



**Encontro Técnico
AESABESP**

29º Congresso Nacional
de Saneamento e
Meio Ambiente



FENASAN

parceiro **IFAT**

2018

9479 - MANUTENÇÃO PREVENTIVA COM BASE EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Fabiano Silva Barbosa

Engenheiro Mecânico, pós-graduação em Automação Industrial e em Gestão de Energia, 23 anos na área de Saneamento, sendo 17 anos na manutenção de ETAs na Sabesp e 6 anos como Gerente de Manutenção no Aquapolo Ambiental.

Vitor Hugo de Souza

Engenheiro de Produção, atua há 20 anos no ramo de saneamento com foco na área de Manutenção Mecânica. Durante 15 anos foi integrante da manutenção mecânica da SABESP, onde consolidou a autoria de uma patente no processo de Decantação Secundário na ETE Parque Novo Mundo. Atualmente supervisiona a área de Manutenção Mecânica do Aquapolo Ambiental.

Endereço: Avenida Almirante Delamare, número 3000 -Área 1- Cidade Nova Heliópolis. - São Paulo – SP
- CEP: 04230- Brasil- Tel.: +55 (11) 2065-4356 - e-mail: fsbarbosa@aquapolo.com.br

RESUMO

A empresa Aquapolo Ambiental S/A é responsável pelo fornecimento de água industrial para o polo petroquímico do ABC, utilizando o efluente final da estação de tratamento de esgoto (ETE ABC da Sabesp) como matéria prima realiza-se o tratamento através de ultra filtração e osmose reversa até chegar nos parâmetros de qualidade da água exigidos para o polo petroquímico de Mauá.

Através de uma adutora em aço carbono, diâmetro nominal 900 mm, com extensão de 17 km, todo o fluído é bombeado até chegar na torre de equilíbrio para ser distribuído para os clientes do polo. Esse bombeamento é realizado pela Estação Elevatória de Alta Carga que contém 3 bombas de 900 CV montadas horizontalmente com inversores de frequência.

Com base em monitoramento termodinâmico (temperatura e pressão) e de consumo de energia das bombas, foi possível acompanhar o rendimento hidráulico de cada bomba e seu consumo energético, com suas associações caso a elevatória opere com outras configurações.

No caso em questão, apresentaremos o monitoramento e curva de performance hidráulica da bomba antes e após a revisão, bem como os detalhes da reforma com aplicação de revestimento de alta performance.

PALAVRAS-CHAVE: eficiência, energética, confiabilidade.



INTRODUÇÃO

O Aquapolo é uma das maiores plantas de reuso do planeta. O processo começa desviando esgoto da ETE ABC por meio de bombas de baixa carga e transforma em água de reuso para ser transportada por uma adutora de 17 km até chegar na torre de equilíbrio para ser distribuída para o cliente final, conforme Figura 1. Essa distribuição é realizada pela Estação Elevatória de Alta Carga que contém 3 bombas montadas horizontalmente com vazão máxima de 1350 metros cúbicos por hora e 137,6 MCA cada uma.

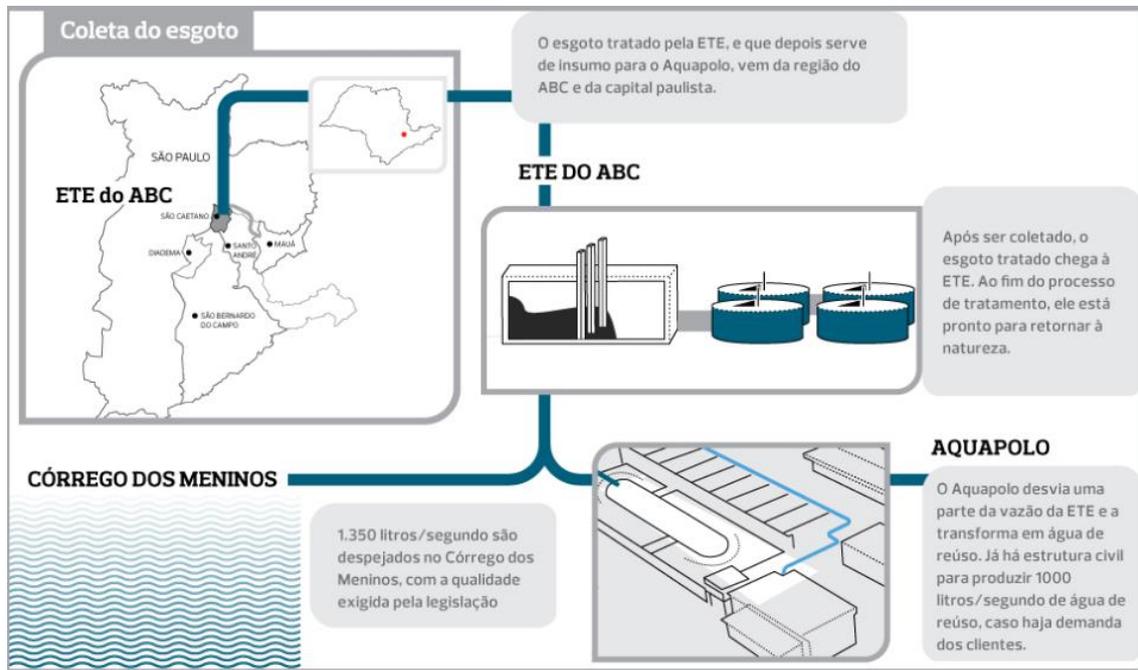


Figura 1: Processo Aquapolo – Coleta do Esgoto

OBJETIVO

Este relatório tem como objetivo apresentar os testes de desempenho realizados nas bombas A, B e C.

As bombas foram produzidas pela Sulzer e instaladas em 2012. São acionadas por motores elétricos que possuem equipamentos capazes de variar sua velocidade e têm por função fornecer água tratada para torre de equilíbrio.

A disposição dos motores e da bomba é apresentada na Figura 2 abaixo, além disso é possível verificar nas Figuras 3, 4, 5 e 6 o set up do equipamento de medição.



Figura 2 – Disposição das bombas A, B, C na Estação Elevatória de Alta Carga



Figura 3 – Sujeição dos sensores

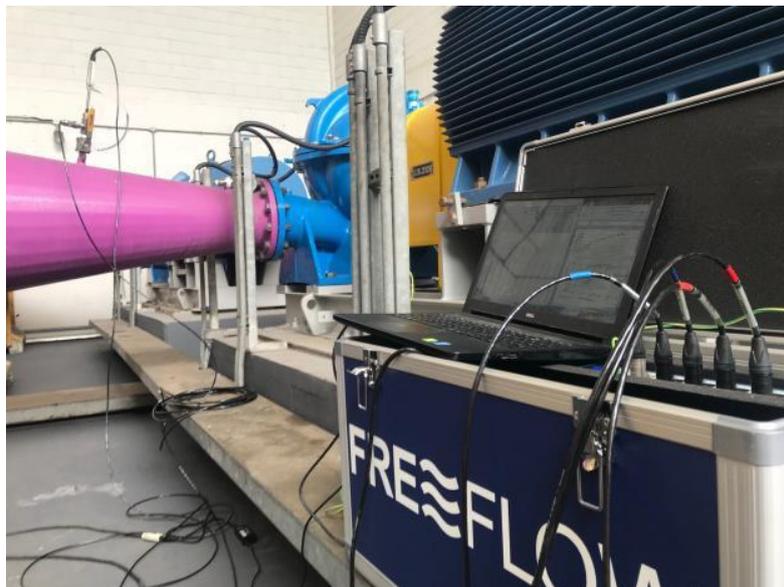


Figura 4 – Parametrização para início dos testes



Figura 5 – Conjunto motobomba e sensores instalados na sucção e recalque



Figura 6 – Profissionais a frente e tubulação de recalque ao fundo

PARÂMETROS DOS CONJUNTOS

A Figura 7 apresenta os parâmetros nominais coletados da placa de identificação dos conjuntos moto-bomba A, B e C.



BOMBA	A	B	C
Fabricante	SULZER	SULZER	SULZER
Modelo	SMN/SMH 253-640	SMN/SMH 253-640	SMN/SMH 253-640
Altura Manométrica [m]	128	128	128
Taxa de Vazão [l/s]	375	375	375
Velocidade Nominal [rpm]	-	-	-
Número de Série	550422-002-01	154093B	550422-002-03
Ano de Fabricação	2012	2012	2012

MOTOR	A	B	C
Fabricante	WEG	WEG	WEG
Modelo	Indução	Indução	Indução
Dimensão da carcaça	1012428612	1012428612	1012428612
Potência Nominal [kW]	660	660	660
Frequência [Hz]	60	60	60
Velocidade Nominal [rpm]	1788	1788	1788

Figura 7 – Informações dos conjuntos moto-bomba

TESTE DAS BOMBAS

METODOLOGIA

A metodologia usada nos estudos das bombas foi o Método de Testes Termodinâmico (conforme ISO 5198), usando a tecnologia, onde foi mensurado:

- A temperatura de sucção por meio da inserção da sonda no tap na tubulação de sucção da bomba;
- A pressão de sucção através de um sensor na tubulação de sucção da bomba;
- As temperaturas de descarga (recalque) na própria tubulação de descarga;
- A pressão de descarga (recalque) na tubulação de recalque da bomba;
- A potência de entrada do motor elétrico através de um medidor de potência de 660V no circuito primário.

A partir disso, foi calculado:

- Altura manométrica da bomba;
- Eficiência hidráulica (ou eficiência da bomba);
- Taxa de vazão volumétrica.

Todos os sensores usados nas medições são calibrados para os padrões de transferência descritos na ISO 17025.

PROCEDIMENTOS DO TESTE

O equipamento de teste foi configurado individualmente em cada bomba e a operação foi alterada usando inversor de frequência (equipamento de velocidade variável) para ser capaz de construir as características



completas de desempenho para cada uma delas. Durante os testes, cada bomba foi testada simulando sua condição de trabalho.

DADOS DO TESTE DO FABRICANTE

As curvas do rendimento original das bombas foram obtidas em catálogos do fabricante. Enquanto uma estimativa para a nova condição foi encontrada via tecnologia que permite obter por meio da metodologia descrita acima a curva de acordo com o modelo da bomba em estudo, neste caso SMN/SMH 253-640.

RESULTADOS DOS TESTES HIDRÁULICOS

A Figura 8 abaixo mostra os dados de cada parâmetro de funcionamento da bomba obtidos durante o momento do teste, tais como, altura, vazão, potência e a estimativa do fabricante de acordo com o modelo em estudo. A Figura 9 apresenta as curvas detalhadas.

Bomba A

Altura Estática de Sucção (m)	Altura Estática de Descarga (m)	Altura Manométrica (m)	Potência Elétrica (kW)	Eficiência do Motor e do Acionamento (%)	Velocidade Angular (rpm)	Eficiência da Bomba (%)	Taxa de Vazão (l/s)
5,18	108,01	103,20	551,0	95,2	1699	79,0	410,6
5,20	105,82	101,00	443,0	95,0	1609	82,2	350,3
5,27	104,15	99,20	379,0	94,7	1550	81,1	300,3
5,35	102,23	97,20	314,0	94,2	1490	80,7	251,4

Bomba B

Altura Estática de Sucção (m)	Altura Estática de Descarga (m)	Altura Manométrica (m)	Potência Elétrica (kW)	Eficiência do Motor e do Acionamento (%)	Velocidade Angular (rpm)	Eficiência da Bomba (%)	Taxa de Vazão (l/s)
5,41	110,38	105,40	646,0	95,2	1788	74,3	443,7
5,48	108,93	103,80	533,0	95,1	1699	75,5	377,3
5,58	104,96	99,70	356,0	94,6	1550	77,5	267,9
5,64	102,91	97,60	283,0	93,8	1490	74,1	206,3

Bomba C

Altura Estática de Sucção (m)	Altura Estática de Descarga (m)	Altura Manométrica (m)	Potência Elétrica (kW)	Eficiência do Motor e do Acionamento (%)	Velocidade Angular (rpm)	Eficiência da Bomba (%)	Taxa de Vazão (l/s)
5,59	105,34	100,10	371,0	94,7	1550	78,8	283,0
5,56	106,71	101,50	440,0	95,0	1609	77,3	325,9
5,63	103,76	98,40	299,0	94,0	1490	77,3	225,7
5,59	106,93	101,60	277,0	93,8	1490	75,1	196,3

Figura 8 – Parâmetros das bombas

COMENTÁRIOS DOS RESULTADOS DOS TESTES ANTES DA REFORMA

As bombas A, B e C estão atuando eficientemente e em faixas diferentes de rendimento devido aos desgastes causados pela operação dos equipamentos.

Entre as bombas, a A e a C tem rendimento muito similar, enquanto a B está apresentando sinais de desgaste.

Ao operar em velocidades diferentes, as bombas têm um amplo limite de operação, onde a eficiência está entre 74% - 82%. A bomba que apresenta menor desempenho é a B.

Já havia uma programação de parada para reforma da bomba B devido ao histórico de reparo das bombas, o teste permitiu confirmar essa necessidade e tratará dos resultados após reforma a seguir.

4.5 ANÁLISE DO SISTEMA

As características do sistema foram facilmente obtidas através do uso do inversor. A Figura 9 a seguir traz os dados usados para construção da curva do sistema.



Bomba A		Bomba B		Bomba C	
Taxa de Vazão (l/s)	Altura da Bomba (m)	Taxa de Vazão (l/s)	Altura da Bomba (m)	Taxa de Vazão (l/s)	Altura da Bomba (m)
410,6	103,20	443,7	105,40	283,0	100,10
350,3	101,00	377,3	103,80	325,9	101,50
300,3	99,20	267,9	99,70	225,7	98,40
251,4	97,20	206,3	97,60	196,3	101,60

Figura 9 – Dados para Construção das Características do Sistema

Os dados são mostrados graficamente na Figura 10. Nela, pode ser visto que há uma aparente diferença na altura dependendo de qual bomba é usada. As bombas B e C operaram na em altura muito similares com a mesma vazão ao longo dos testes e a Bomba A na menor altura.

- Diferentes condições nos principais pontos de ajuste (isto é, linha de ramal ou válvula de controle do reservatório);
- Diferentes perdas por atrito dentro da Estação para cada bomba (por exemplo, válvula de não retorno com defeito, válvula parcialmente fechada).

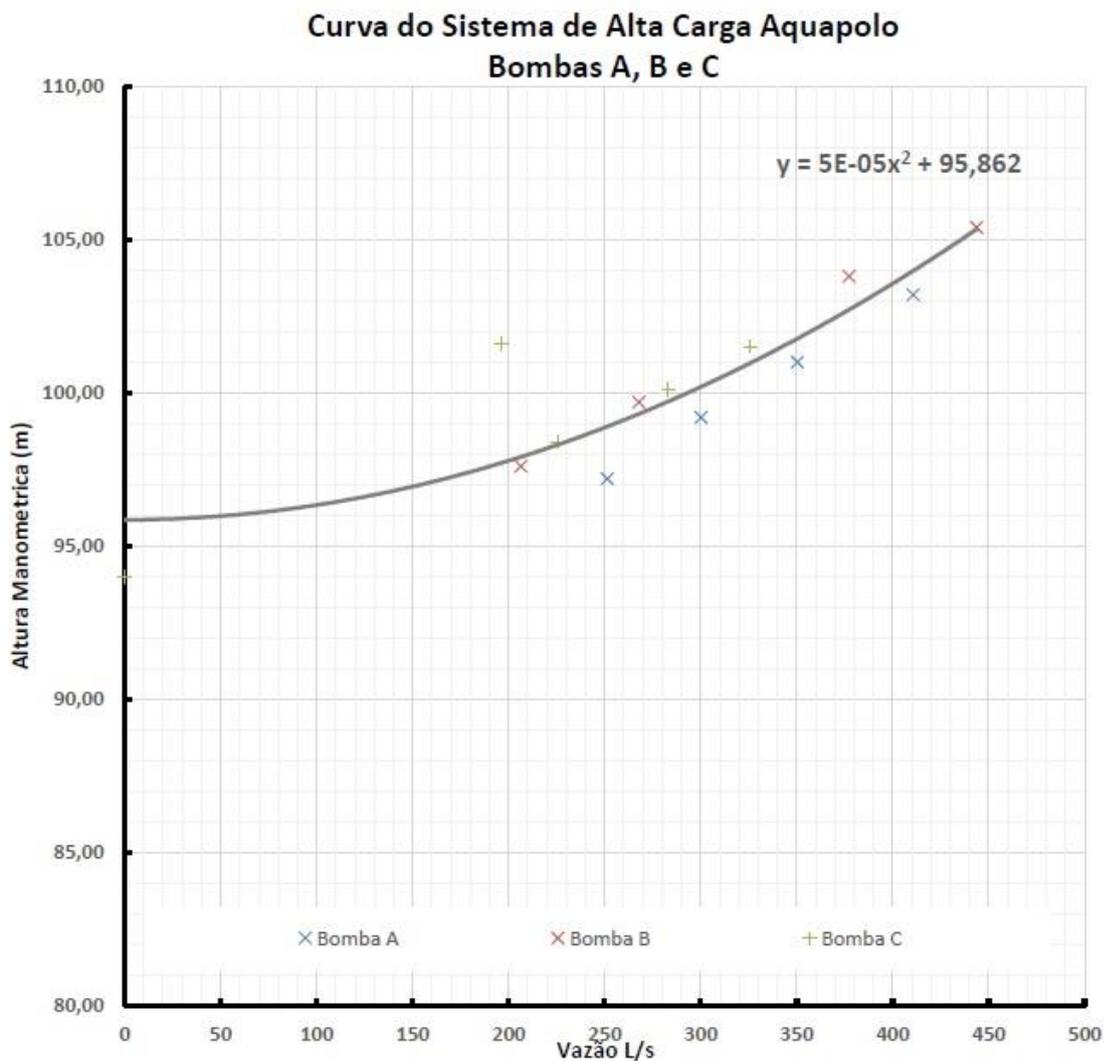


Figura 10 – Curva Característica do Sistema da Estação Elevatória Bombas A, B e C



Encontro Técnico
AESABESP

29º Congresso Nacional
de Saneamento e
Meio Ambiente



FENASAN

parceiro **IFAT**

2018

ANÁLISE DA ECONOMIA DE CUSTOS

ANÁLISE DA REFORMA

Como já mencionado havia uma suposição de reforma da bomba B, o teste permitiu confirmar essa necessidade evidenciando que o conjunto B tinha o menor rendimento. Com isso a equipe de manutenção do Aquapolo realizou a reforma utilizando produtos e componentes capazes de aumentar o rendimento deste conjunto. Para confirmação do ganho foi solicitado o teste após a reforma. Com isso toda a análise de ganhos é baseada pela reforma da bomba B. A Figura 11 abaixo permite verificar o ganho com reforma graficamente.

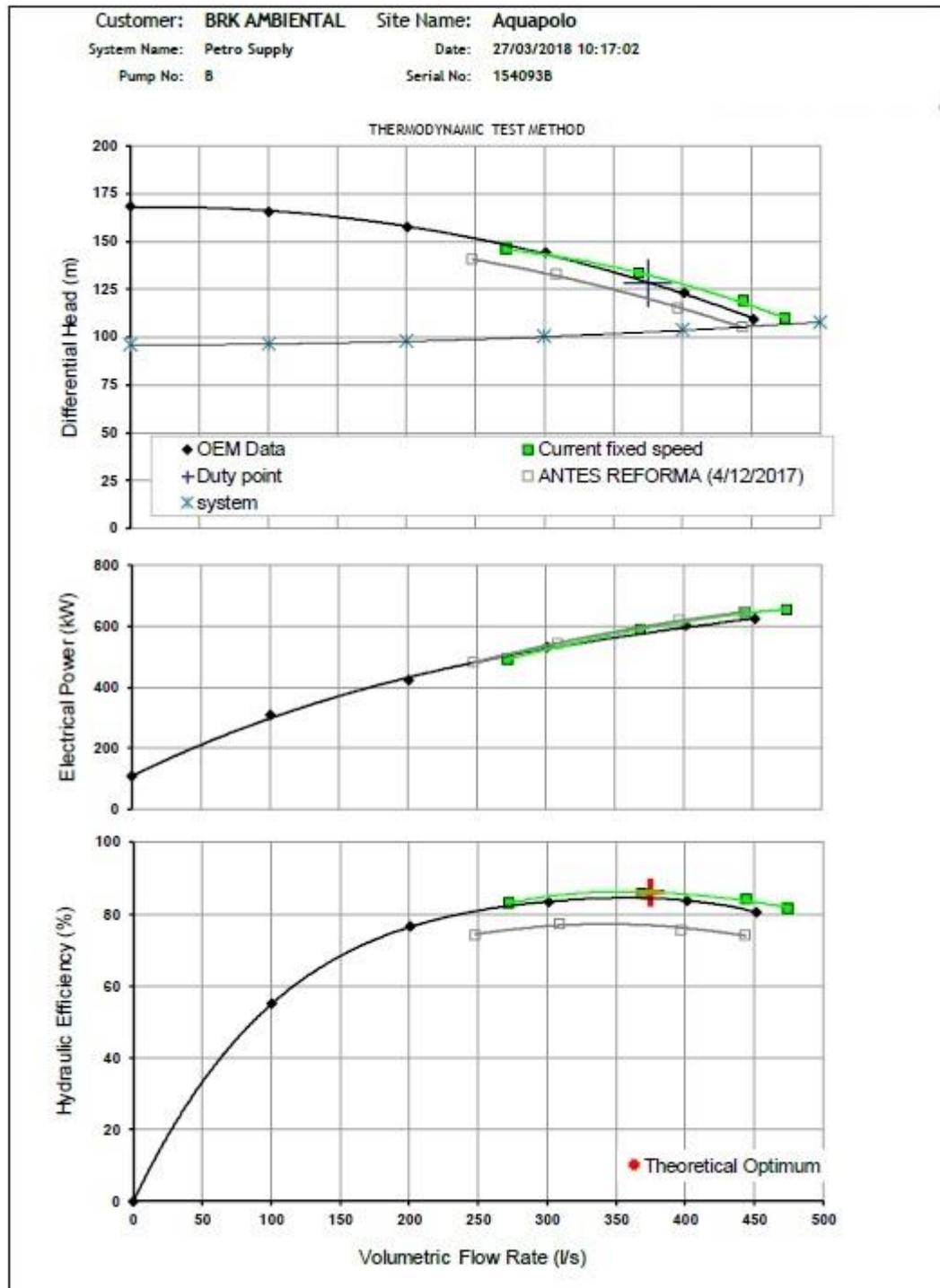


Figura 11 – Comparativo de Performance antes e depois da Reforma da Bomba B

SUPOSIÇÕES PARA O CÁLCULO DO CUSTO ANUAL

As suposições para o cálculo do custo anual das bombas são as seguintes:

- O fluxo total médio de 387 l/s, para todo ano.
- A tarifa de energia é assumida como 0,45 R\$/kWh.



- A curva característica medida do sistema durante o dia do teste é representativa para todas as condições.

Supõe-se que o comportamento das bombas seja tal que:

- O processo de tratamento nunca é completamente desligado;
- O fluxo instantâneo de vazão exigido é sempre atendido através da alteração da velocidade por meio do inversor em cada bomba;
- Bombas e conjunto de bombeamento são combinadas igualmente para gerar desgaste uniforme nas bombas (fator de carga 33,3).

5.3 ESTIMATIVA ANUAL DE CUSTOS DAS BOMBAS

Com base nas suposições citadas acima, a expectativa anual de custos de energia com a bombas B e os ganhos após reforma nesta Estação Elevatória é apresentada na Figura 12.

Parâmetros	Bomba B antes da reforma	Bomba B depois da reforma	Melhoria	Unidade
Velocidade da Bomba	1.692	1.626	-66	rpm
Taxa de Vazão	387	387	0	l/s
Altura Manométrica	101,2	101,2	0	m
Eficiência da Bomba	75,1	85,3	10,2	%
Potência do Eixo da Bomba	511,9	450,0	-62	kW
Eficiência do Acionamento	95,0	95,0	0	%
Potência Elétrica de Entrada	538,8	473,7	-65	kW
Consumo Específico de Energia	0,39	0,34	-0,05	kWh/m ³
Fator de Carga	33,3	33,3	0	%
Volume Anual	4064075,9	4064075,9		m ³ /ano
Consumo de Energia Anual	1571805,0	1381852,8	-189.952	kWh/ano
Tarifa Média de Energia	0,45	0,45		R\$/kWh
Custo de Energia Anual	707312,3	621833,8	-85.479	R\$/ ano

Custo da Reforma com a medição	R\$ 40.000,00
Payback do investimento (meses)	5,62

Figura 12 – Estimativa Anual de Custos das Bombas B

Os dados da figura acima indicam uma redução do custo de energia em virtude da reforma da bomba no valor de R\$ 85.479,00 anuais, logo o retorno do investimento para reforma se deu em 5,6 meses.

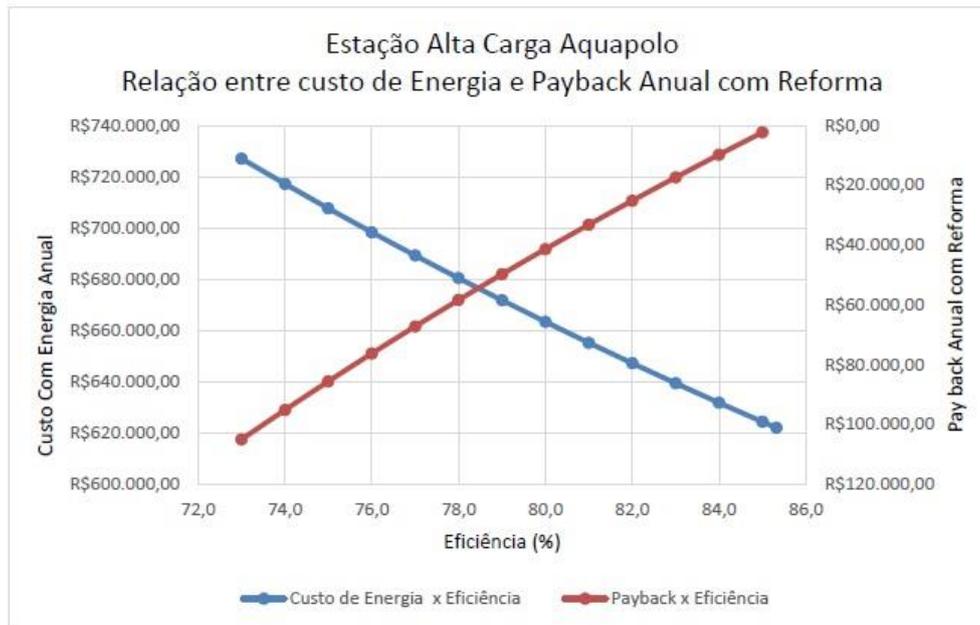


Figura 13 – Relação entre custo de Energia e Payback Anual com Reforma

A figura acima indica o consumo anual de energia para diferentes rendimentos com a bomba operando com o fator de carga em 33,3, isso quer dizer 33% do tempo já que há um escalonamento entre as bombas para evitar o desgaste. Concomitantemente é apresentado o payback anual com a reforma para diferentes rendimentos.

É conhecido que o investimento para reforma e medição do rendimento do conjunto foi de R\$ 40.000,00 isso demonstra que as bombas com 80% de rendimento quando reformadas terão um payback de um ano assumindo as condições do item 5.2 deste relatório e ganho de rendimento em eficiência de 85,3%.

ANÁLISE DA REFORMA

Como comentado anteriormente (Dados de Teste do Fabricante), o desempenho da bomba B estava abaixo do esperado. Após a reforma está excedendo as expectativas típicas de eficiência estimadas pelo fabricante. Para bombear 387 L/s após reforma e com aumento do rendimento o conjunto opera em velocidades mais baixas e conseqüentemente consumindo menos energia. A resposta do sistema para isso é a redução de 0,05 kWh/m³ que conseqüentemente apresenta uma redução de R\$ 85.479,00 anuais.

CONCLUSÕES

A bomba B está operando com excelente desempenho, igualando ou até mesmo excedendo as expectativas típicas de seu fabricante.

A possibilidades de ganhos com reforma nas bombas A e C sendo necessário verificar o retorno do investimento necessário para tomada de decisão.

Recomenda-se o monitoramento do rendimento dos conjuntos em tempo real visto que há previsão para aumento da vazão com bombas operando em paralelo. O monitoramento do rendimento em tempo real permitirá a operação em menor custo energético possível independente da vazão, bem como o acompanhamento do desgaste do conjunto ao longo do tempo pela equipe de manutenção.

APÊNDICE: DADOS E CURVAS DE RENDIMENTO DA BOMBAS

As curvas das bombas A, B e C são apresentadas a seguir nas Figuras 14 a 18. Elas mostram os dados de teste realizados em campo e compara os resultados obtidos com as curvas típicas do fabricante.



PUMP PERFORMANCE TEST CERTIFICATE				
THERMODYNAMIC TEST PROCEDURE				
1. Site Information				
Customer:	BRK ambiental	File Name:	20171204_1106	
Site Name:	Aquapolo	System Name:	PetroSupply	
Pump No:	C	Date:	12/04/2017	
Tested By:	NB	Witnessed by:		
2. Pump Details				
Manufacturer:	SULZER	Duty Head:	128,01	m
Type:	SMN/SMH 253-640	Duty Flow Rate:	375	l/s
Serial No:	164.003C	Test Speed:		rpm
3. Motor Details				
Manufacturer:	WEG	Rated Power:	660	kW
Frame Size:	400C	Speed:	1788	rpm
Serial No:	1012390184	Voltage:	690	V
4. FREEFLOW Pump Test Data				
Point	Differential Head (m)	Electrical Power (kW)	Hydraulic Efficiency (%)	Flow Rate (l/s)
1	133,2	560,0	78,8	326,5
2	125,3	595,6	77,3	362,2
3	141,7	504,3	77,3	270,8
4	146,3	466,2	75,1	235,6
5				
6				
7				
8				
5. OEM Pump Type / Test Data				
Point	Differential Head (m)	Electrical Power (kW)	Hydraulic Efficiency (%)	Flow Rate (l/s)
1	168,5	105,2	0,0	0,0
2	165,5	307,8	55,0	100,4
3	157,4	421,0	76,5	200,9
4	144,3	530,3	83,5	301,3
5	123,1	601,1	83,8	401,8
6	109,0	623,2	80,5	452,0
7				
8				
6. Condition Monitoring Results			7. Test Conditions	
DRIVE END VIBRATION (mm/s)	HORIZONTAL	D.E. AVRG (mm/s)	D.E. BEARING TEMP (°C)	TEST MEDIUM: Water
	VERTICAL			AIR TEMPERATURE: 0 °C
	AXIAL			RELATIVE HUMIDITY: 0 %
NON DRIVE END VIBRATION (mm/s)	HORIZONTAL	D.E. AVRG (mm/s)	N.D.E BEARING TEMP (°C)	ATMOSPHERIC PRESSURE: 0 mbar
	VERTICAL			
	AXIAL			
Comments:				

Figura 14 – Certificado de Performance da Bomba C



PUMP PERFORMANCE TEST CERTIFICATE					
THERMODYNAMIC TEST PROCEDURE					
1. Site Information					
Customer:	BRK AMBIENTAL	File Name:	20180327_1017		
Site Name:	Aquapolo	System Name:	Petro Supply		
Pump No:	B	Date:	27/03/2018 10:17:02		
Tested By:	T Vendemlatti	Witnessed by:			
2. Pump Details					
Manufacturer:	SULZER	Duty Head:	128,01	m	
Type:	SMN/SMH 253-640	Duty Flow Rate:	375	l/s	
Serial No:	154093B	Test Speed:	-	rpm	
3. Motor Details					
Manufacturer:	WEG	Rated Power:	660	kW	
Frame Size:	400C	Speed:	1788	rpm	
Serial No:	1012428612	Voltage:	690	V	
4. FREEFLOW Pump Test Data					
Point	Differential Head (m)	Electrical Power (kW)	Hydraulic Efficiency (%)	Flow Rate (l/s)	
1	145,9	491,6	83,2	272,3	
2	133,2	588,9	85,8	368,6	
3	118,9	644,7	84,3	444,3	
4	109,5	655,4	81,6	474,6	
5					
6					
7					
8					
5. OEM Pump Type / Test Data					
Point	Differential Head (m)	Electrical Power (kW)	Hydraulic Efficiency (%)	Flow Rate (l/s)	
1	168,5	105,2	0,0	0,0	
2	165,5	307,8	55,0	100,4	
3	157,4	421,0	76,5	200,9	
4	144,3	530,3	83,5	301,3	
5	123,1	601,1	83,8	401,8	
6	109,0	623,2	80,5	452,0	
7					
8					
6. Condition Monitoring Results			7. Test Conditions		
DRIVE END VIBRATION (mm/s)	HORIZONTAL		D.E. AVR (mm/s)	D.E. BEARING TEMP (°C)	TEST MEDIUM: Water AIR TEMPERATURE: °C RELATIVE HUMIDITY: % ATMOSPHERIC PRESSURE: mbar
	VERTICAL				
	AXIAL				
NON DRIVE END VIBRATION (mm/s)	HORIZONTAL		D.E. AVR (mm/s)	N.D.E BEARING TEMP (°C)	
	VERTICAL				
	AXIAL				
Comments:					

Figura 15 – Certificado de Performance da Bomba B



PUMP PERFORMANCE TEST CERTIFICATE					
THERMODYNAMIC TEST PROCEDURE					
1. Site Information					
Customer:	BRK ambiental	File Name:	20171204_1638		
Site Name:	Aquapolo	System Name:	PetroSupply		
Pump No:	A	Date:	12/04/2017		
Tested By:	NB	Witnessed by:			
2. Pump Details					
Manufacturer:	SULZER	Duty Head:	128,01	m	
Type:	SMN/SMH 253-640	Duty Flow Rate:	375	l/s	
Serial No:	ILLEGIBLE	Test Speed:		rpm	
3. Motor Details					
Manufacturer:	WEG	Rated Power:	660	kW	
Frame Size:	400C	Speed:	1788	rpm	
Serial No:	1012327113	Voltage:	690	V	
4. FREEFLOW Pump Test Data					
Point	Differential Head (m)	Electrical Power (kW)	Hydraulic Efficiency (%)	Flow Rate (l/s)	
1	97,3	498,9	79,0	398,8	
2	106,2	471,3	82,2	359,2	
3	112,4	449,6	81,1	319,7	
4	119,2	417,1	80,7	278,4	
5					
6					
7					
8					
5. OEM Pump Type / Test Data					
Point	Differential Head (m)	Electrical Power (kW)	Hydraulic Efficiency (%)	Flow Rate (l/s)	
1	168,5	105,2	0,0	0,0	
2	165,5	307,8	55,0	100,4	
3	157,4	421,0	76,5	200,9	
4	144,3	530,3	83,5	301,3	
5	123,1	601,1	83,8	401,8	
6	109,0	623,2	80,5	452,0	
7					
8					
6. Condition Monitoring Results			7. Test Conditions		
DRIVE END VIBRATION (mm/s)	HORIZONTAL		D.E. AVR (mm/s)	D.E. BEARING TEMP (°C)	TEST MEDIUM: Water
	VERTICAL				AIR TEMPERATURE: 0 °C
	AXIAL				RELATIVE HUMIDITY: 0 %
NON DRIVE END VIBRATION (mm/s)	HORIZONTAL		D.E. AVR (mm/s)	N.D.E BEARING TEMP (°C)	ATMOSPHERIC PRESSURE: 0 mbar
	VERTICAL				
	AXIAL				
Comments:					

Figura 16 – Certificado de Performance da Bomba C

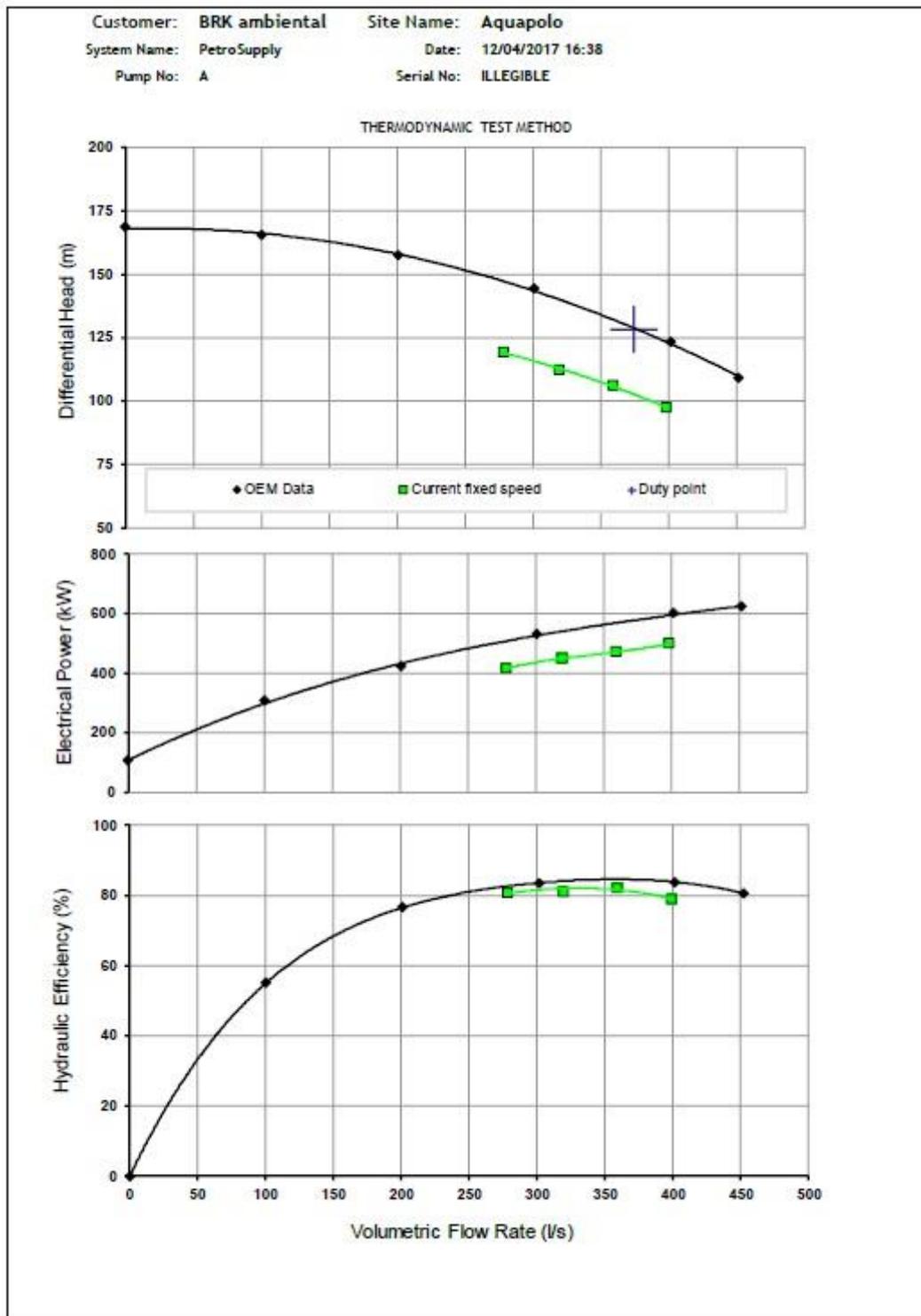


Figura 17 – Performance da Bomba A

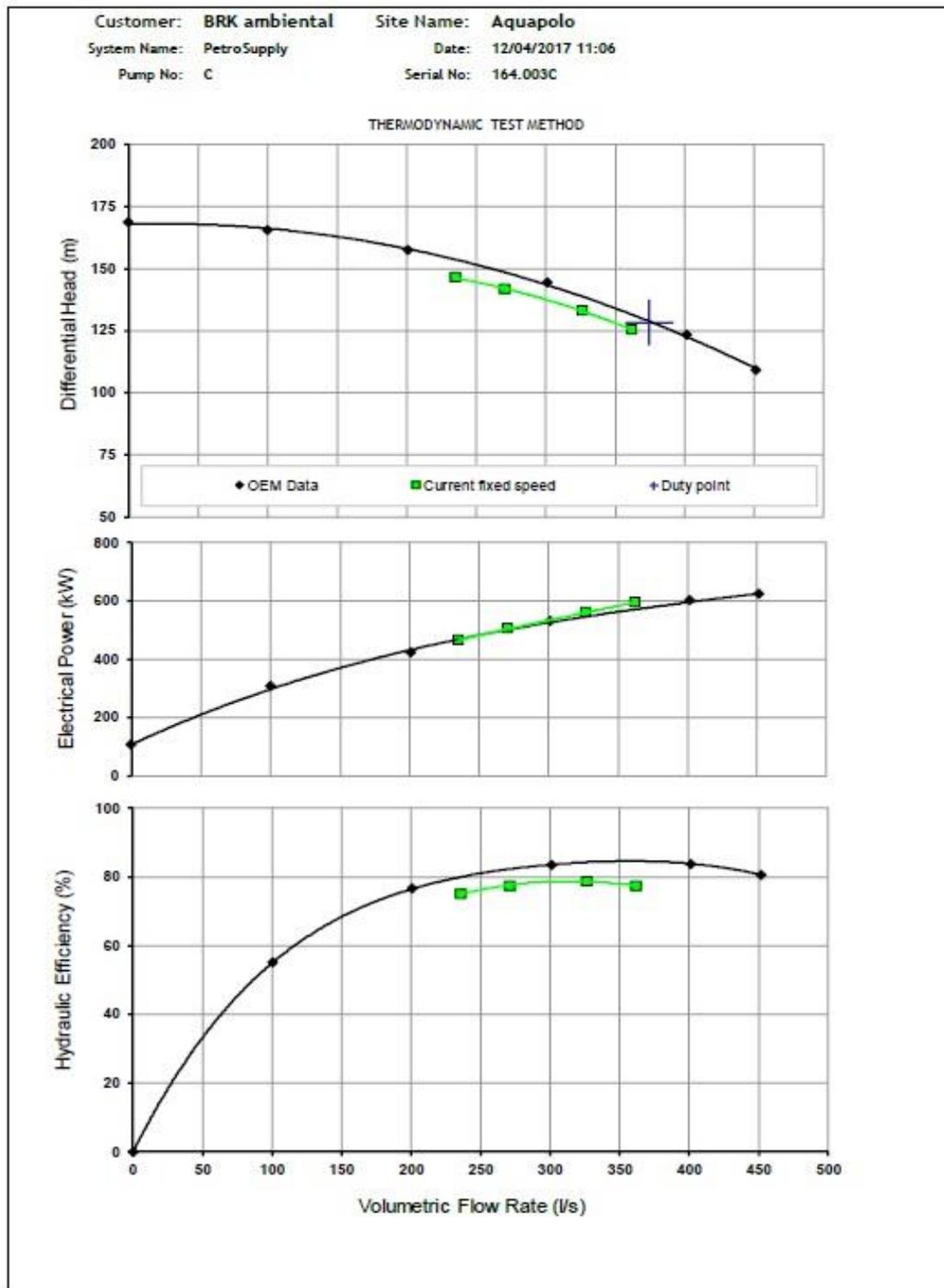


Figura 18 – Performance da Bomba C

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. RIVENTA- *Método de Testes Termodinâmico (conforme ISO 5198)- RELATÓRIO “ teste de rendimento de bombas” rev.1-23/04.*
2. SULZER – Curvas originais de bombas- Double-Suction Axially-Split Single-Stage Centrifugal Pump