubos de aço é de 1% do diâmetro, com o mínimo de 4 mm. Já segundo Telles, (Tubulações Industriais, 1976), por motivos de resistência estrutural (para evitar a necessidade de vãos muito pequenos entre os suportes) e também resistência à corrosão, adota-se geralmente, para tubos de aço, a seguinte espessura mínima, independente do valor que tenha a pressão: 9 mm para diâmetros nominais maiores que 14”.

- Espessura da Tubulação do Sistema Hidráulico Açude-Barrilete e Barriletes (Adução turbina e Sucção bombas)

Para a especificação da espessura da tubulação no sistema hidráulico Açude-Barrilete foi necessário determinar-se a carga de projeto no sistema, que neste caso, não é considerada a carga de 26 m.c.a., mas sim a carga máxima em decorrência das variações do nível do reservatório. Portanto a carga de projeto neste item foi de 35,83 m.c.a., valor obtido quando o reservatório atinge a cota de 200,83 metros somada ao incremento de carga devido a algum transitório gerado por operações inerentes a instalação, ou ainda por falhas humanas e ou de equipamentos.

A partir desta pressão de projeto, com base na tensão admissível do aço, e coeficientes de segurança, determina-se a espessura da tubulação do Sistema Hidráulico Açude-Barrilete, onde foram verificadas as resistências a pressão interna e externa.

O transitório foi calculado a partir da equação de MICHAUD, onde para o fechamento lento da válvula (15 segundos) tem-se uma sobre carga de 3,77 m.c.a.. Portanto a carga de projeto neste item será de 39,6 m.c.a., resultante da soma da carga que é função do nível do reservatório mais a sobrecarga devido ao transitório. Os resultados obtidos da espessura de cálculo tanto para adução das turbinas (caso mais crítico) quanto para sucção das bombas foram inferiores a espessura mínima de cálculo. A espessura de projeto, no caso da calculada ser menor que a mínima, foi tomada como sendo a menos crítica entre as mínimas presentes na literatura encontrada, ou seja, 9 mm para diâmetros maiores que 14” (Tubulações Industriais, Telles, 1976) e 1% do diâmetro como espessura mínima (Curso de Tubulações Hidráulicas”, UFMG, 1972).

- Diâmetro utilizado no cálculo (adução turbinas): 1500 mm
- Diâmetro utilizado no cálculo (sucção bombas): 1500, 1300, 1062 e 750 mm
- Espessura calculada (adução turbinas): $e = 2,67$ mm

- **Espessura de projeto (adução turbina): $e > (15+3) = 18$ mm**
- Espessura calculada mais crítica (sucção bomba): $e = 2,67$ mm

- **Espessura de projeto (sucção bomba): $e > 18$ mm**
- Espaçamento máximo entre apoios (adução turbina): 4 m
- Espaçamento máximo entre apoios (sucção bomba): 3 m
- Flecha máxima admitida: 0,0025 m

Obs: Os valores da espessura de projeto foram compostos com base na espessura mínima (1% do diâmetro, e se em meios agressivos, sobre espessa de 3 mm) ou o valor mínimo de 9 mm para meios agressivos. Devido a grande diferença entre o valor de cálculo e o de projeto, desprezou-se as imperfeições na fabricação que é de 0,25 mm.

- **Espessura da Tubulação do Barrilete de Recalque**

A carga de projeto para este sistema foi considerada como sendo a carga do ponto de operação (da ordem de 150 m.c.a.), acrescida por uma carga devida a um transitório decorrente de alguma manobra ou falha no sistema.

O tempo de fechamento para a válvula foi considerado como sendo de 30 segundos para o cálculo do transitório à partir da equação de MICHAUD e também através do método das características, que resulta em uma sobre carga de 95 m.c.a., dando origem a uma carga de projeto de 245 m.c.a.

A partir desta pressão de projeto, com base na tensão admissível do aço, e coeficientes de segurança, determina-se a espessura da tubulação do Sistema Hidráulico de recalque, que tem origem na saída das bombas até o encontro com a adutora. O barrilete de recalque neste caso terá dois diâmetros internos, um de 850 mm que é o trecho do barrilete propriamente dito até a adutora (700 mm de diâmetro), e o primeiro trecho que correspondente às derivações e o trecho anterior a contribuição da segunda bomba (600



mm). Os coletores das duas bombas que fazem a ligação entre as mesmas e o barrilete possuem diâmetro interno de 600 mm, assim como o início do barrilete até o coletor da Segunda bomba, onde o barrilete toma o diâmetro de 850 mm. Os resultados obtidos foram:

- Diâmetro utilizado no cálculo (recalque bombas): 850 e 600 mm
- Espessura calculada (recalque bombas): 9,29 e 6,6 mm (menor que o mínimo de 1% do diâmetro e que 9 mm, critérios presentes nas referências citadas anteriormente)
-
- **Espessura de projeto (recalque bombas): $e > 13$ mm** (mínimo para meios agressivos, local não agressivo adotar 9,5 mm)
- Espaçamento máximo entre apoios (recalque bombas): 3 m
- Flecha máxima admitida: 0,0025 m



3. ADUTORA

3. ADUTORA

As principais características das adutoras encontram-se no Tomo II, Volume III – Perfil e Caminhamento - Adutoras, inclusive o número e posicionamento de ventosas, registros e acessórios de segurança, de acordo com as normas e recomendações da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

3.1. Escolha do Traçado do Sistema Adutor

A escolha do traçado do sistema adutor foi feita baseada em comparações de trajetos levantados por cartas da SUDENE e através de levantamentos e visitas a campo.

Não foi necessário estudar várias alternativas devido ao fato de já se existir uma estrada construída no melhor trajeto entre os pontos inicial e final da adutora. Em relação ao canal, este tem de ser construído na encosta da serra e acompanhando a curva de nível mais apropriada, que se localiza aproximadamente em paralelo ao eixo da estrada.

3.2. Cálculo das Perdas de Carga

As perdas de carga por atrito ao longo da tubulação foram calculadas utilizando-se a fórmula universal de Darcy-Weisbach. O fator de atrito foi determinado através das formulações explícitas de Swamee e Jain. A seguir são apresentadas as duas formulações com os respectivos significados de suas variáveis.

Fórmula Universal de Darcy-Weisbach:

$$\Delta H = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

Onde:

ΔH = Perda de carga (m)

f = fator de atrito

L = Comprimento da tubulação (m)

D = Diâmetro do tubo (m)

V = Velocidade média do escoamento (m/s)

g = aceleração da gravidade (m/s²)

Formulação Explícita de Swamee e Jain:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{5,74}{\text{Re} y^{0,9}} + \frac{e}{3,7D} \right) \right]^2}$$

Válida para o intervalo:

$$5 \times 10^4 \leq \text{Re} y \leq 10^5$$

$$10^{-6} \leq \frac{e}{D} \leq 10^{-2}$$

Onde:

f = Fator de atrito (adimensional)

e = Rugosidade do tubo

D = Diâmetro da tubulação

Re = Número de Reynolds

Sendo que o número de Reynolds é dado por:

$$\text{Re} y = \frac{VD}{\mu}$$

Onde:

V = Velocidade do escoamento (m/s)

D = Diâmetro da tubulação

μ = Viscosidade cinemática

3.3. Escolha do Diâmetro e Número de Adutoras

O diâmetro da tubulação foi determinado conforme exposto anteriormente. O diâmetro adotado foi de 700 mm, com o sistema constituído de duas adutoras, determinado em função da vazão a ser recalçada, que por sua vez é função da vazão regularizada e carga disponível para as turbinas, além do custo da tubulação e condições de operação do menor número de conjuntos possíveis. A princípio foi considerada a velocidade de escoamento em torno de 2,0 m/s para a linha de recalque, uma velocidade econômica no sentido de economia de energia hidráulica. Fórmulas como a de Bresse, não são aplicáveis neste caso, pois não são considerados o custo de energia elétrica para se efetuar o recalque. Deve-se lembrar que foi adotada a solução de duas adutoras e dois conjuntos de recalque por adutora em função da vazão disponível para se efetuar o recalque e o custo da tubulação entre outros.

3.4. Espessura da Chapa da Adutora

Como no item “Espessura da Tubulação do Barrilete de Recalque”, a carga de projeto para este sistema foi considerada como sendo a carga do ponto de operação (da ordem de 150 m.c.a.), acrescida por uma carga devida a um transitório decorrente de alguma manobra ou falha no sistema. O tempo de fechamento efetivo da válvula considerado foi de 30 segundos para o cálculo do transitório à partir da equação de MICHAUD que resulta em uma sobrecarga de 95 m.c.a., dando origem a uma carga de projeto de 245 m.c.a.

A partir desta pressão de projeto, com base no aço ASTM A283D com tensão máxima admissível de 2240 kg/cm² e coeficiente de segurança igual a 2 (valor utilizado em sistemas hidráulicos considerando condições normais de operação do sistema, não sujeito a eventos catastróficos), determina-se a espessura da adutora, que tem origem na extremidade do barrilete de recalque. Os resultados obtidos foram:

- Diâmetro utilizado no cálculo: 700 mm
- Espessura calculada: 7,65 mm (maior que 1% do diâmetro)

- **Espessura de projeto: $e > 11,4 \text{ mm}$** (valor mínimo para meios agressivos, para meios não agressivos adotar 8 mm)
- Espaçamento máximo entre vãos de apoio adotado: 3,5 m.

Portanto a espessura que atende aos requisitos de transporte, armazenagem, resistência a corrosão etc., é a de 11,4 mm, ou superior, a qual deverá ser utilizada na adutora ao menos no seu trecho inicial, até a estaca 75 do levantamento topográfico. A partir daí pode-se optar pela utilização de espessura de 8 mm, já que as pressões de serviço são bem menores e o ambiente torna-se menos agressivo.

Com o intuito de apresentar o procedimento dos cálculos realizados no dimensionamento mecânico dos barriletes, segue abaixo o cálculo explícito para o caso da adutora:

a) Cálculo da variação de pressão (transitório)

Utilizando Michaud:

$$\Delta H = \pm \frac{2 \times 6260 \text{ m} \times 2,235 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 30 \text{ s}} = \pm 95 \text{ m.c.a.}$$

Logo, a pressão de projeto para o dimensionamento será:

$$P = 150 + 95 = 245 \text{ m.c.a. (máxima)}$$

$$P = 150 - 95 = 55 \text{ m.c.a. (mínima)}$$

b) Espessura de Cálculo do Tubo (para trecho aéreo)

$$t \geq \frac{24,5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 700 \text{ mm}}{2 \times 1120 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} \geq 7,65 \text{ mm}$$

c) Espessura do tubo (para trecho em vala)

De acordo com o "Curso de Tubulações Hidráulicas", UFMG, 1972, a experiência em casos práticos demonstra que os tubos de aço usuais resistem facilmente às maiores cargas móveis que se possam ter, desde que a camada de terra por cima do tubo tenha uma espessura pelo menos igual ao diâmetro e que a deformação diametral fique dentro dos limites geralmente aceitos, que é de 5%, para o caso de tubos sem revestimento. A verificação através da fórmula de Spangler, citada na norma M-11 da AWWA permitiu a verificação. A equação é dada por:

$$\delta = \frac{F \times K \times W \times r^3}{12 \times (E \times I + 0,61 \times E' \times r^3)}$$

Onde:

δ = Deformação diametral horizontal, em polegadas

F = Fator de deformação contínua a longo prazo: entre 1,25 a 1,50.

K = Fator dependente do fundo de vala: para fundo de vala plana, $K=0,1$

W = Carga de aterro por unidade de comprimento, em lbs/pé

r = raio externo do tubo, em polegadas

E = Módulo de elasticidade do aço, em lbs/pol²

I = Momento de inércia da seção transversal do tubo, em pol⁴

E' = Módulo de resistência do solo, variando entre 200 e 1200

Para o cálculo de W :

$$W = C1 \times g \times B \times D$$

Onde:

$C1$ = Coeficiente numérico dependente do tipo de aterro e da relação entre a profundidade e a largura da vala

g = peso específico da terra colocada sobre o tubo

B = largura da vala

D = diâmetro externo do tubo

OBS: deve ser utilizado um sistema de unidades adequado.

Calculando:

$$W = 1,18 \times 1920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1,2\text{m} \times 0,716\text{m} = 1946,6 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 1309,7 \frac{\text{lbs}}{\text{pés}}$$

$$\delta = \frac{1,375 \times 0,1 \times 1309,7 \times 14,1^3}{12 \times (28,48 \times 10^6 \times 4084,9 + 0,61 \times 700 \times 14,1^3)} = 3,61 \times 10^{-7} \text{ pol}$$

Como a deformação diametral é menor que 5%, a espessura de 8 mm (meio não agressivo) é adequada para a adutora.

d) Pressão de Colapso

$$P_c = 35280000 \times \left(\frac{7,6\text{mm}}{700\text{mm}} \right)^3 = 45\text{m.c.a.}$$

e) açamento máximo entre apoios para adutora aérea, admitindo uma flecha de 0,0025 m:

$$f = 0,0025\text{m}$$

$$I_0 = \frac{1}{64} \times \pi \times D^4_E - \frac{1}{64} \times \pi \times D^4_i = \frac{1}{64} \times \pi \times (71,53)^4 - \frac{1}{64} \times \pi \times (70)^4 = 106469,8\text{cm}^4$$

$$qt = 136 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$ql = 384,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$L \leq \left(\frac{0,0025\text{m} \times 106469,8\text{cm}^4}{0,0015 \times \left(136 \frac{\text{kg}}{\text{m}} + 384,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right)} \right)^{\frac{1}{4}} \leq 4,29\text{m}$$

f) açamento máximo em função da tensão máxima na parede do tubo considerando o mesmo como uma viga continua, simplesmente apoiada:

Sendo Z o momento resistente da seção transversal dado por:

$$Z = \frac{I_0}{\text{raio}_{\text{ext}}} = \frac{106469,8\text{cm}^4}{35,76\text{cm}} = 2977,3\text{cm}^3$$

$$L \leq \left(\frac{1120 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 2977,3\text{cm}^3}{10 \times \left(136 \frac{\text{kg}}{\text{m}} + 384,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right)} \right)^{\frac{1}{2}} \leq 25\text{m}$$

g) Verificação da Tensão Concentrada na região dos suportes:

$$f = 0,02 - 0,00012 * (A - 90), \text{ para } A = 120^\circ, \text{ resulta } f = 0,0164$$

Tomando os apoios como sendo a cada 3,5 metros, resulta em:

$$R = 550,5\text{lb}$$

Sendo também:

$$D = 15,75''$$

$$t = 0,157''$$

$$S_T = 0,0164 \times \frac{2011,9\text{lb}}{(0,2992)^2} \log \frac{27,56}{2 \times 0,2992} = 700,65 \frac{\text{lb}}{\text{pol}^2} = 49 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

3.5. Transiente Hidráulico

As notas do cálculo do Transiente Hidráulico foram baseados somente em Michaud e Alliev. Devido ao sistema ser puramente mecânico, não sendo possível o transitório ser gerado por uma queda de energia, além do fato da espessura da chapa adotada possuir o dobro de sua necessidade mecânica (em torno de 4,5mm), o sistema torna-se bastante seguro. Mesmo assim foram previstos alguns acessórios de proteção que estão representados no Tomo II, Volume III – Perfil e Caminhamento / Adutoras.



4. PROJETO ESTRUTURAL

4. PROJETO ESTRUTURAL

4.1. Projeto Estrutural da Estação de Recalque

Devido ao porte das tubulações e máquinas hidráulicas instaladas foi necessária a confecção do projeto estrutural, compreendendo o dimensionamento de lajes, vigas e pilares, assim como a fundação. Foram levantadas as cargas atuantes que são:

- Peso próprio da estrutura
Alvenaria
Concreto
Cobertura
- Peso das máquinas hidráulicas
- Peso próprio da tubulação de alimentação + volume
Peso Próprio
Volume
- Peso próprio da tubulação de recalque + volume
Peso Próprio
Volume
- Carga acidental

As vigas foram calculadas separadamente de acordo com a carga atuante na sua área de influência, assim como os pilares e os blocos de fundação. Os resultados dos esforços, e as áreas de aço para cada seção estão apresentados nas tabelas anexas dos projetos, respectivamente para lajes, vigas e pilares.

O projeto estrutural, detalhamento e planta de formas é apresentado no Tomo II Volume 2 – Projeto Estrutural.

4.2. Projeto Estrutural dos Blocos de Ancoragem

Para calcular os esforços resultantes da pressão nas mudanças de direção da tubulação foram utilizadas as fórmulas seguintes:

Cálculo do Empuxo:

$$E = 2 \times p \times s \times \gamma \times \text{sen} \frac{\alpha}{2}$$

Onde:

E = Empuxo (kg)

p = Pressão interna (m.c.a.)

α = Ângulo de deflexão da peça (°)

s = Área de seção transversal do tubo (m²)

γ = Peso específico da água (1000kg/m³)

Cálculo da Área em Contato com o Solo:

$$a = \frac{s \times p}{\sigma \times h} \times \text{tg} \frac{\alpha}{2}$$

Onde:

a = Lado do encosto (cm)

s = Área de seção transversal do tubo (cm²)

p = pressão interna (kg/cm²)

σ = tensão admissível do terreno (kg/cm²)

h = altura de ancoragem (cm)



5. CANAL

5. CANAL

5.1. Especificações do Canal

A escolha da estrutura do canal foi determinada em função do seu custo e tempo de montagem e seguindo uma tendência atual e econômica do mercado, optou-se pela seção semi-circular que é fabricada em módulos de 5 metros de comprimento em concreto armado.

Para atender à vazão de 1,8 m³/s (já contando com eventuais colaborações pluviais) que deverá percorrer a distância de aproximadamente 7000 metros foram estudadas as possibilidades de diâmetro e inclinação do fundo do canal através da conhecida fórmula de Manning. Foram observadas também a velocidade no canal e a Tensão Trativa, evitando-se velocidades baixas que propiciam a sedimentação.

5.2. Derivações

Não foram estudados nem aplicados casos de derivações ao longo do canal para irrigação

Tais derivações poderiam ser construídas no futuro desde que respeitem a vazão mínima de transporte entre açudes. Tais valores deverão ser fornecidos por órgão de gestão.

5.3. Estruturas Especiais

Não foi averiguada a necessidade de execução de estruturas especiais para a execução do projeto.

Entretanto, as estruturas especiais que por algum motivo vierem a se demonstrar necessárias à medida em que se avance a execução das obras deverão ser estudadas pela fiscalização e executadas através da confecção de projetos complementares a serem fornecidos pela empresa executora da obra.



6. ANEXOS

6. ANEXOS

6.1. Turbina Michell Bunki e Transmissão Similar à Especificada

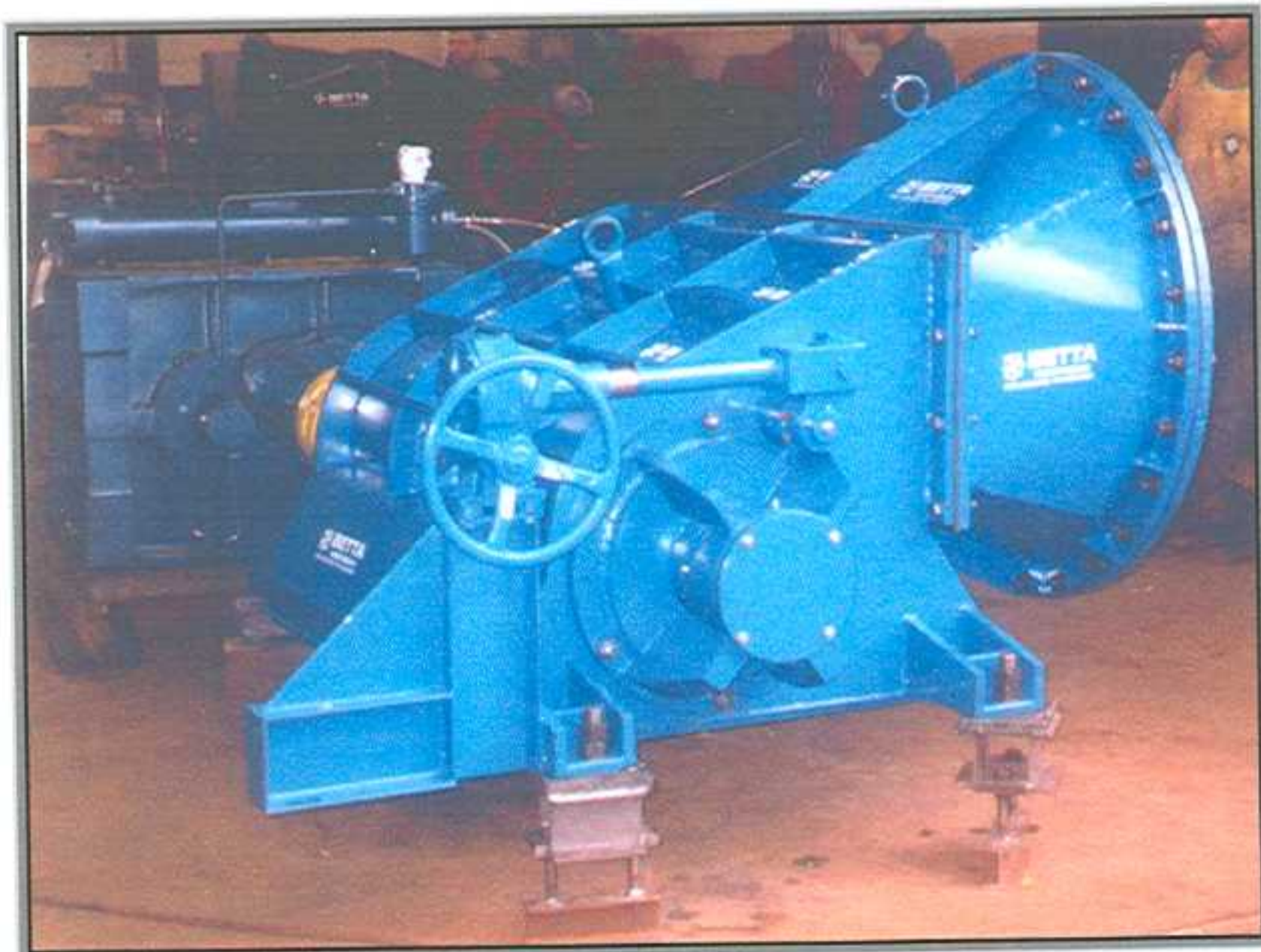


Figura 17 – Turbina e Transmissão

6.2. Estudo de Possibilidades

A seguir são apresentadas, a título de informação, todas as curvas estudadas para se chegar à curva mais apropriada para o sistema.

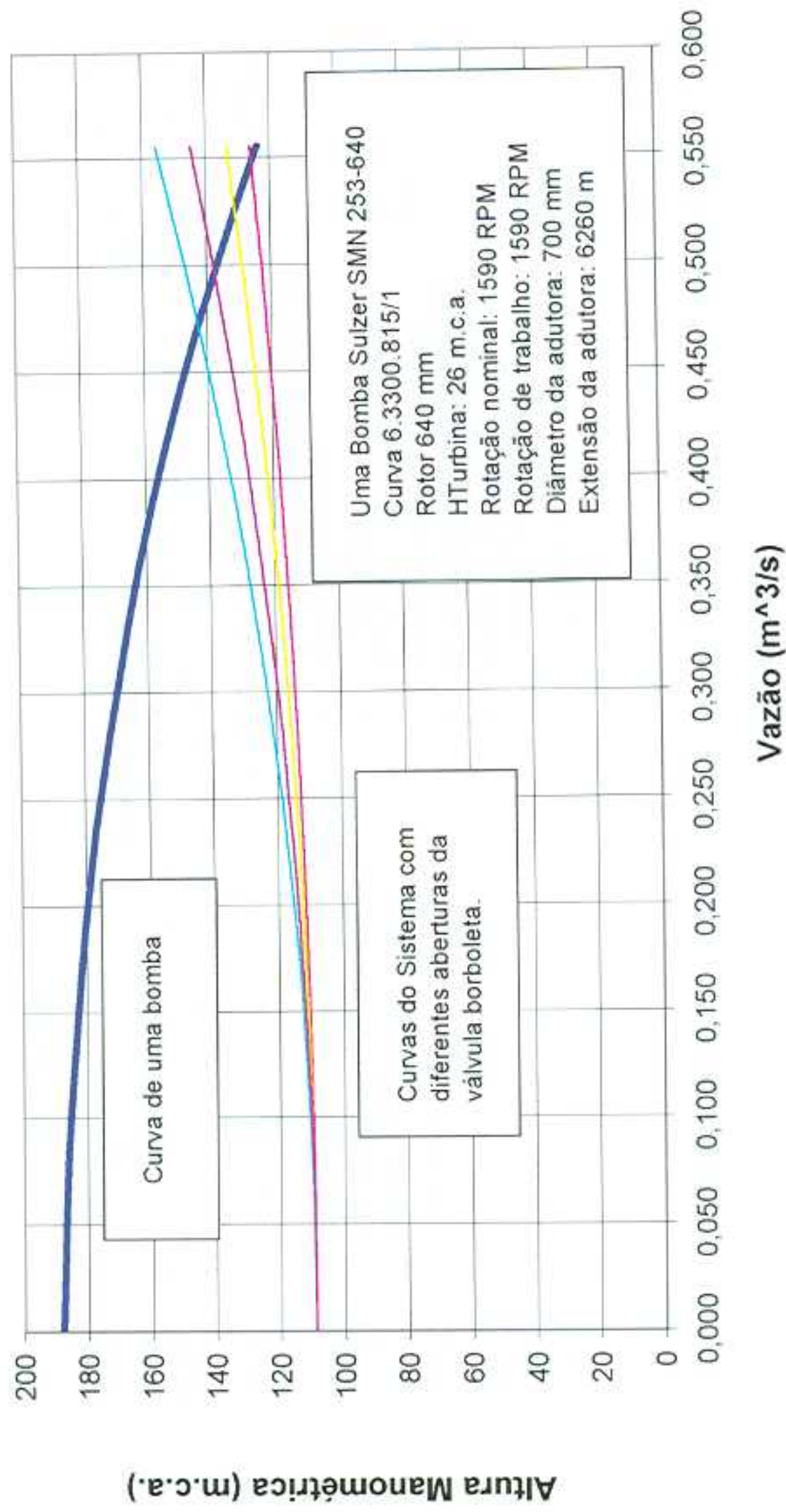
Legenda da Abertura de Válvulas:

Cada linha ascendente dos gráficos seguintes corresponde a um coeficiente denominado K_s da válvula, que corresponde a uma abertura em graus (a abertura máxima desta válvula é 90 graus) e então pode-se calcular a porcentagem de abertura, sendo assim:

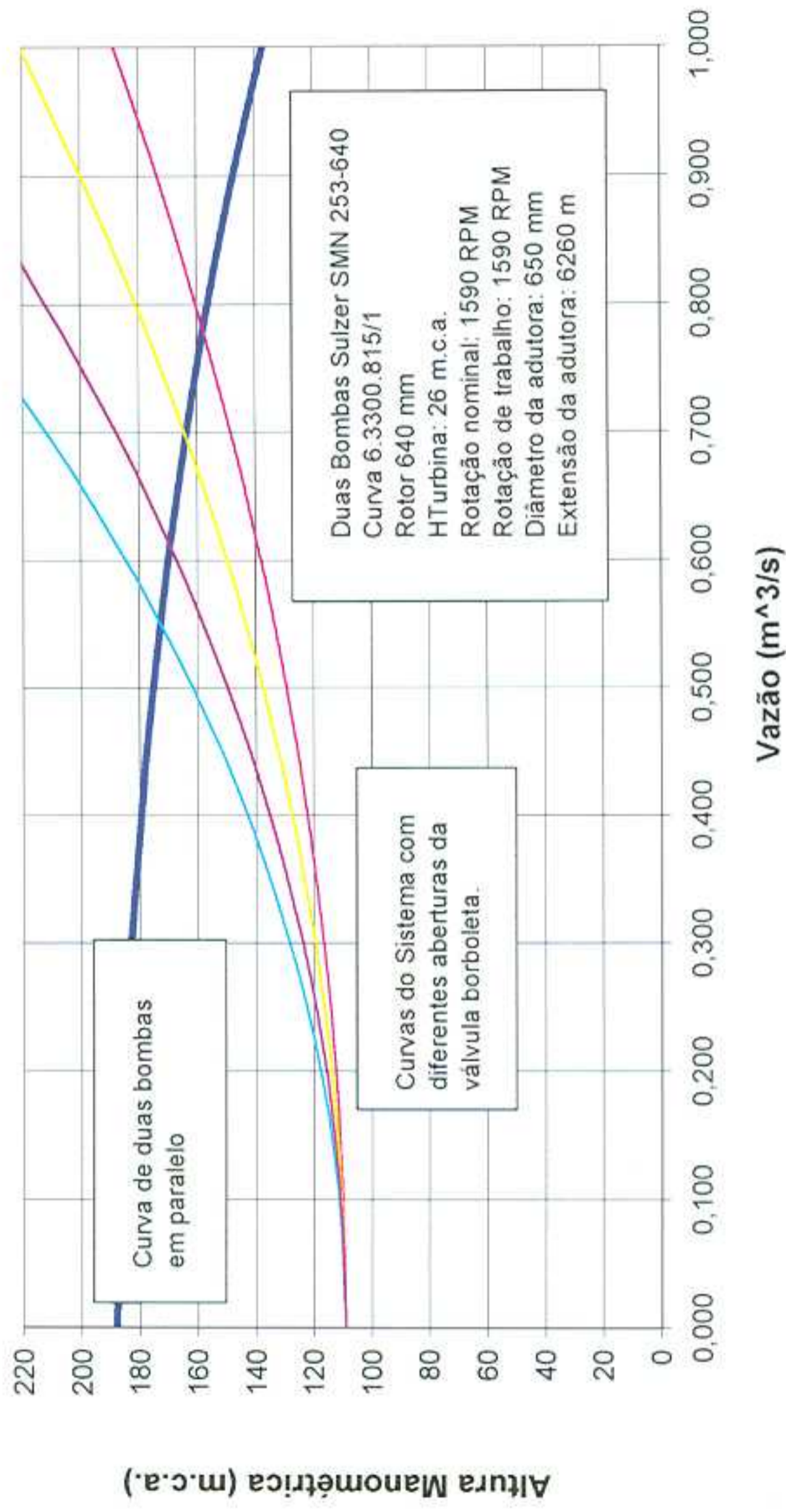
Respectivamente, de baixo para cima:

- $K_s = 0,15$: implica 87 graus de abertura ou 97%
- $K_s = 70$: implica 30 graus de abertura ou 33%
- $K_s = 175$: implica 20 graus de abertura ou 22%
- $K_s = 280$: implica 15 graus de abertura ou 16,6%

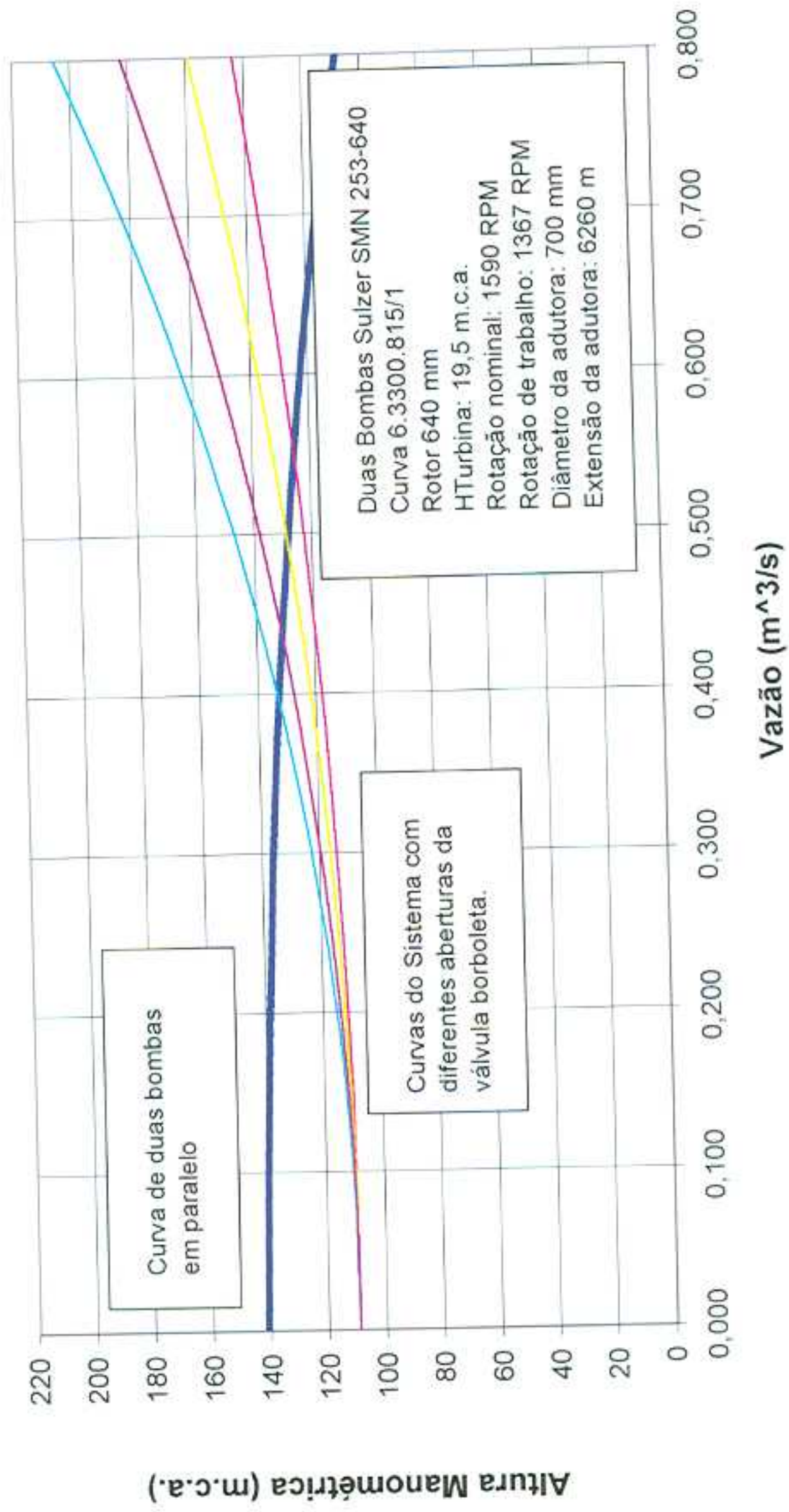
Adutora Orós - Uma Bomba em Operação Sistema com Diferentes Pontos de Operação



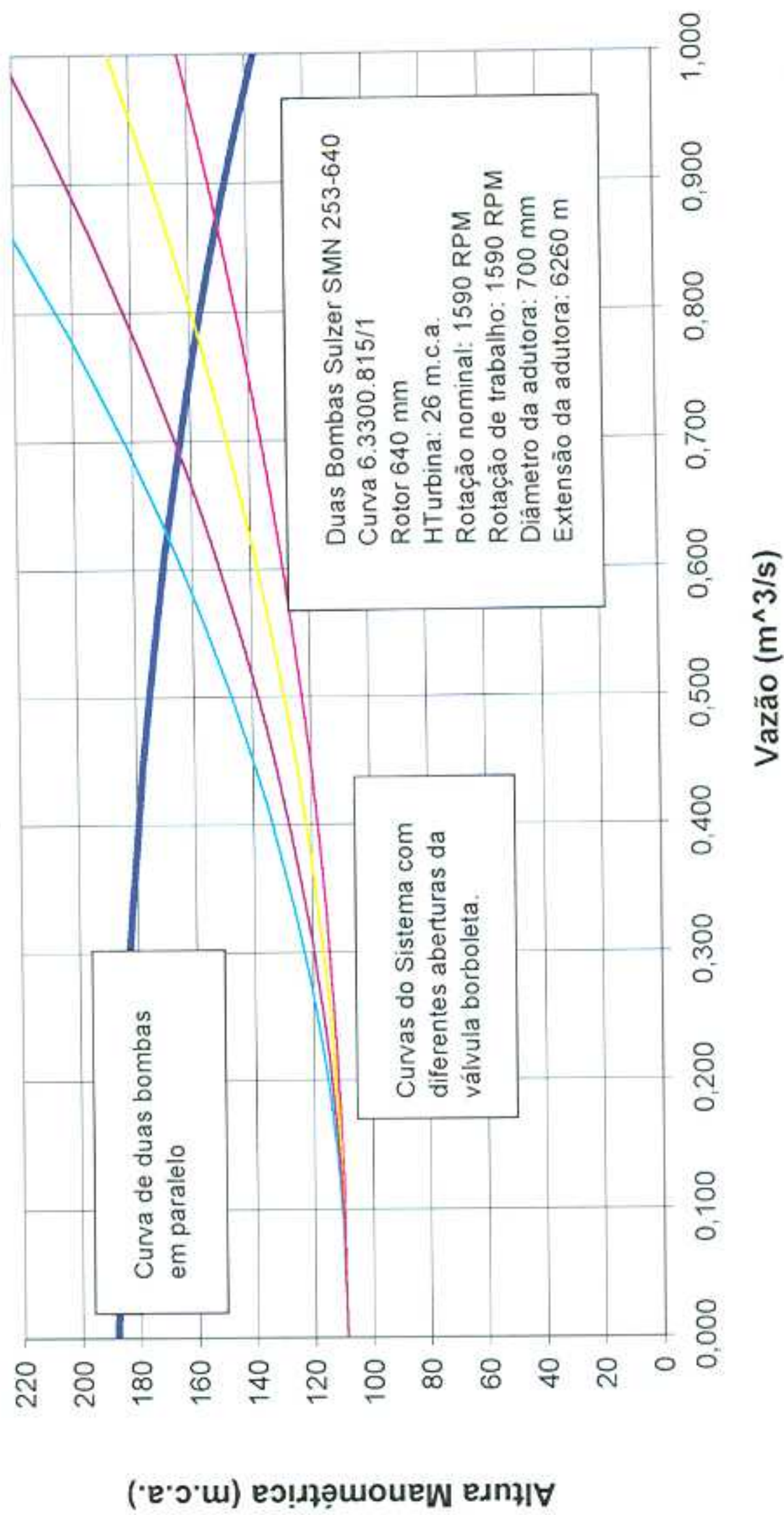
Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação



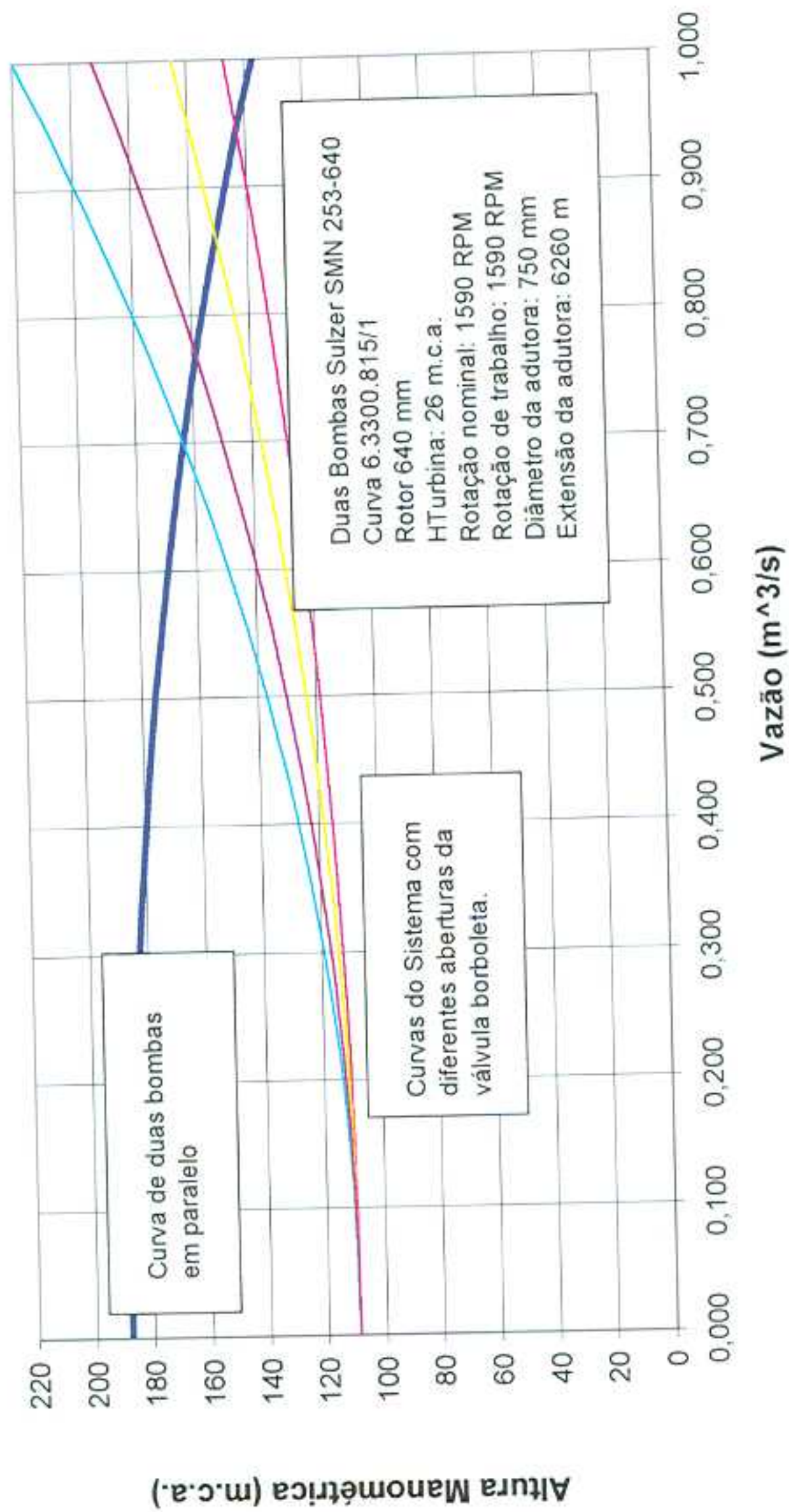
Aduтора Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação



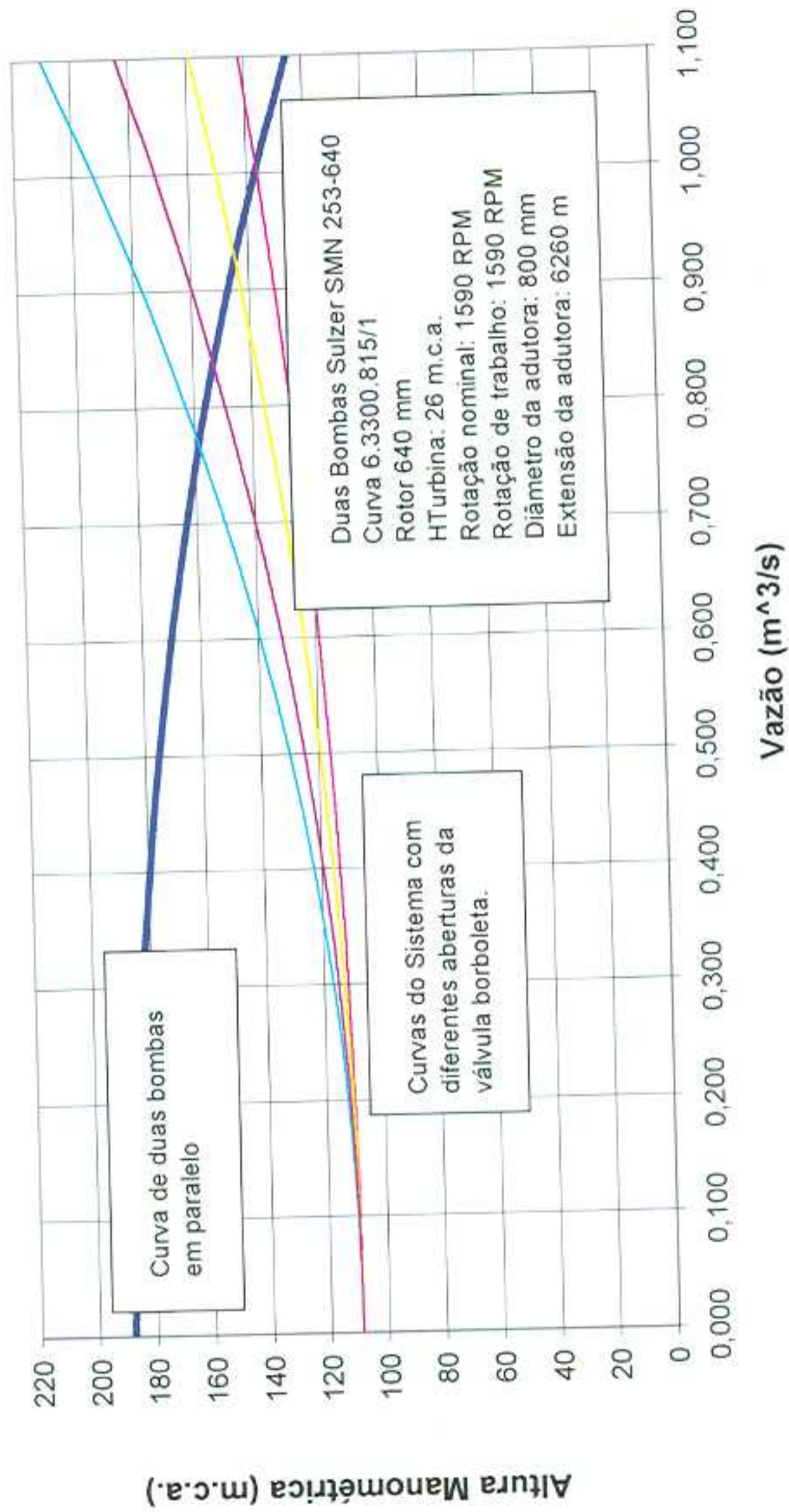
Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação



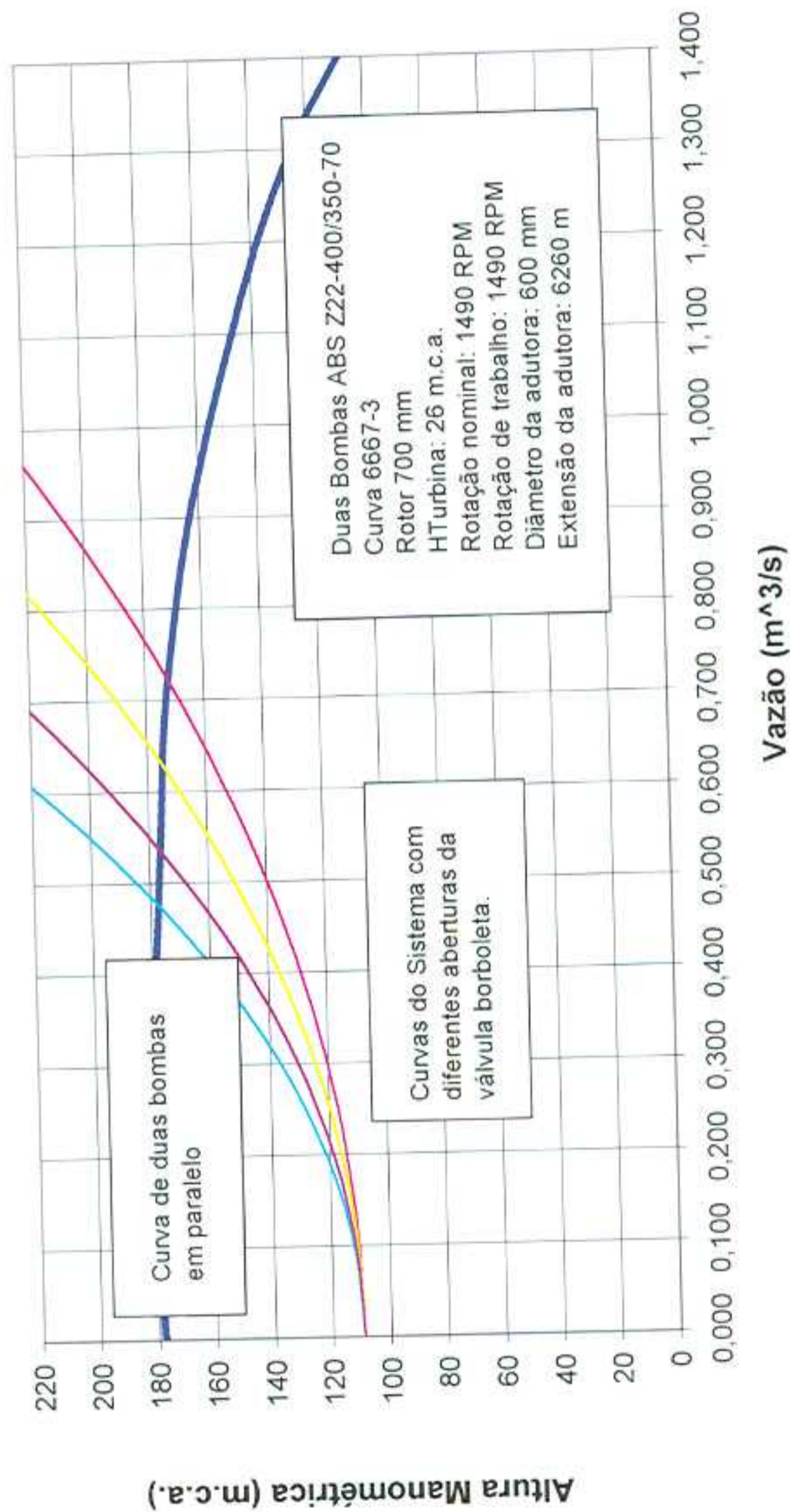
Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação



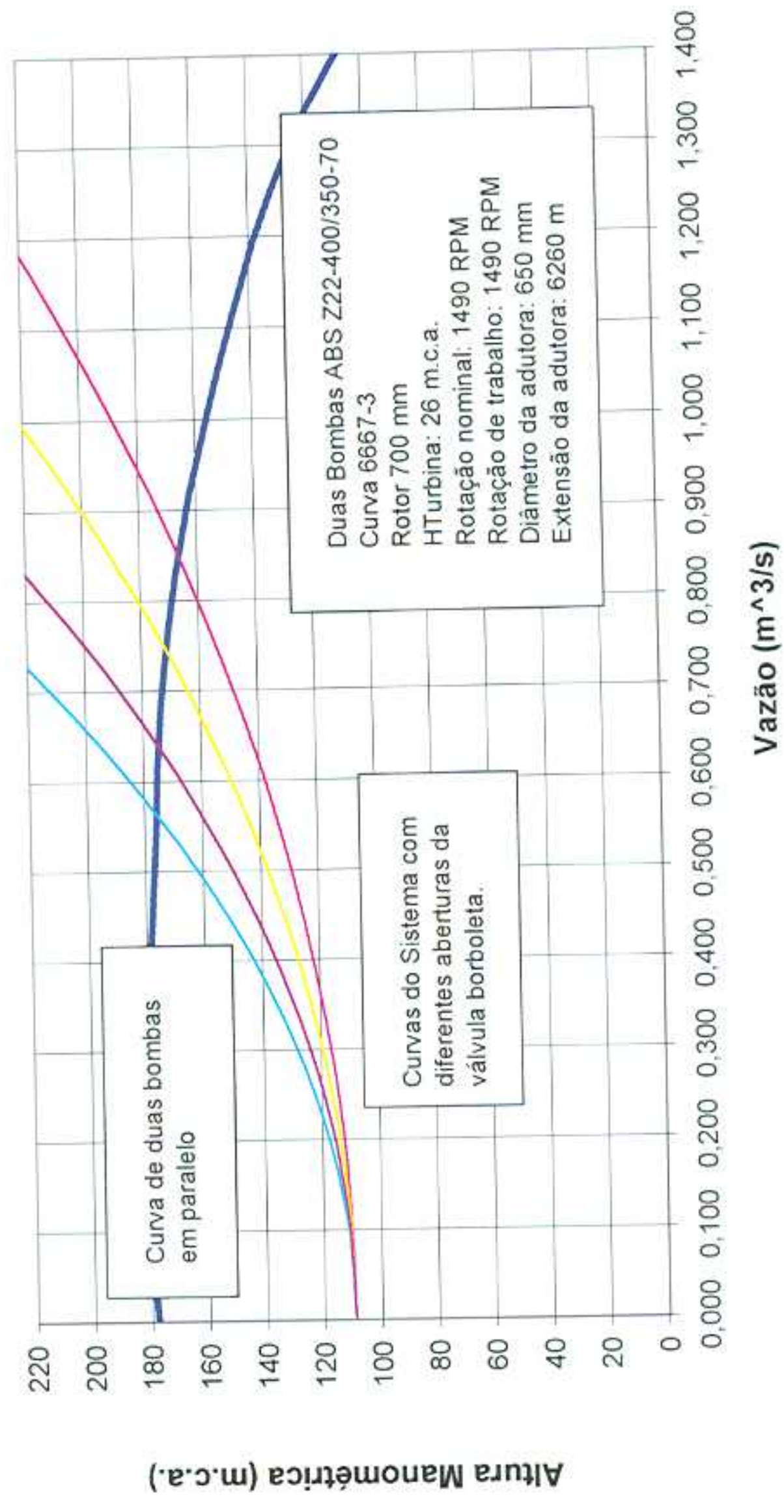
Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação



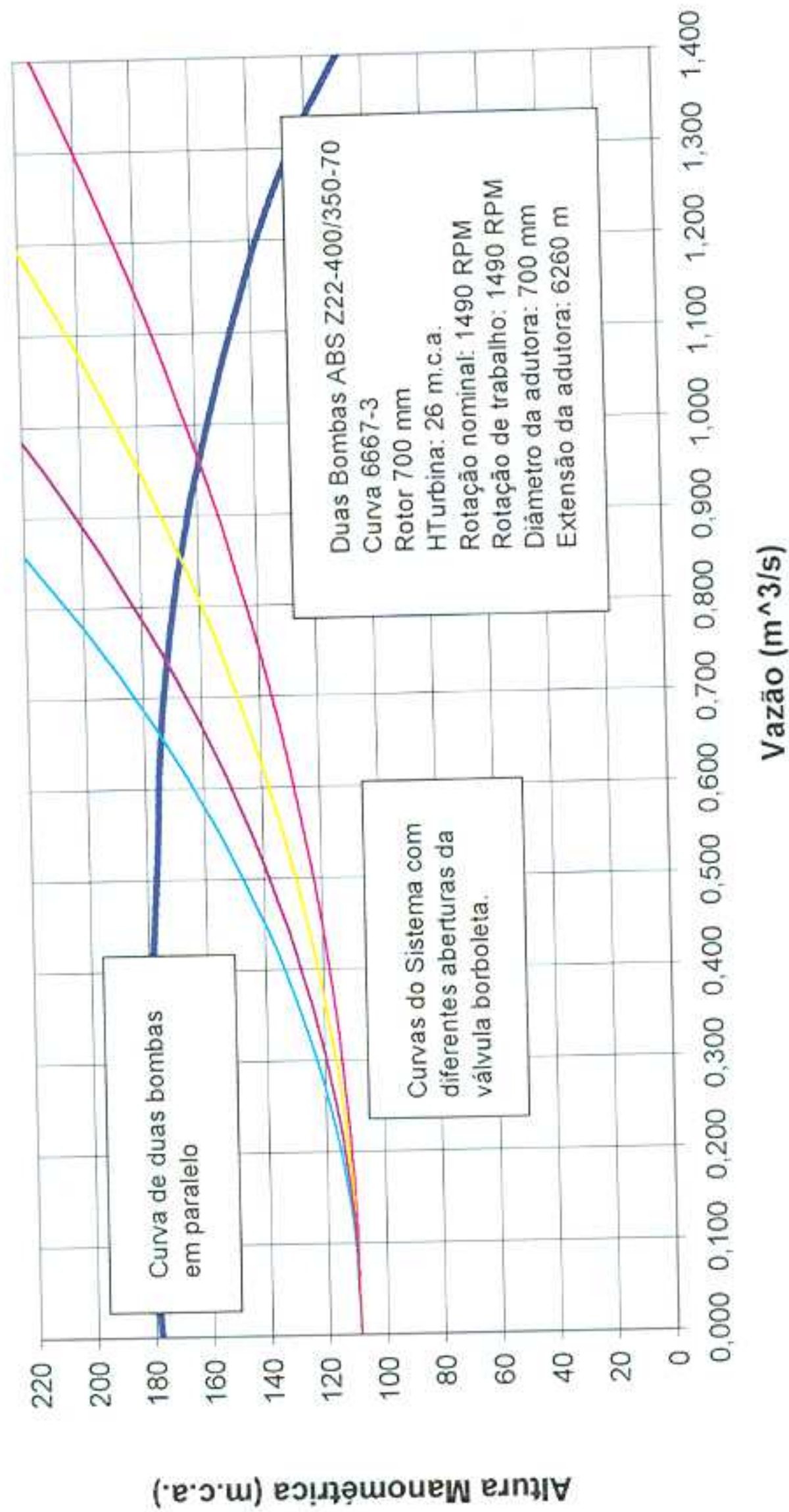
Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação



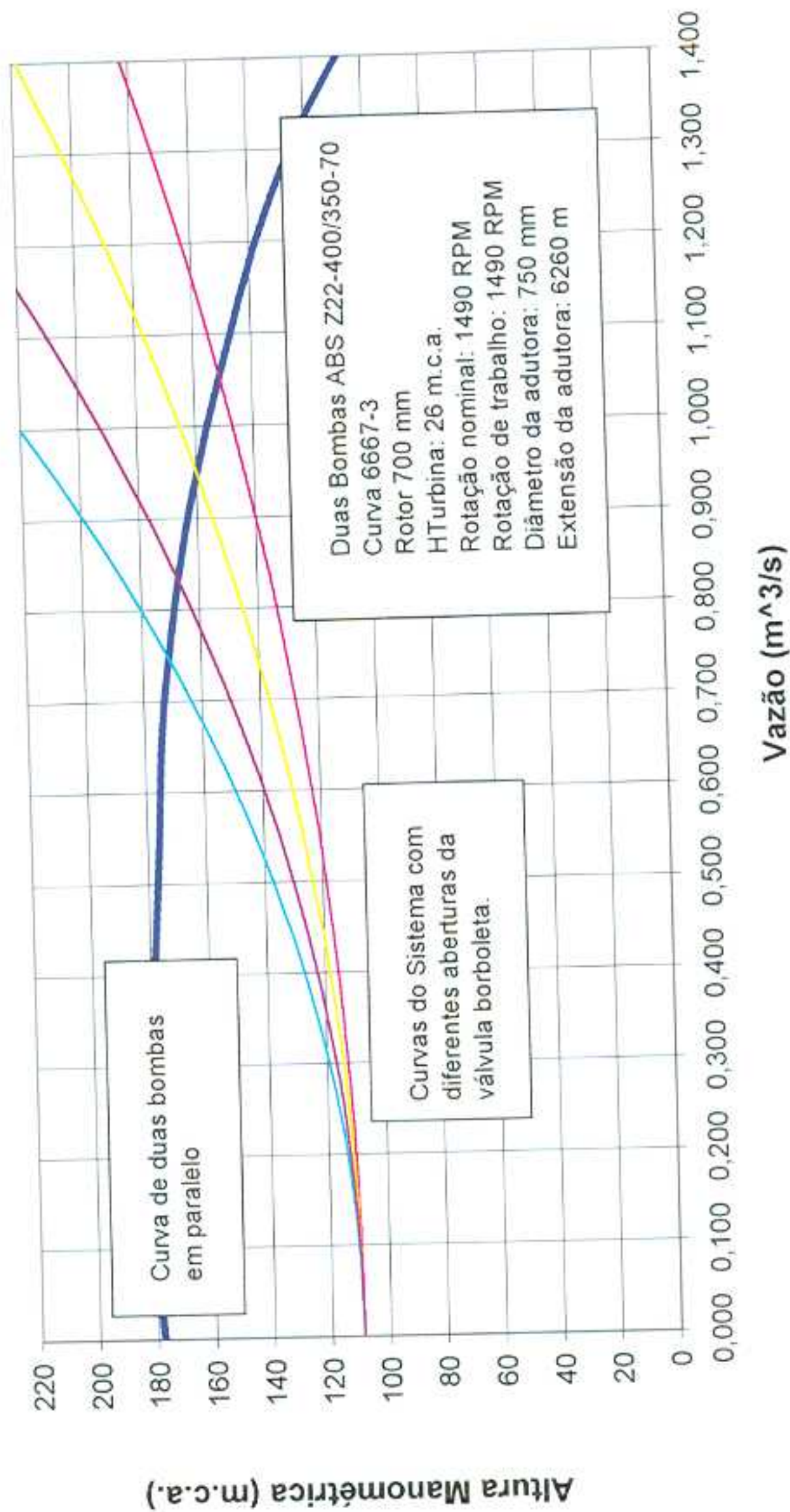
Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação



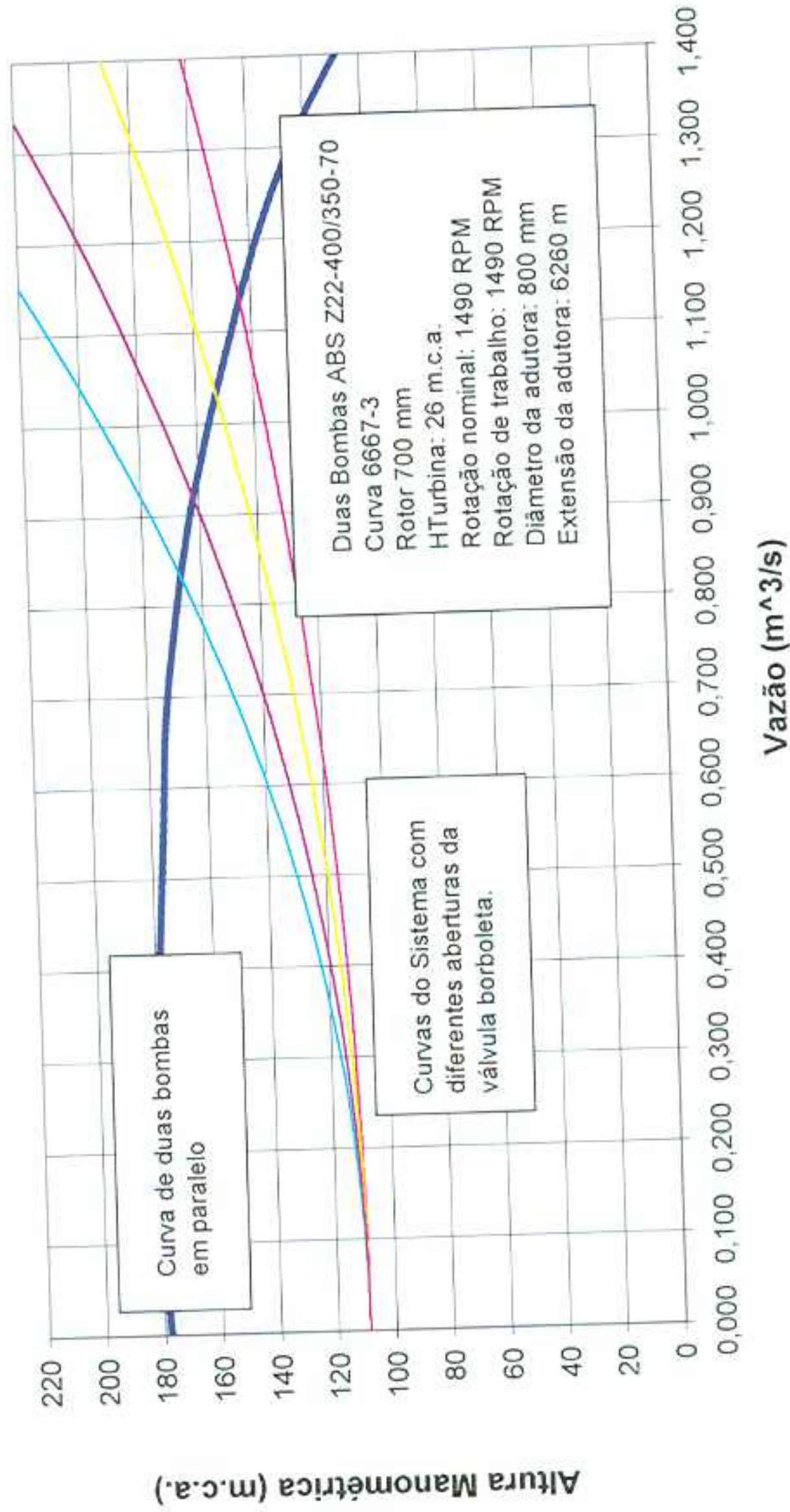
Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação



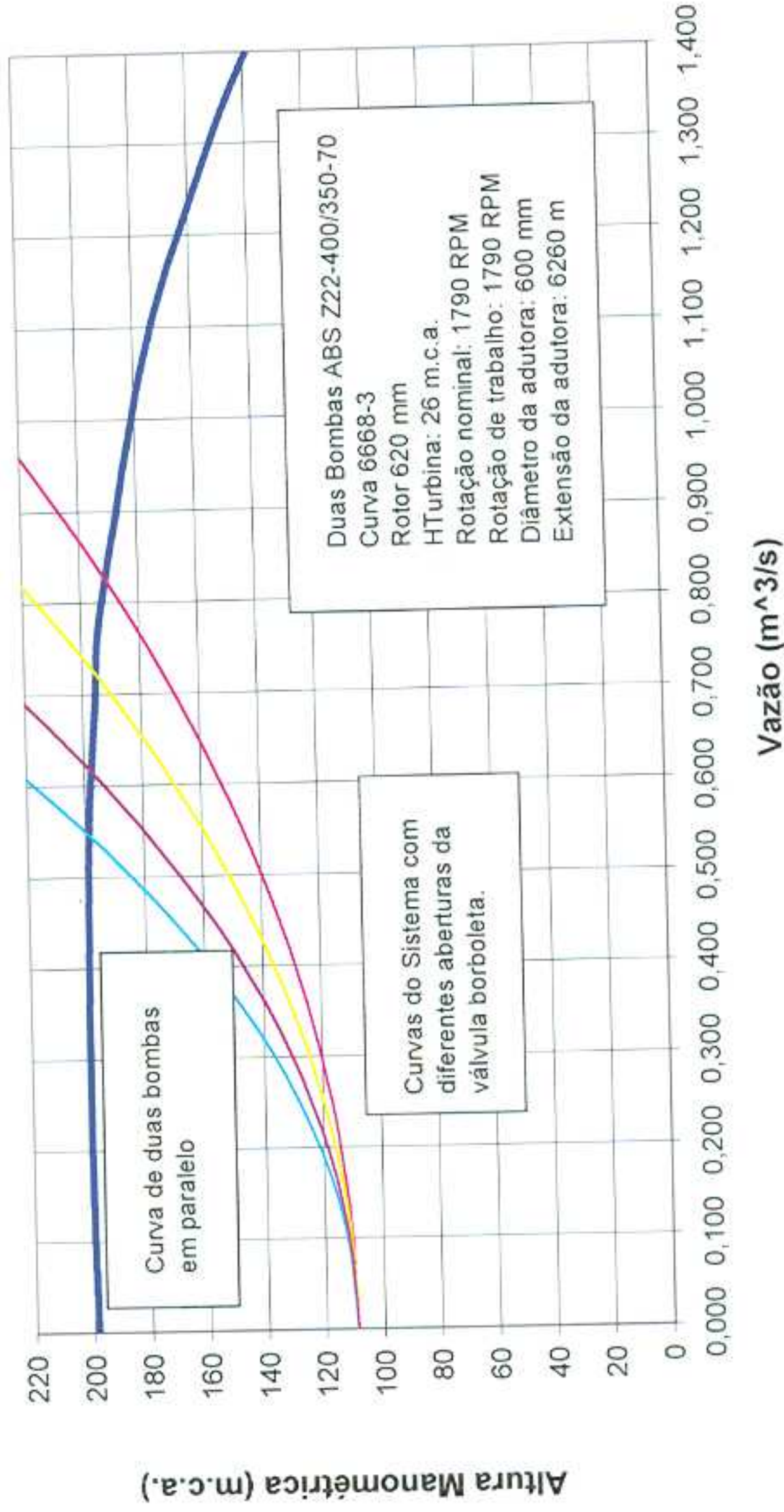
Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação



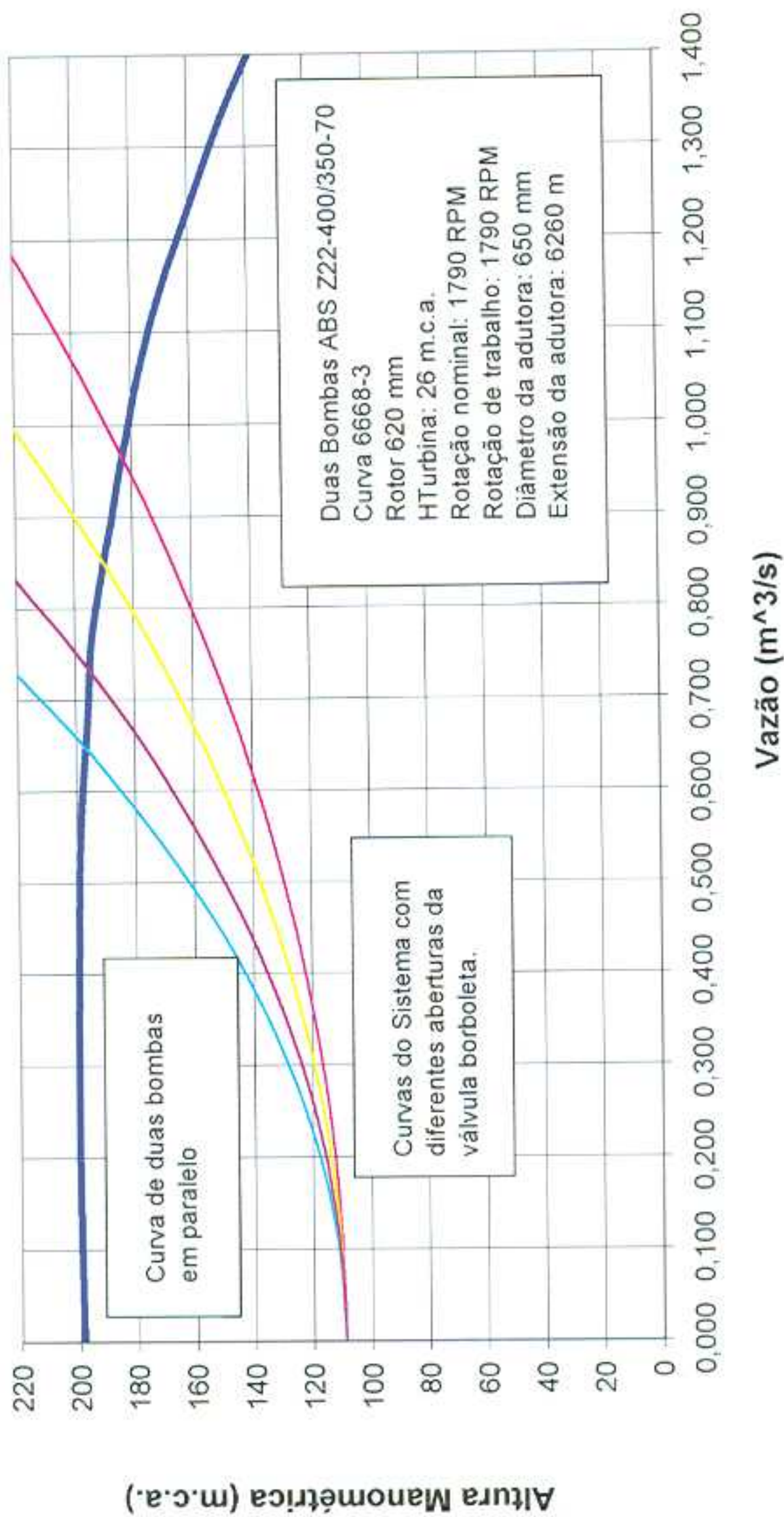
Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação



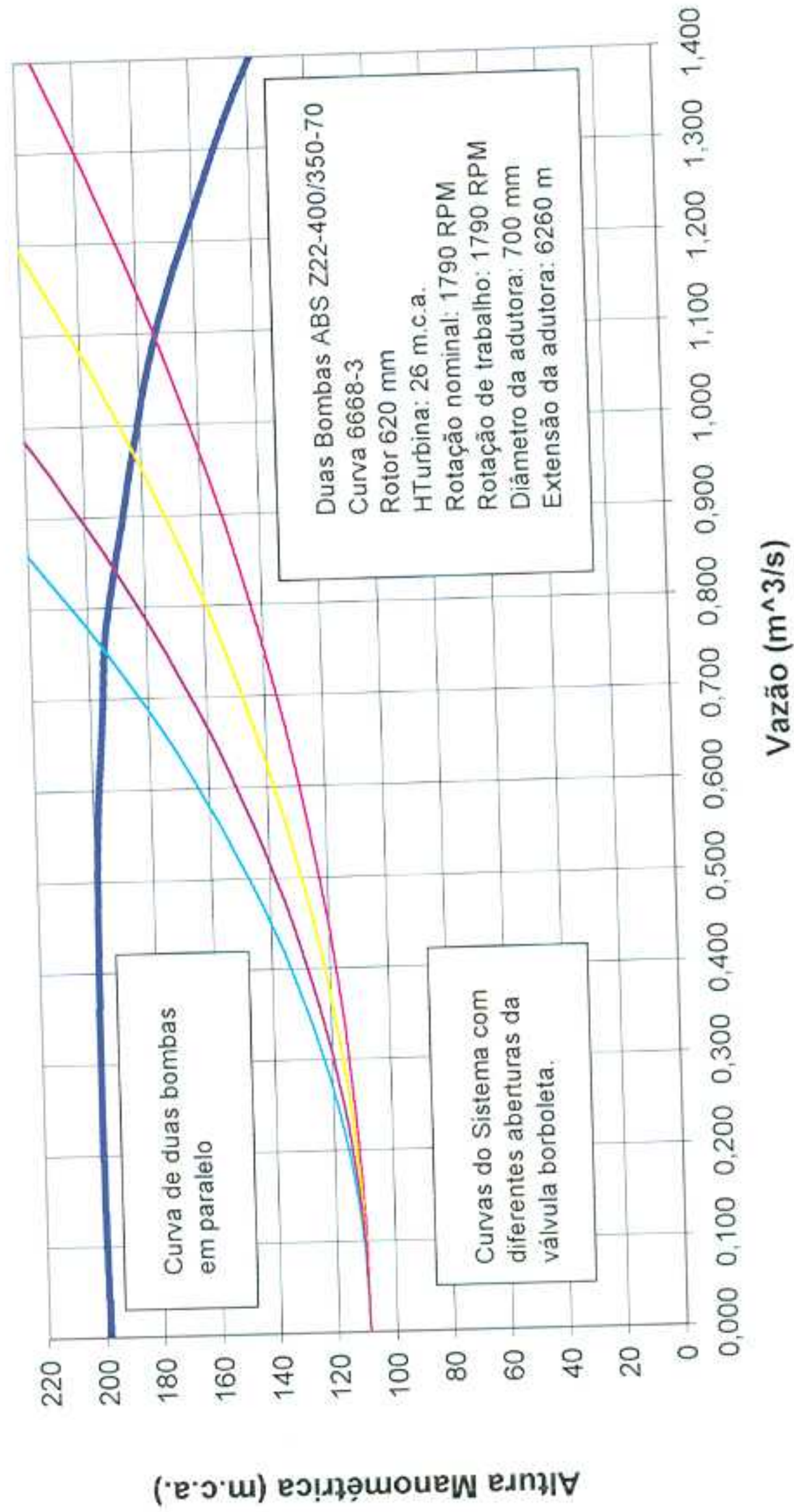
Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação



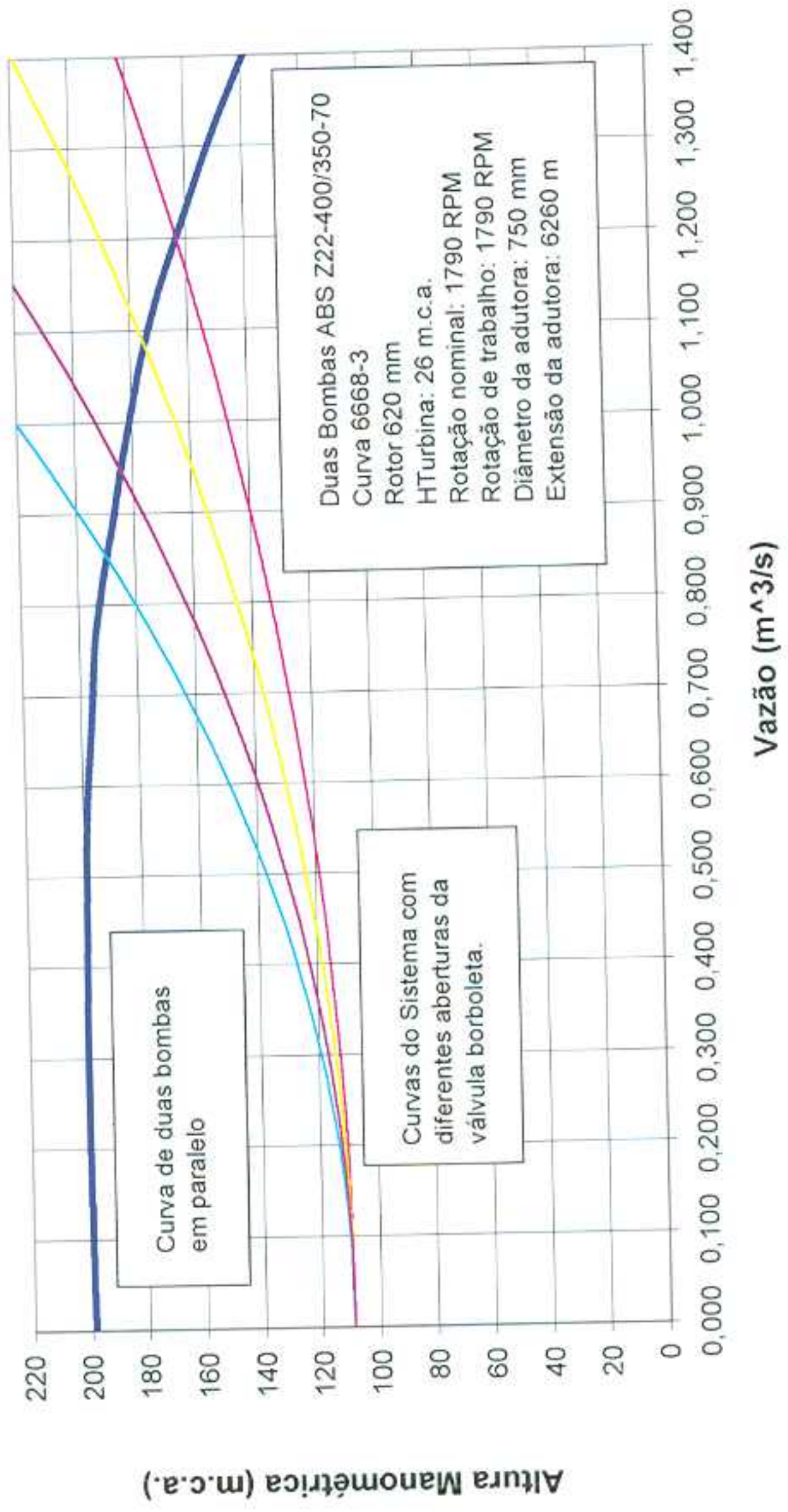
Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação



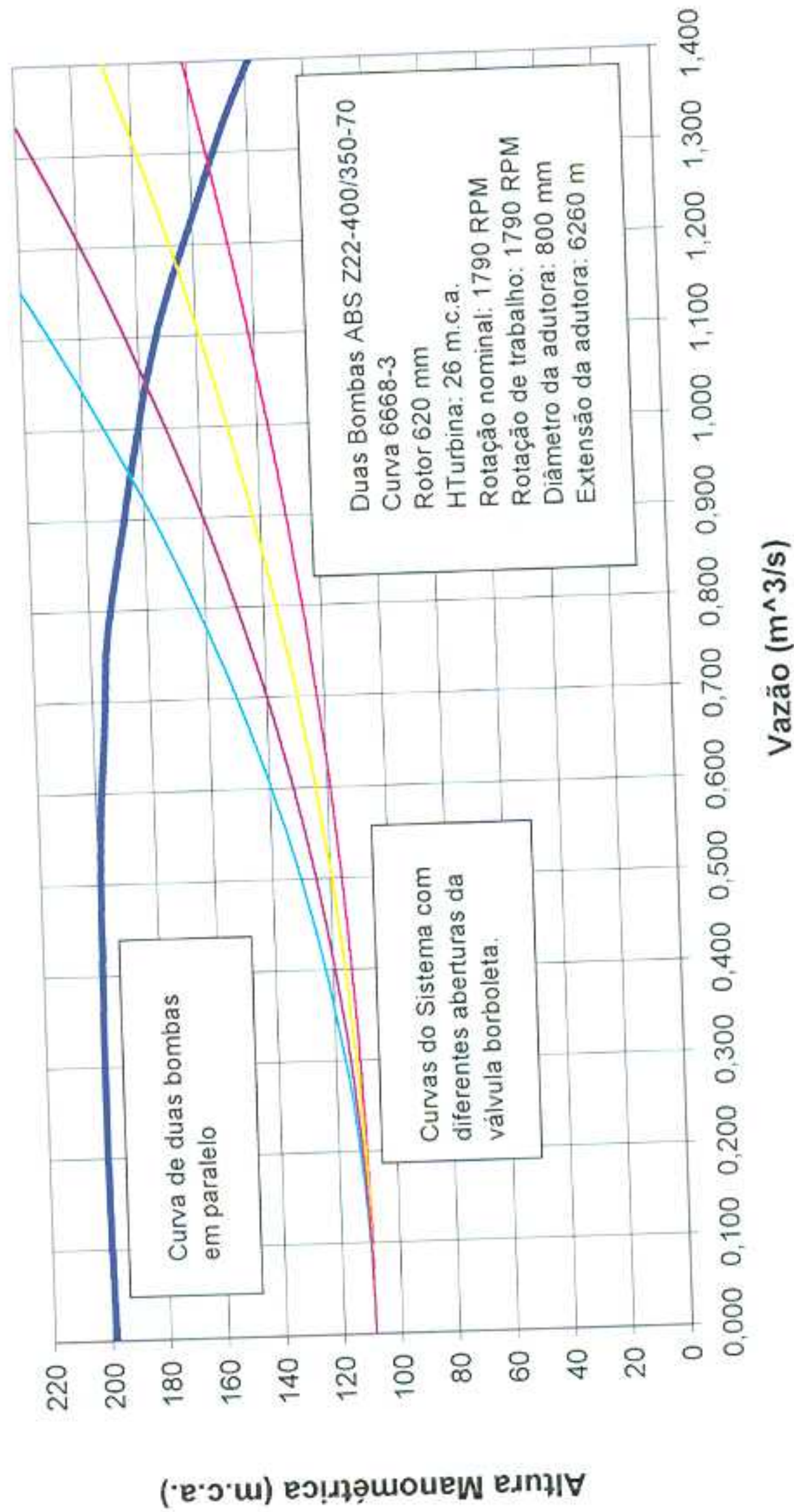
Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação



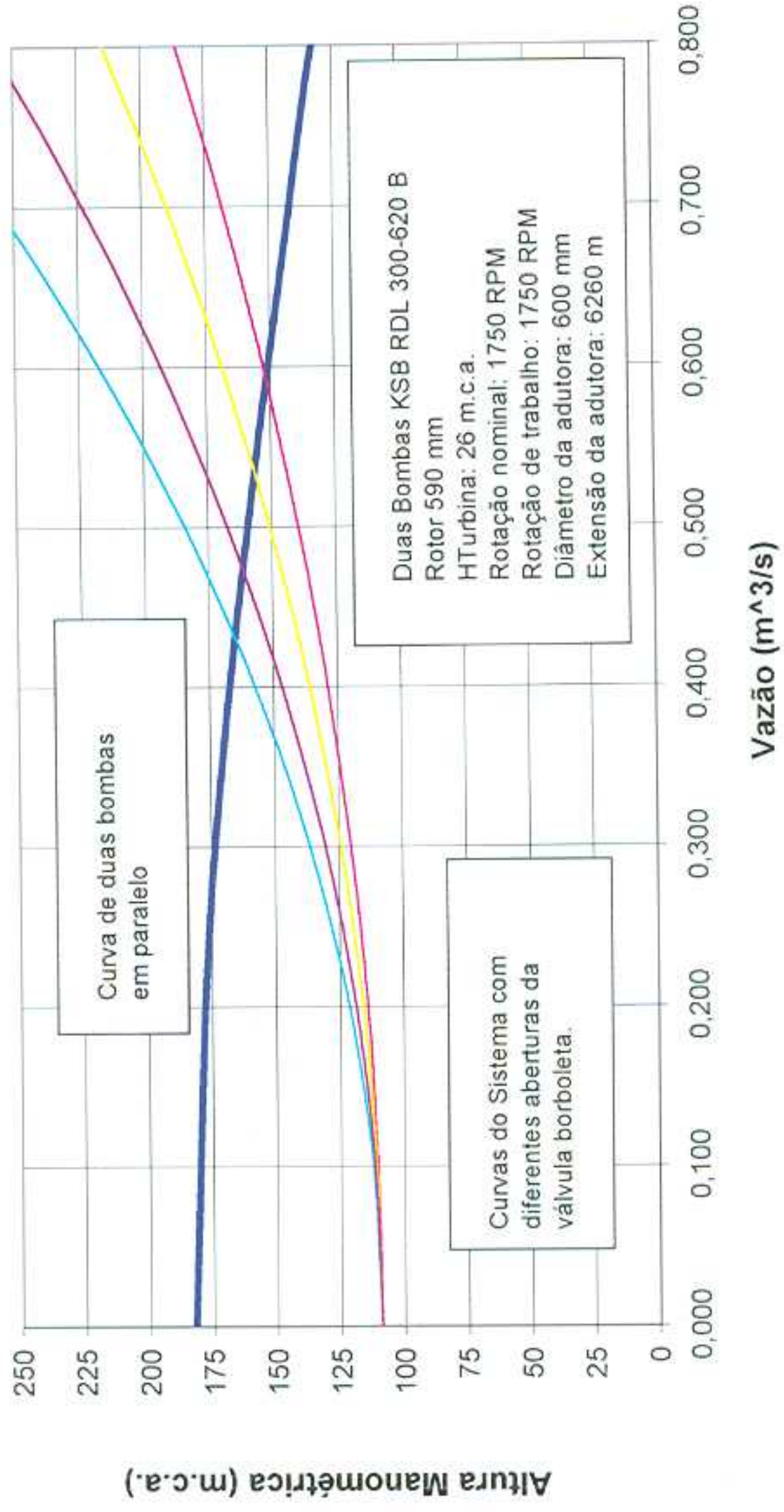
Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação



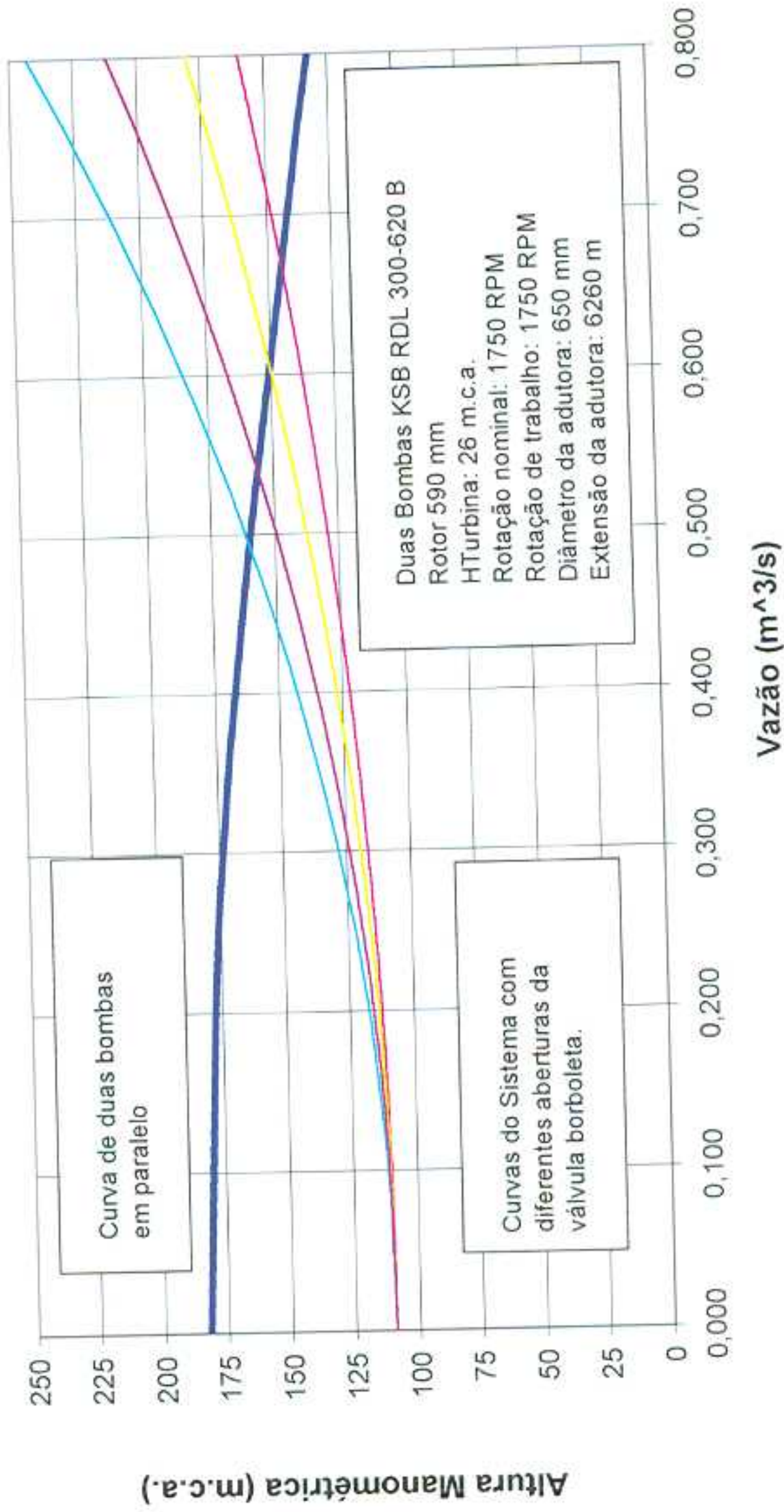
Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação



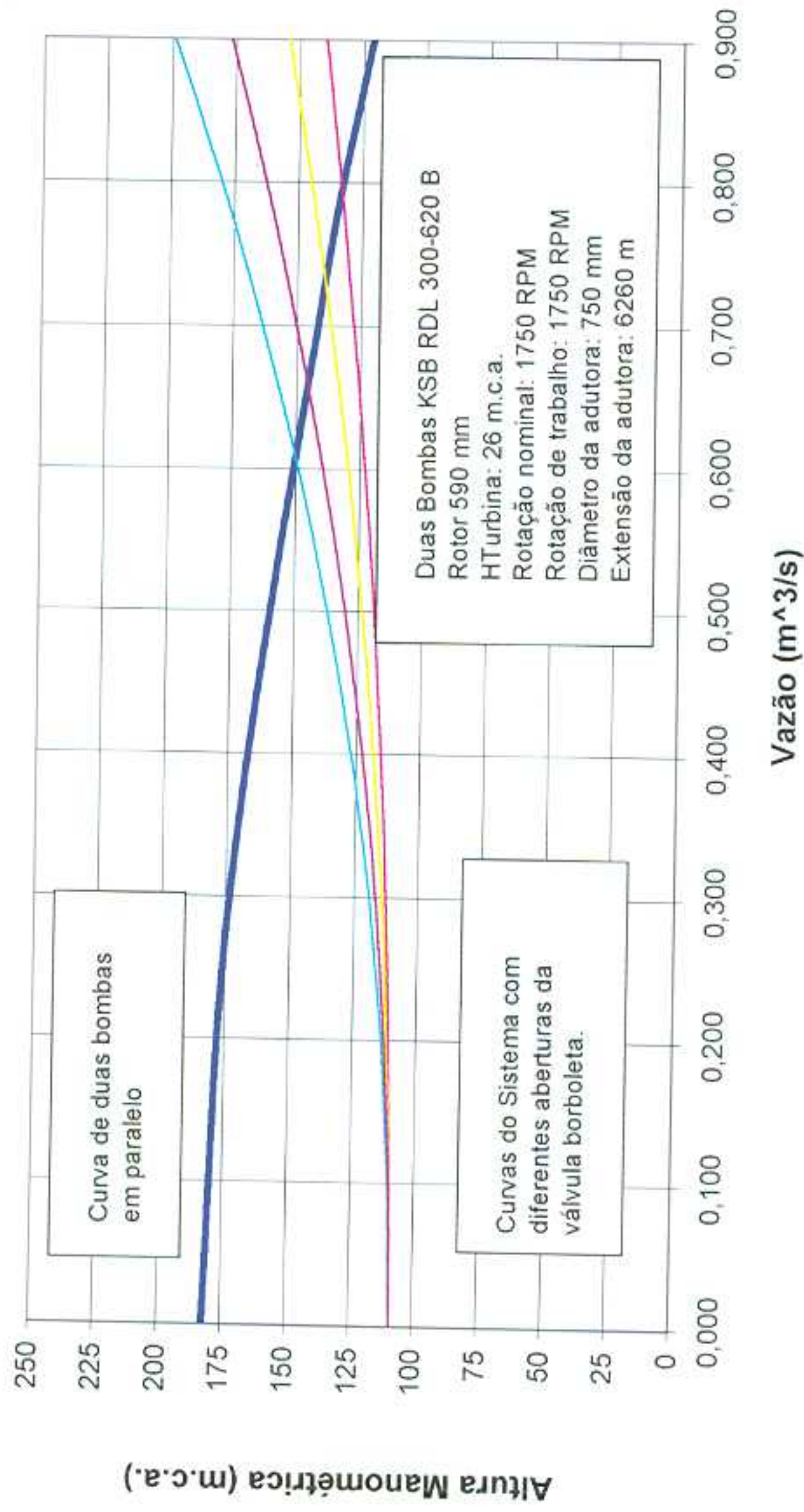
Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação



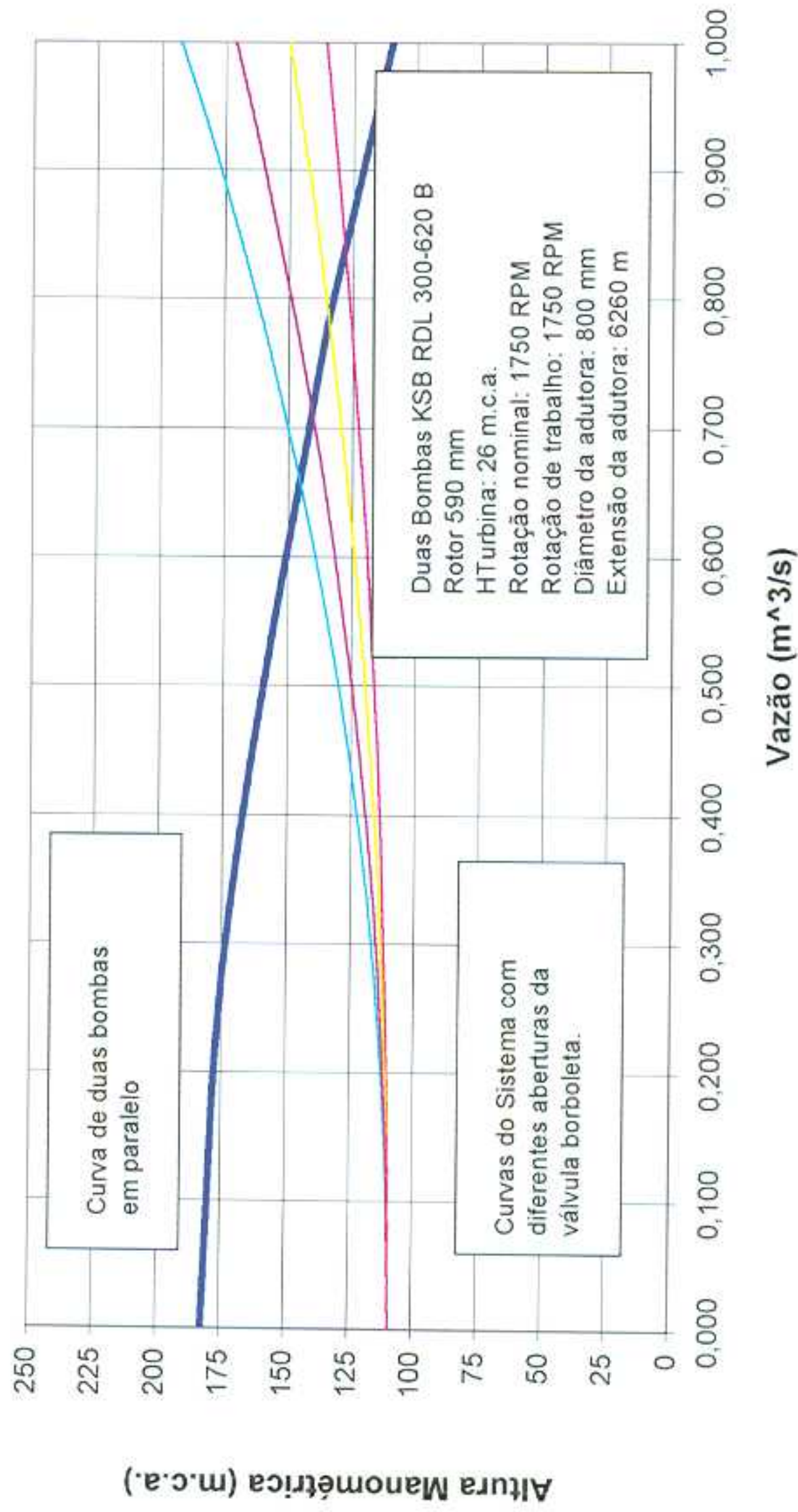
Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação



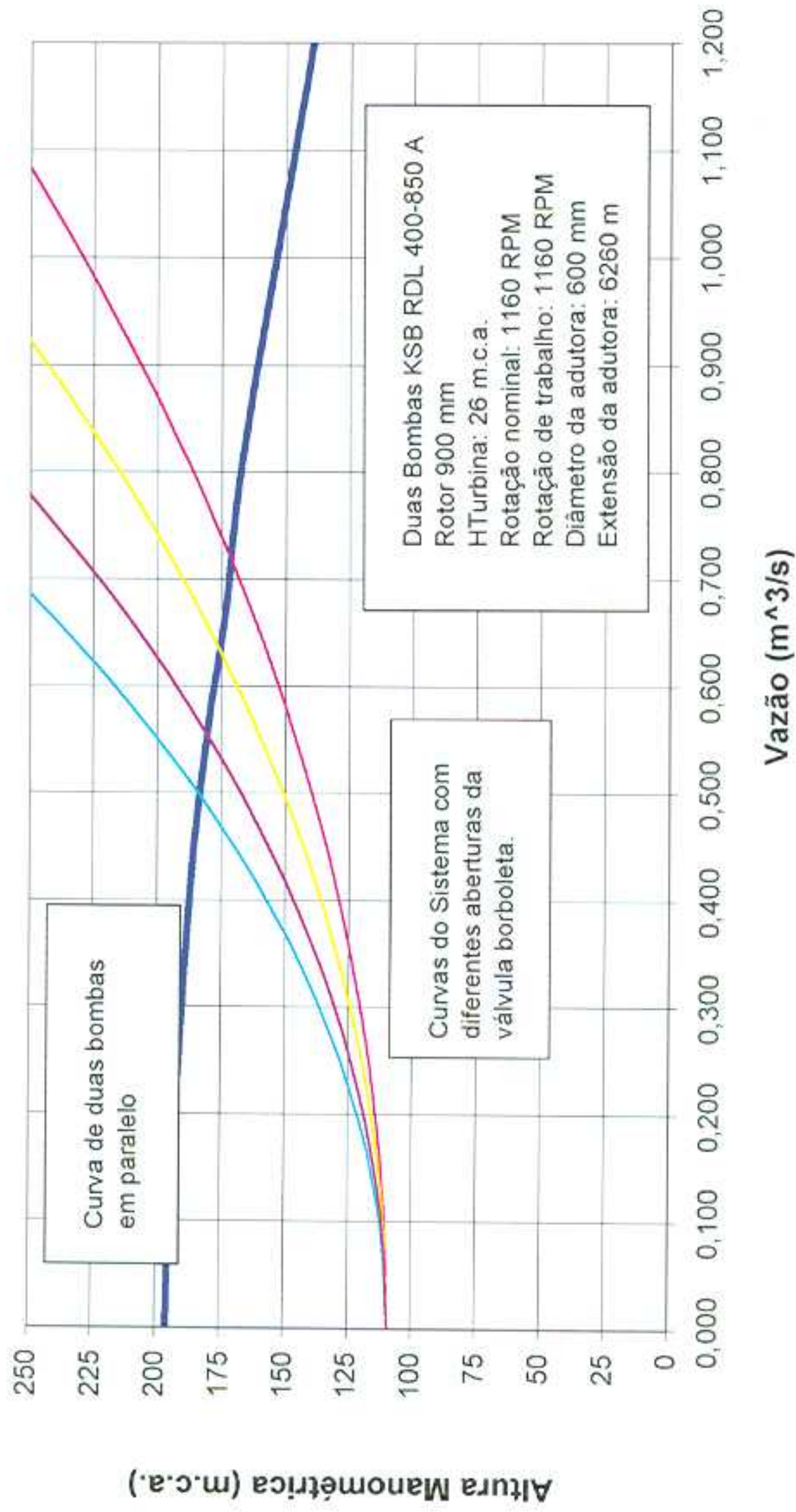
Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação



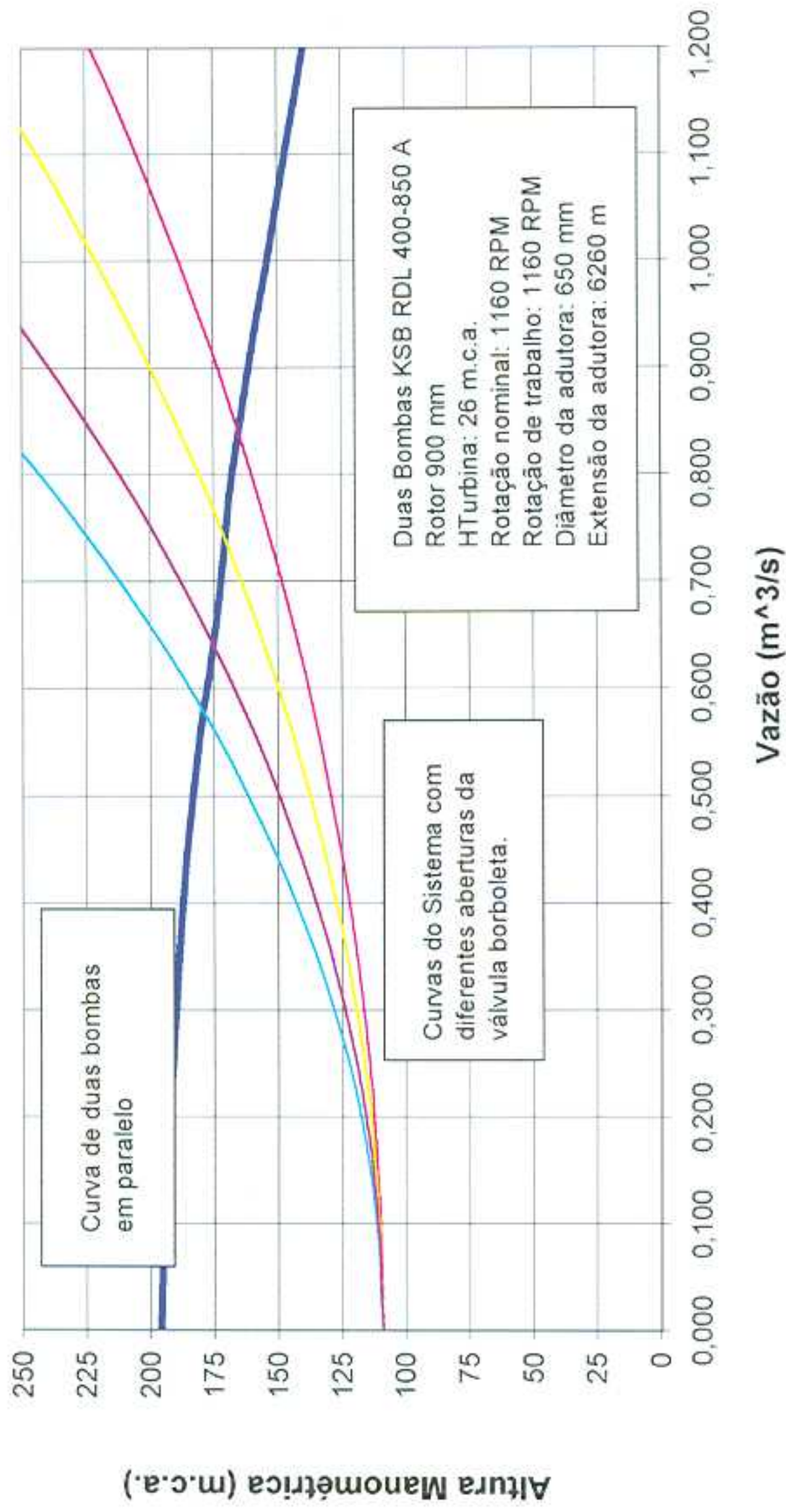
Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação



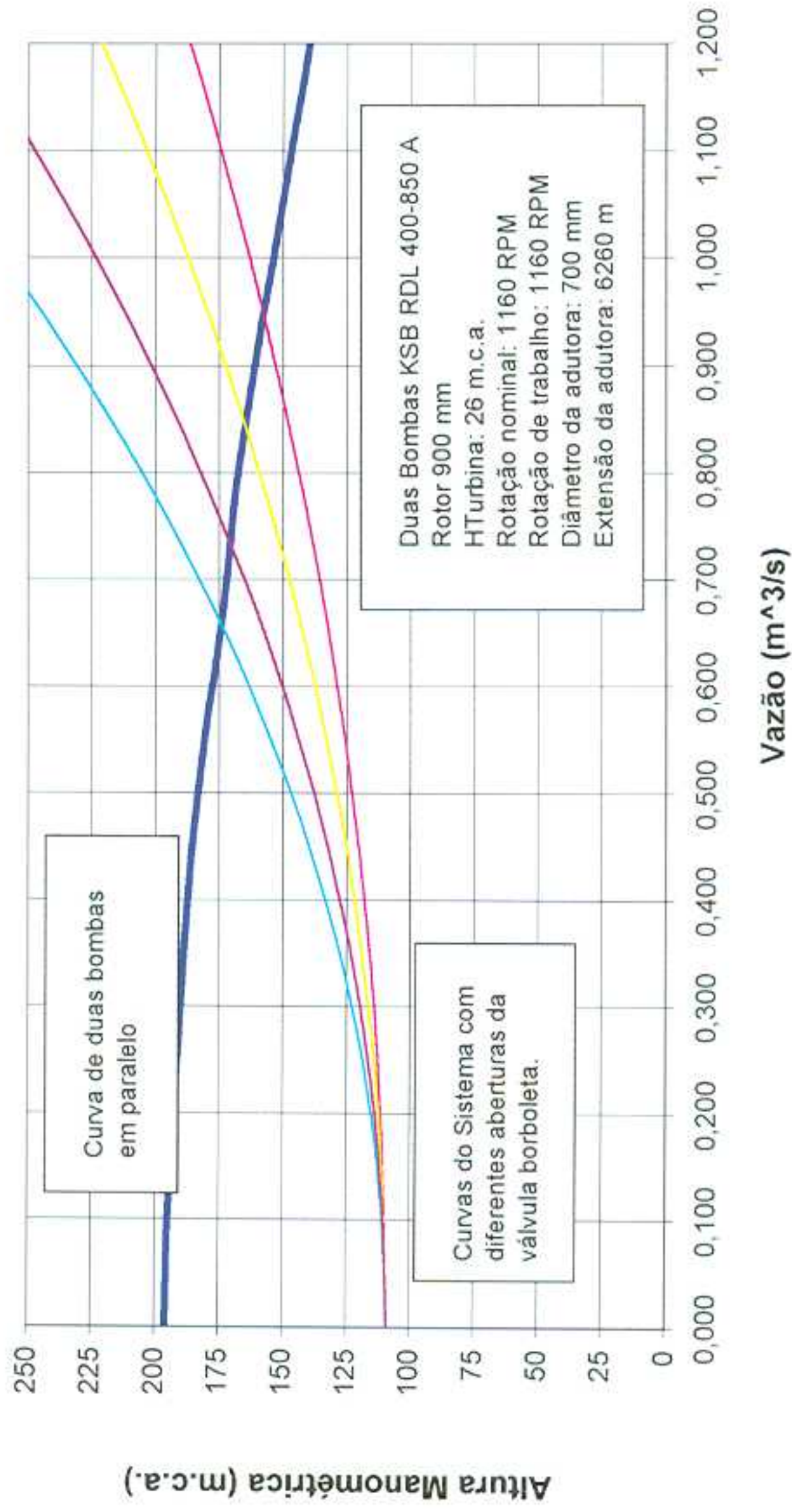
Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação



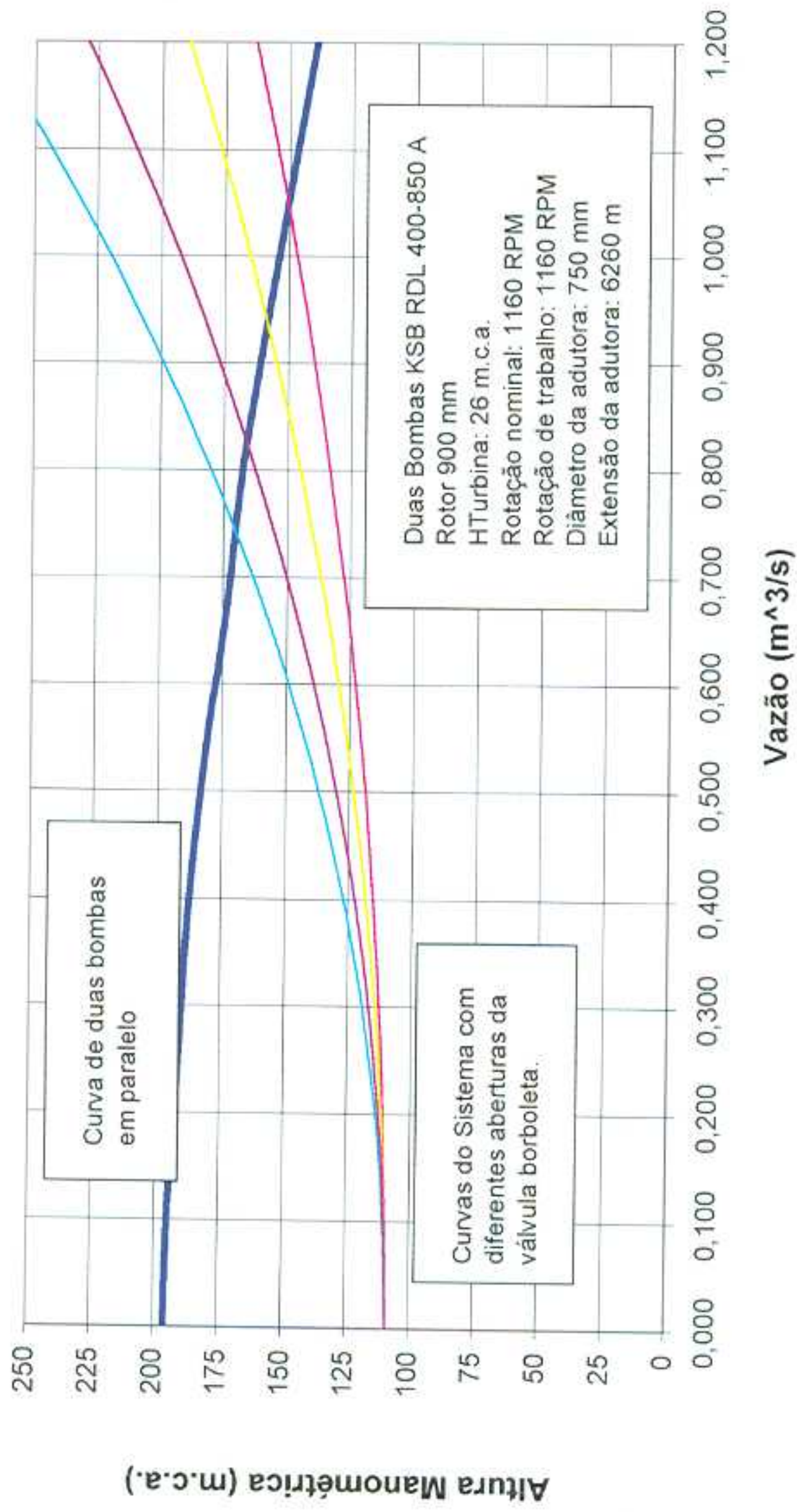
Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação



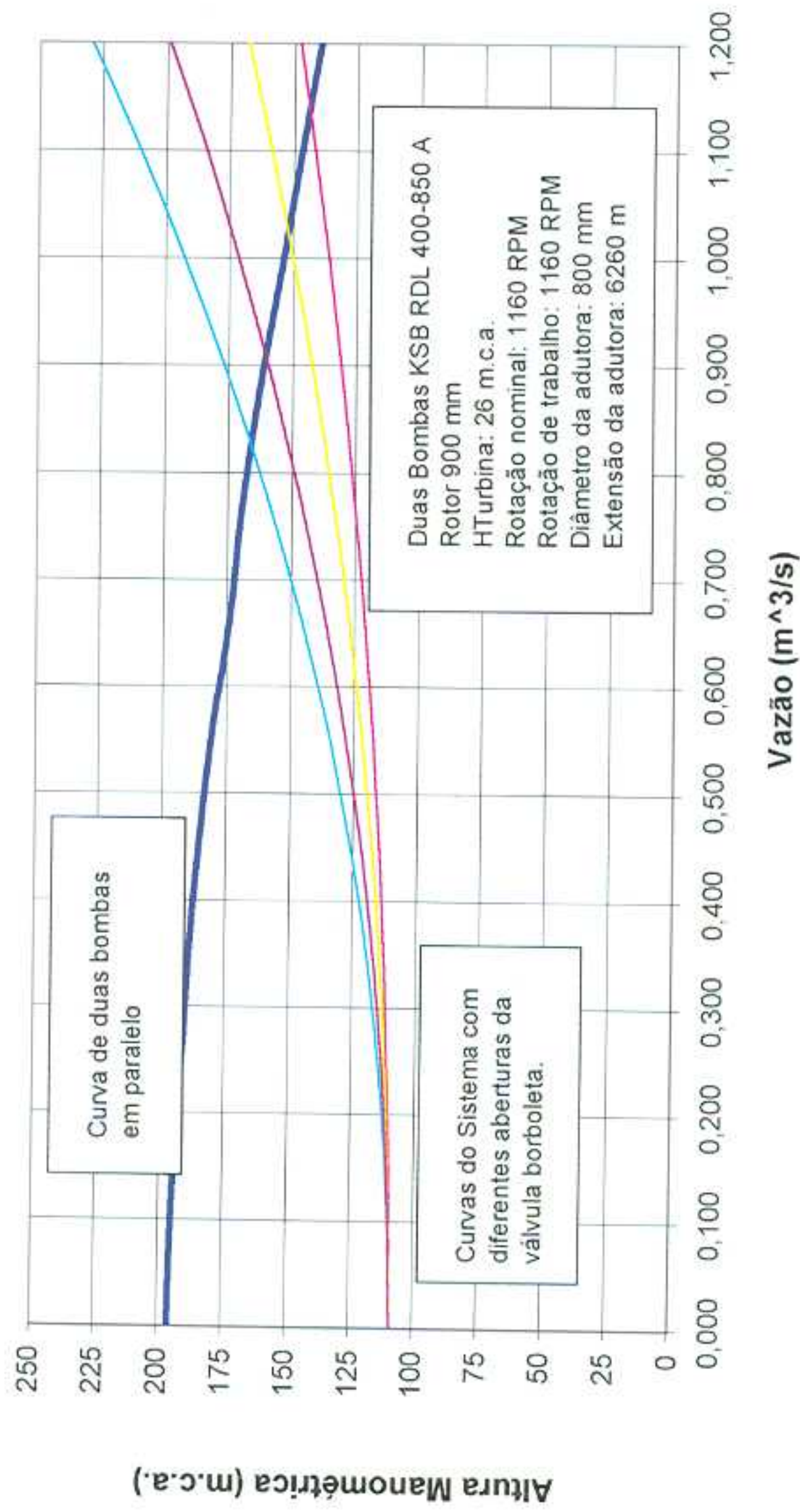
Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação



Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação



Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação





6.3. Traçado Adutor

6.4. Simulação de Operação, Taxa de Ociosidade e Justificativa Econômica

Dados Recentes de Descarga Registrados Utilizados para a Simulação de Operação:

Data (Mês/Ano)	Vazão (l/s)
Jun/96	1000
Jul/96	5000
Ago/96	7000
Set/96	9000
Out/96	11000
Nov/96	14000
Dez/96	13000
Jan/97	9000
Fev/97	4000
Mar/97	1000
Abr/97	1000
Mai/97	3000
Jun/97	5000
Jul/97	7000
Ago/97	9000
Set/97	11000
Out/97	12000
Nov/97	12000
Dez/97	9000
Jan/98	7000
Fev/98	5000
Mar/98	5000
Abr/98	7000
Mai/98	9000
Jun/98	9000
Jul/98	14000
Ago/98	16000
Set/98	17000
Out/98	17000
Nov/98	16000
Dez/98	12000
Jan/99	10000
Fev/99	7000
Mar/99	2000
Abr/99	2000
Mai/99	500
Jun/99	5000
Jul/99	13000
Ago/99	19000
Set/99	21000
Out/99	16000
Nov/99	15000
Dez/99	13000
Jan/00	5000
Fev/00	4000
Mar/00	2000
Abr/00	1000
Mai/00	1000
Jun/00	1000
Jul/00	9000
Ago/00	9000
Set/00	12000

6.4.1. Simulação de Operação

Na figura IV-A, são demonstradas as vazões liberadas na coluna esquerda e os pontos de operação das bombas na coluna direita, com dados dos últimos anos, que podem ser considerados anos com baixos índices pluviométricos registrados na quadra chuvosa. Pode-se tomar então como uma condição de operação em condições críticas.

Os dados considerados em relação às bombas(vazões) são relativos aos já calculados anteriormente.

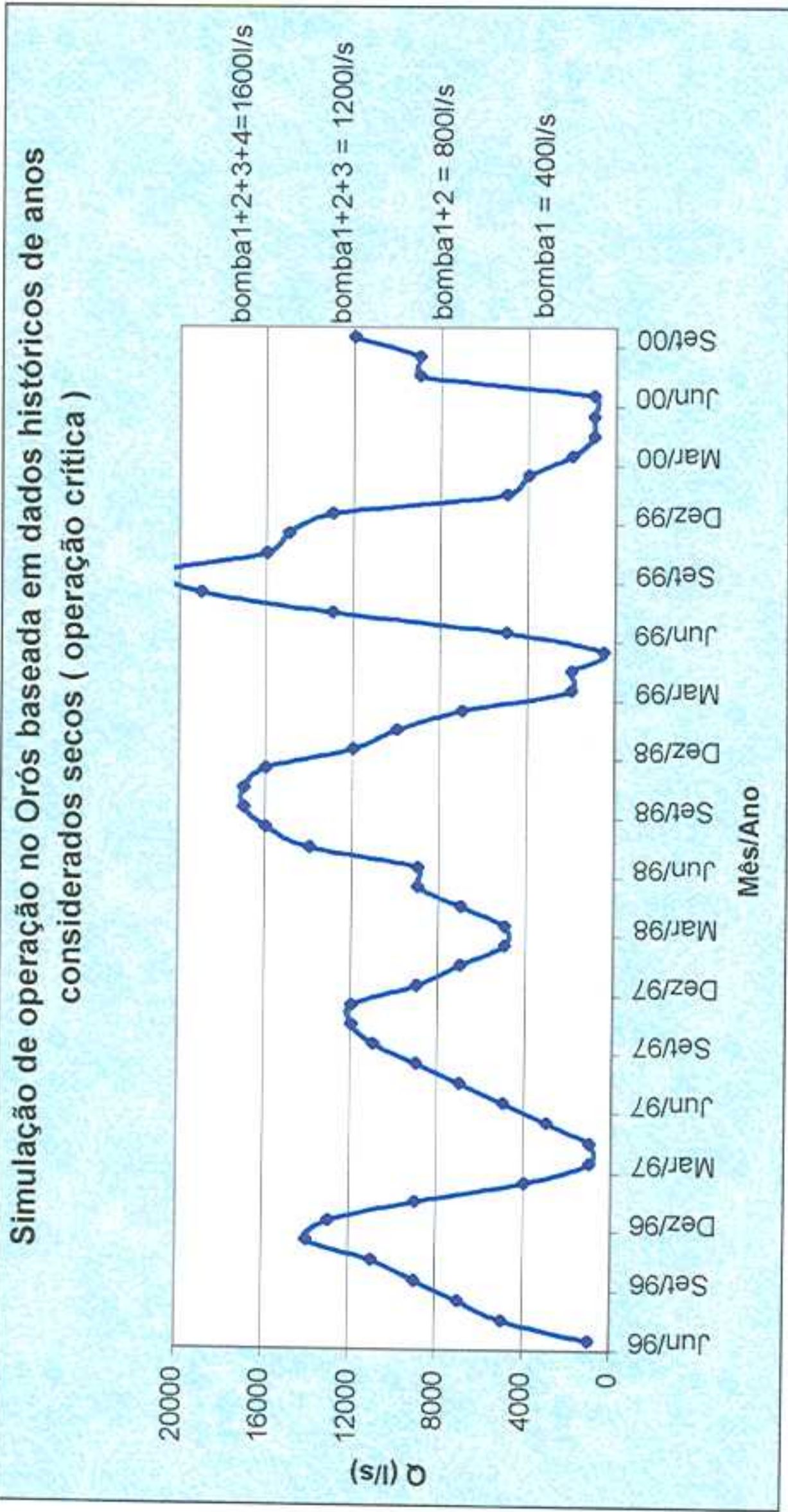


Figura IV - A – Simulação de Operação

6.4.2. Taxa de Ociosidade

As taxas de ociosidade registradas foram, para o caso das vazões liberadas de Junho de 96 a Setembro de 2000:

Tabela IV-A

Taxa de ociosidade da bomba 1 =	13,5%
Taxa de ociosidade da bomba 2 =	36,5%
Taxa de ociosidade da bomba 3 =	63,5%
Taxa de ociosidade da bomba 4 =	80,8%

As taxas para as bombas 3 e 4 podem ser consideradas altas, mas justifica a sua instalação o fato de que não se tem nenhum sistema de bombeamento reserva. A bomba 4, para esta situação crítica ou de baixo rendimento seria utilizada como bomba reserva das outras em 80,8% do período.

Cabe ressaltar que as bombas 1 e 2 teriam taxas de ociosidade bem próximas a zero com alguns ajustes na operação do açude. Teria de ser pesquisada a possibilidade de tornar a demanda à jusante do açude o mais regular possível, otimizando o sistema como um todo e evitando desperdícios de capacidade instalada de bombeamento.

6.4.3. Justificativa Econômica da Utilização de Turbo-Bombas

Potência instalada com Turbo Bombas: $1147 \times 4 = 4588$ c.v. *

*(Distribuída em 4 conjuntos iguais com potência nominal de 1147 c.v. em nível normal de operação, acima da cota 191,0m)

. Consumo de energia elétrica poupada: 1.282.300 Kwh/mês

Com:

- regime diário de bombeamento igual à 18 horas / dia
- 3 turnos de 6 horas
- utilização média de 70% da potência total



. Valor Utilizado para o Kwh: R\$0,14 / Kwh

. Valor mensal Poupado: R\$ 179.520,00

. Valor Estimado para 4 conjuntos de Turbo Bombas: R\$ 1.250.000,00

. Tempo de Retorno previsto do Capital investido: ~ 6,96 meses

Obs. : O tempo de Retorno ainda é mais reduzido no caso de se abater do montante investido nas Turbo Bombas o valor que seria pago na aquisição de Moto Bombas convencionais.

6.5. Cadernetas do Levantamento Topográfico