



FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC
MBA- GESTÃO DA MANUTENÇÃO

ATHILA MACEDO ROSA

**APLICAÇÃO DA GESTÃO DE CUSTOS NO MONITORAMENTO DO
DESEMPENHO DE UM PROGRAMA PREDITIVO DE ANÁLISE DE VIBRAÇÃO
EM MOTOCOMPRESSORES DE GÁS NATURAL.**

Salvador

2016

APLICAÇÃO DA GESTÃO DE CUSTOS NO MONITORAMENTO DO DESEMPENHO DE UM PROGRAMA PREDITIVO DE ANÁLISE DE VIBRAÇÃO EM MOTOCOMPRESSORES DE GÁS NATURAL.

Athila Macedo Rosa¹

Ubatan Almeida Miranda²

RESUMO

As técnicas preditivas auxiliam na determinação do melhor momento para realização da intervenção no equipamento, maximizando o tempo de vida útil dos componentes e identificando desvios no comportamento do seu estado de funcionamentos evitando falhas e interrupção da produção. Contudo são empreendimentos que necessitam de investimentos em recursos humanos, financeiros em aquisição de ativos que oneram o processo de manutenção, tornando comum a resistência para implantação do mesmo. O propósito deste trabalho é demonstrar o emprego de ferramentas oriundas da gestão de custos para comprovar a viabilidade econômica de um programa de monitoramento de condição do equipamento com base em análise de vibração e seu respectivo desempenho. São aplicados os métodos e critérios de decisão na análise e avaliação de investimento de capital. Como resultados são determinados o ROI, VPL, TIR e PAYBACK. Ratifica-se que o financiamento da estratégia preditiva apresenta um custo de oportunidade com ganho superior a uma aplicação em fundo de investimento com base de rendimento na taxa SELIC e calcula-se o ponto de equilíbrio do número de análises, com os custos economizados por elas a fim de alcançar a meta estabelecida do programa. Através dos valores encontrados pelos métodos aplicados, atesta-se que os custos e esforços despendidos para o funcionamento do plano são gratificados pelo retorno e desempenho da aplicação preditiva de análise de vibração dentro de um prazo conveniente aos seus patrocinadores.

Palavras-Chaves: *Manutenção Preditiva. Análise de Vibração. Gestão de Custos. Motocompressores.*

¹ Engenheiro de Produção e aluno do Curso do MBA em Gestão da Manutenção, Faculdade SENAI CIMATEC, (2016). E-mail: atmrosa@hotmail.com

² Me.Eng. e professor assistente da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, E-mail: ubatan.miranda@fieb.org.br

ABSTRACT

The predictive techniques help determine the best time to perform the equipment intervention, maximizing the useful life of components and identifying deviations in your physical state behavior, avoiding failures and production downtime. However these are projects that need investment in human resources, financial and assets acquisition that become more expensive the maintenance process and bringing a common resistance to implement. The purpose of this study is to demonstrate the use of the cost management tools to prove the economic viability of an equipment condition monitoring program based on vibration analysis and your respective performance. The criteria decision methods are applied in the analysis and evaluation of capital investment. The results determined ROI, NPV, IRR and PAYBACK. It confirms that the financing of predictive strategy presents an opportunity cost with higher gain to an investment fund in accordance with yield based on the SELIC rate and calculate the balance of the number of analyzes, with the saved costs for them in order to achieve the set target program. Through the values found by the methods applied are certified that the costs and selfless efforts for the operation of the plan are gratified by the return and performance of predictive application of vibration analysis within a convenient time to their sponsors.

Keywords: Predictive Maintenance. Vibration Analysis. Costs Management. Compressors.

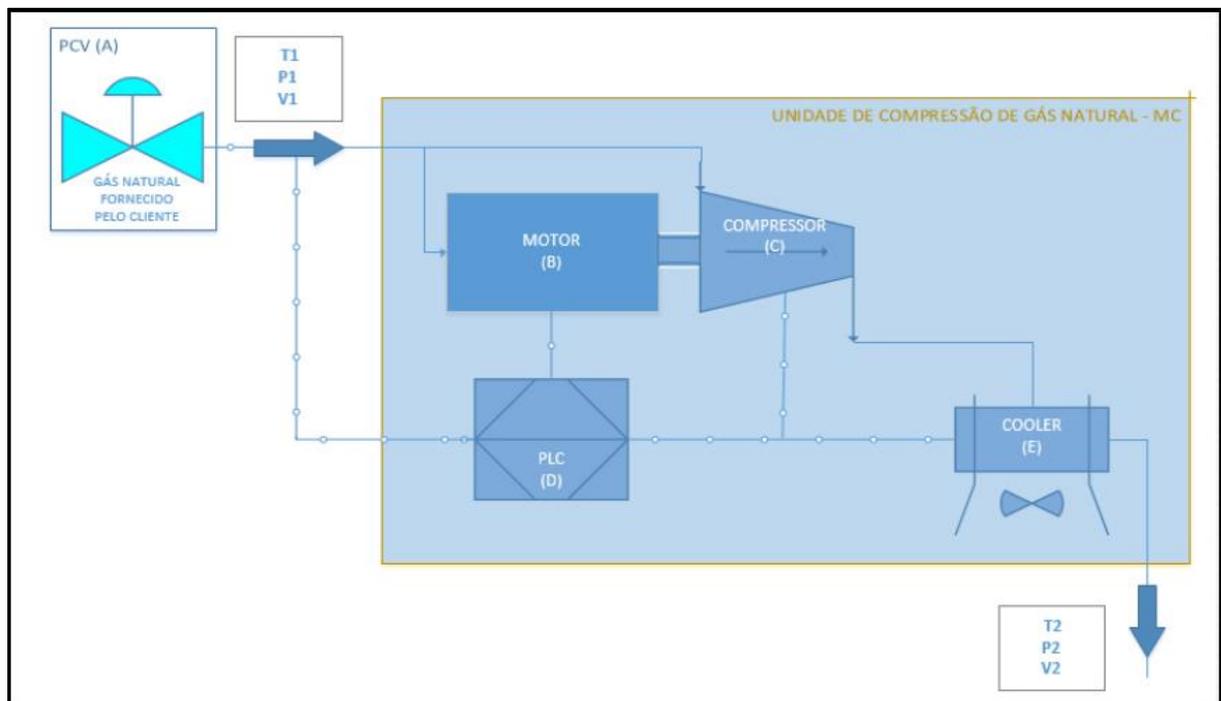
1. INTRODUÇÃO

As organizações visam cada vez mais que as atividades de manutenção migrem do comportamento reativo para o proativo, em que seja possível se evitar as urgências que remetem a custos mais altos devido às mobilizações da equipe, fornecedores, contratados e possíveis penalizações causadas pela interrupção da produção. Baseado nestes preceitos a gestão da manutenção vem empregando com maior frequência a utilização de técnicas preditivas com o objetivo de identificar o intervalo da curva P-F (ponto de falha) do comportamento de componentes de um equipamento que representa o período entre a falha em potencial e funcional dos mesmos que é realizado através do monitoramento da variação do comportamento de uma grandeza física como temperatura, som ou vibração que expressa uma correlação com o nível de degradação. Com o aprimoramento desta informação é possível alcançar o ponto ótimo da intervenção de um equipamento que é o resultado do maior intervalo contínuo de funcionamento do mesmo sem falhas. Entretanto todo programa preditivo necessita de uma estrutura para seu funcionamento composta pela aquisição de ferramentas, contratação ou formação de analistas e equipe dedicada para compilação dos dados, interpretação da informação e subsídio para tomada de decisão. Estes custos fixos e variáveis precisam ser revertidos através dos resultados obtidos a fim de demonstrar a viabilidade econômica do investimento e obter a aprovação e suporte da alta direção. Essas métricas e indicadores precisam ser expressivos e traduzir os efeitos benéficos do processo de manutenção para linguagem dos negócios. A utilização dos métodos e critérios de decisão na análise e avaliação de investimento de capital oriundos da gestão de custos suporta esta demanda com o emprego de ferramentas como o *ROI (Return On Investment)*, *VPL (Valor Presente Líquido)*, *TIR (Taxa Interna de Retorno)* *Payback* e a determinação do ponto de equilíbrio de inspeções a serem realizadas com a estimativa do custo médio salvo por cada intervenção, sustentam a continuidade do projeto e asseguram a vantagem competitiva de um programa que está alinhado com os objetivos estratégicos da empresa.

2. MOTOCOMPRESSOR

Denominação empregada para o equipamento majoritário do processo de compressão de gás natural, neste caso é composta de um motor de combustão interna que aciona em uma das extremidades de seu eixo um compressor alternativo duplo efeito de pistão que realiza o incremento de pressão do gás natural e na outra um resfriador com a função de adequar a temperatura da massa gasosa que será disponibilizada para o cliente. Possui um painel de controle, onde o operador realiza a partida e parada do equipamento, registra as leituras operacionais e determina a parametrização através dos alarmes de parada. A representação deste equipamento está na Figura 1.

Figura 1. Motocompressor



Fonte: Próprio Autor

3. MANUTENÇÃO PREDITIVA

Consiste na aplicação sistemática de técnicas de análise que objetivam reduzir a quantidade de manutenções preventivas de um equipamento. Para tal, meios de supervisão centralizados ou de amostragem são empregados, citam Kardec e Carvalho (2002), a manutenção preditiva é caracterizada por um conjunto de ações de monitoramento variáveis ou parâmetros que apontam o desempenho dos equipamentos de forma sistemática, a fim de definir a necessidade ou não de intervenção.

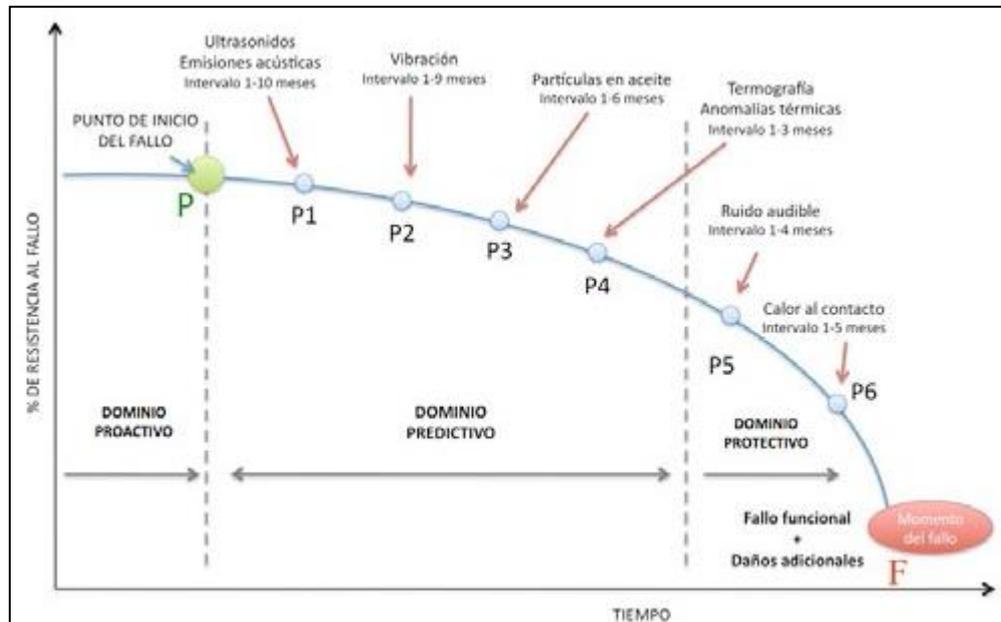
Kardec e Carvalho (2002), ainda, pressupõem que, quando feita a intervenção, definida pelo acompanhamento preditivo, realiza-se, na verdade, uma manutenção corretiva planejada, conhecida como *condition based maintenance - cbm* ou manutenção baseada na condição, isso permite que os equipamentos operem por mais tempo e as intervenções ocorram fundamentadas em dados e não em suposições.

Conforme a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas):

Manutenção Preditiva são as manutenções que permitem garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem para reduzir a um mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva (ABNT NBR 5462-1994).

De acordo com a tecnologia empregada no programa de preditiva, o ponto de identificação da falha “P” pode ser antecipado conforme a Fig.2. Consoante com Kardec e Nascif (2009 apud Baran (2011)). O intervalo compreendido entre o início da falha potencial e a ocorrência da falha funcional é determinado “intervalo P-F”. As ações de manutenção sob condição devem ocorrer dentro desse período, contudo seu intervalo deve ser menor que o intervalo P-F, detectando a falha potencial antes do seu desenvolvimento em falha funcional.

Figura 2. Identificação do ponto “P” na curva P-F.



Fonte: Preditec, 2013.

3.1. Objetivos da Manutenção Preditiva

Pode-se destacar de acordo com Cyrino (2015), que os objetivos descritos abaixo estão direcionados a trazer como resultado uma redução de custos de manutenção e aumento da produtividade.

- Determinar antecipadamente a necessidade de serviços de manutenção numa peça ou componente específico de uma máquina ou equipamento;
- Eliminar desmontagens desnecessárias para inspeção;
- Aumentar o tempo de disponibilidade das máquinas e equipamentos;
- Reduzir as intervenções de corretiva;
- Impedir o aumento dos danos;
- Aproveitar a vida útil total dos componentes e de um equipamento;
- Aumentar o grau de confiabilidade das máquinas e equipamentos.

3.2. Análise de Vibração

De acordo com (Garcia, 2010) Toda máquina apresenta um determinado nível de ruído e vibração devido à operação e a fontes externas. Porém, uma parcela destas vibrações é causada por pequenos defeitos mecânicos ou excitações secundárias perturbadoras, que atuam na qualidade do desempenho da máquina. Qualquer acréscimo no nível de vibração de uma máquina é o primeiro sinal de agravamento de um defeito: desalinhamento, empenamento do eixo, desgaste do rolamento, etc.

3.3. Programa Preditivo de Análise de Vibração

O programa preditivo alvo deste trabalho, possui aplicação na medição de vibração de unidades de compressão de gás natural compostas de compressores alternativos e motores de combustão interna. É utilizado o analisador Windrock modelo 6310, mostrado na Fig.3

Figura 3. Analisador Windrock

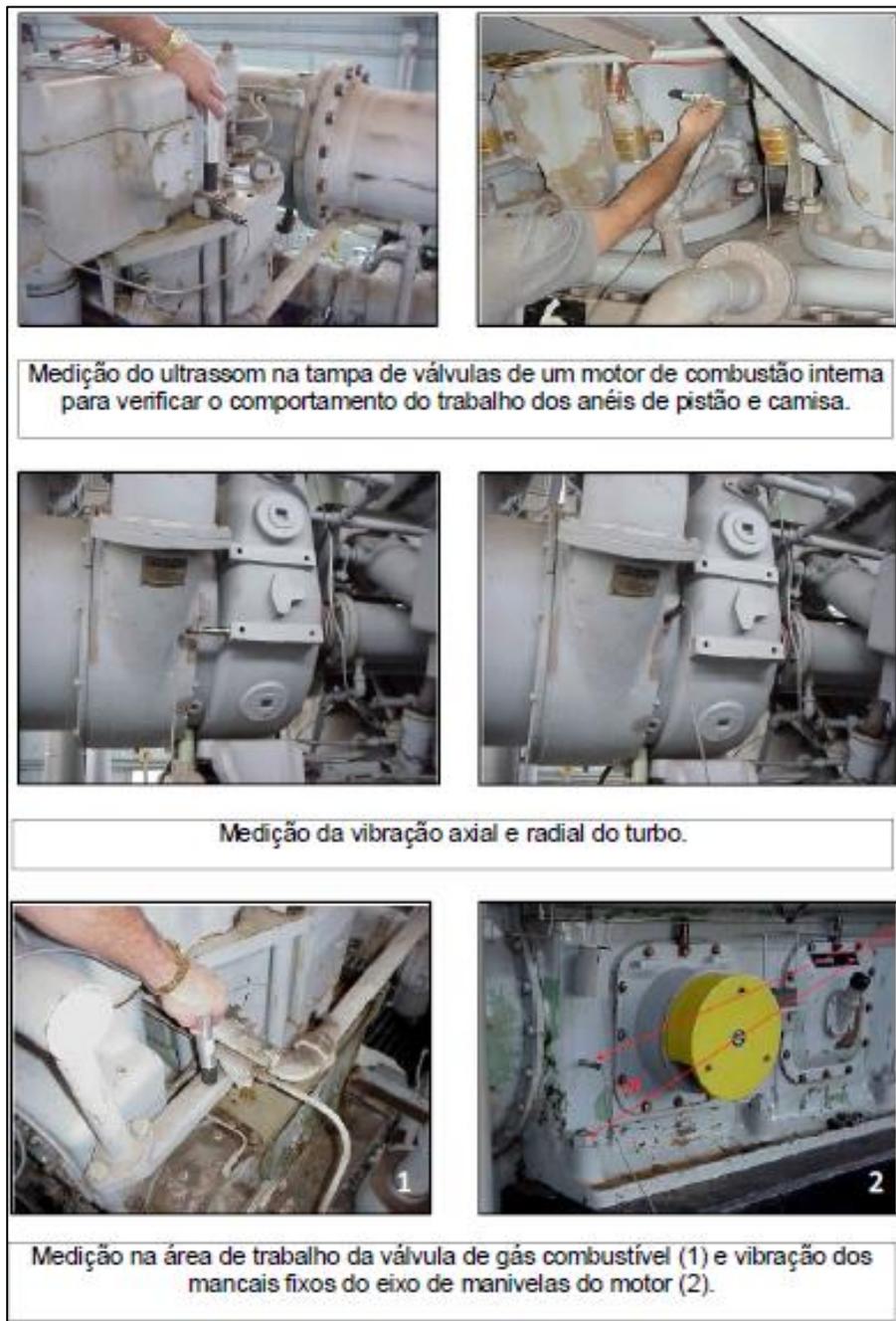


Fonte: Windrock, 2008.

O monitoramento do motor (Figura 4) busca identificar problemas no sistema de ignição, sistema de alimentação de gás combustível, válvulas de admissão e

descarga dos cabeçotes, pré - câmaras de combustão, anéis de segmento e pistões, casquilhos fixos e móveis do eixo de manivelas e comando de válvula, turbos, bombas e engrenagens.

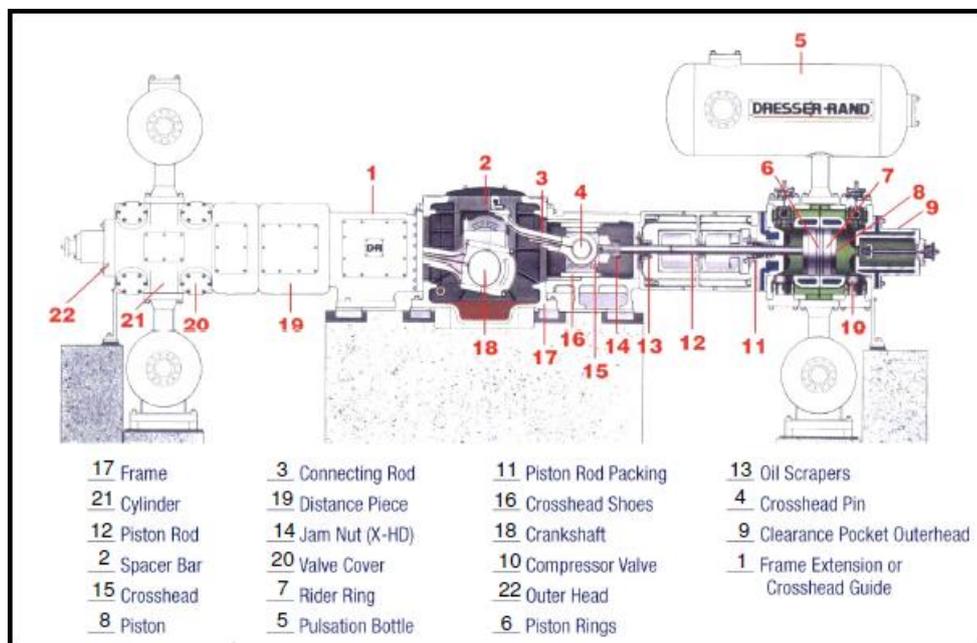
Figura 4. Exemplos de pontos de análise em motores de combustão interna.



Fonte: Analisis de compresores y Motores, Windrock ,2008.

Nos compressores alternativos os pontos de monitoramento dos componentes críticos (Figura 5), buscam a identificação do comportamento fora de padrão para o devido agendamento de intervenção. Alguns dos problemas detectáveis são correlacionados com válvulas de admissão e descarga, condição dos pistões e anéis, eficiência do compressor, vibração nas tubulações, pulsações, pinos e buchas de cruzeta e reversão de cargas na haste.

Figura 5. Pontos de Monitoramento Compressor Alternativo.



Fonte: Analisis de compressores y Motores, Windrock ,2008.

4. MÉTODOS E CRITÉRIOS DE DECISÃO NA ANÁLISE E AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS DE CAPITAL

A adoção de um programa de monitoramento preditivo deve ser visualizada como um projeto que precisa ser justificado pelas características técnicas pertinentes ao processo. Todavia é preciso ser demonstrada a viabilidade econômica do mesmo. Segundo Samanez (2009), o valor de um projeto depende da sua capacidade de gerar fluxos de caixa futuros, ou seja, do seu potencial de gerar renda econômica. Em harmonia com estas

considerações foram empregados os seguintes métodos para medir o retorno do projeto.

4.1. Retorno Sobre Investimento (ROI)

É uma métrica usada para medir os rendimentos obtidos a partir de uma determinada quantia de recursos investidos. Na prática, essa conta mostra quanto à empresa ganhou ou perdeu em relação ao que investiu e administrar futuros investimentos. (Augusto, 2014).

$$ROI = \frac{\text{Ganho obtido} - \text{Investimento inicial}}{\text{Investimento Inicial}} \quad (1)$$

4.2. Valor Presente Líquido (VPL)

É a soma algébrica dos benefícios líquidos do projeto devidamente atualizados (Botteon, 2009). Caso a taxa de custo de oportunidade dos fundos ou de desconto seja constante ao longo do tempo, a fórmula geral para cálculo VPL é:

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{BN_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

Onde BN_t é o benefício líquido correspondente ao momento t da vida do projeto; r é a taxa de desconto por período; e n é o momento final do projeto; r_j é a taxa de desconto correspondente ao período j . (Botteon, 2009).

No caso da taxa de desconto for variável ao longo do tempo o VPL do projeto é:

$$VPL = \frac{BN_0 + BN_{1+}}{(1+r_1)} + \frac{BN_{2+}}{(1+r_1).(1+r_2)} + \dots + \frac{BN_{n+n}}{(1+r_1).(1+r_2)\dots(1+r_n)} \quad (3)$$

4.3. Taxa Interna de Retorno (TIR)

Métrica utilizada para medir os rendimentos obtidos a partir de uma determinada quantia de recursos investidos. Na prática TIR é a taxa de desconto com a qual o VPL é igual à zero. Pretende ser uma medida da rentabilidade do investimento realizado no projeto. A TIR geralmente é definida como a taxa de rentabilidade média, por período e por capital (Botteon, 2011). De acordo com Samanez (2009), matematicamente a TIR é uma taxa hipotética que anula o VPL, ou seja, é aquele valor de “*i*” que satisfaz a equação:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \left(\frac{FC_t}{(1+i)^t} = 0 \right),$$

Critério de decisão $i > K \rightarrow$ projeto economicamente viável (4)

Onde: FC_t = Fluxo de Caixa no período t , i = Taxa

4.4. Ponto de Equilíbrio

É uma medida de desempenho para mensurar o ponto em que os custos e lucros se equiparam.

O planejamento estabelece vários objetivos entre os quais está o de quantificar uma meta que resulte em retorno do capital empregado. Como consequência, o planejamento define a quantidade de produtos que precisa ser fabricado para possibilitar o retorno desejado. Cabe à empresa encontrar o ponto de operação a partir do qual o volume gera lucro, (ROCHA, 2008, p.22).

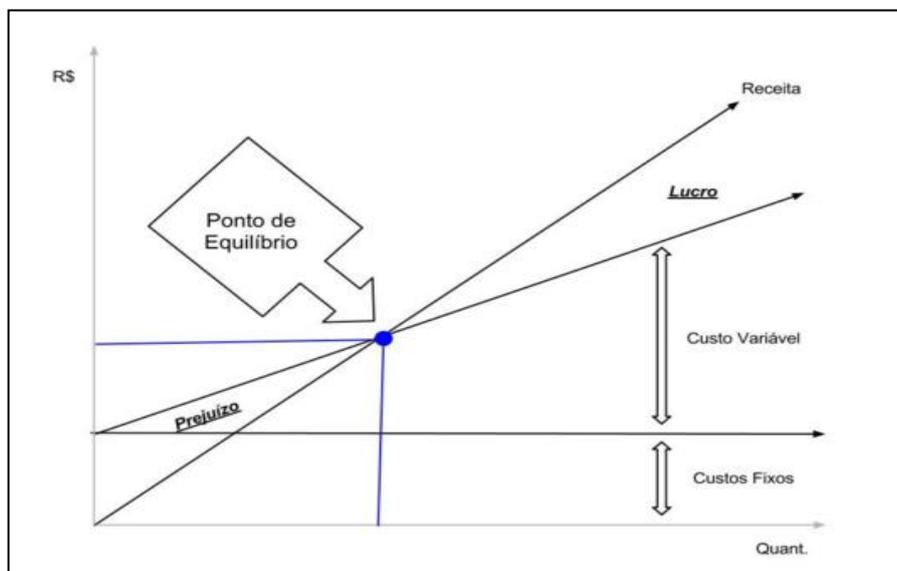
A quantidade que dever ser produzida para obtenção do ponto de equilíbrio é obtida pela expressão:

$$Q = \frac{CF + L}{p - C_{vu}} \quad (5)$$

Onde: CF = Custo Fixo; L = Lucro esperado; p = preço; C_{vu} = Custo de valor unitário.

De forma análoga, os custos e lucros de uma produção podem ser comparados aos custos e economia gerada com o plano de manutenção preditiva. Sendo possível identificar quais são os números de inspeções a serem realizadas e economia que deve ser gerada por elas, a fim de identificar o ponto de equilíbrio (Fig.6) em que o programa se paga. Ainda é possível estabelecer um valor que será o lucro a ser obtido pelo mesmo.

Figura 6. Representação Gráfica do Ponto de Equilíbrio



Fonte: Indústria Hoje, 2013.

5. METODOLOGIA

O método empregado consta na elaboração de um fluxo de caixa com registro de três anos dos custos, despesas e o retorno econômico obtido pelos analistas através da identificação antecipada de falhas potenciais nos componentes dos equipamentos. Através destes dados é comparado o custo de oportunidade em se investir no programa ou realizar uma aplicação financeira tradicional com base de rendimento na taxa Selic, demonstrando a viabilidade econômica do projeto. A determinação do número de inspeções a serem realizadas é o obtido pelo cálculo ponto de equilíbrio econômico onde é possível visualizar o desempenho do

programa, quando o mesmo se paga e começa a dar lucro e até mesmo dimensiona-lo para ter um determinado retorno.

5.1. Fluxo de Caixa

De acordo com Samanez (2009, pag.83)

O fluxo de caixa resume as entradas e saídas efetivas de dinheiro ao longo do tempo, permitindo, desse modo, conhecer a rentabilidade e a viabilidade econômica do projeto. Nesse sentido, os fluxos de caixa representam a renda econômica gerada pelo projeto ao longo de sua vida útil.

A composição do fluxo de caixa representado pela Fig.7 é compreendida por:

- i. Despesas: Salário mensal do colaborador;
- ii. Custos: São os recursos necessários para a realização das atividades e podem variar com o número e local de execução das mesmas. São os valores com hospedagem, passagem aérea, locação de veículos, relatórios de despesa, treinamentos e manutenção do analisador (calibração, licenças e sobressalentes);
- iii. Retorno das inspeções: Representa o custo salvo mensal que pode ser entendido como o gasto evitado ao se identificar o problema antes da falha e parada do equipamento. Através do fluxo de caixa foram extraídos os seguintes dados que são a base para formulação dos cálculos do ROI, VPL, PAYBACK, TIR e Ponto de Equilíbrio:
 - Custo Anual Programa;
 - Retorno Anual Programa;
 - Número Inspeções;
 - Custo por inspeção;
 - Economia por inspeção.

Figura 7. Fluxo de Caixa

MÊS	2013											
	Despesa	CUSTOS							Inspeções - Retorno			
	Salário Mensal	Hotel	Passagem Aérea	Locação de Veículos	Relatório de Despesas	Treinamentos	Custos Ativo	Custo Mensal	OBS	Custo Salvo	Número	Mensal
JAN	R\$ 7.209,64						R\$ 149.820,78	R\$ 157.030,42	Aquisição	R\$ -	0	-R\$ 157.030,42
FEV	R\$ 7.209,64				R\$ 2.099,00			R\$ 9.308,64		R\$ -	0	-R\$ 9.308,64
MAR	R\$ 7.209,64							R\$ 7.209,64		R\$ -	0	-R\$ 7.209,64
ABR	R\$ 7.209,64							R\$ 7.209,64		R\$ 141.063,48	20	R\$ 133.853,84
MAI	R\$ 7.209,64				R\$ 3.075,07			R\$ 10.284,71		R\$ 75.902,93	17	R\$ 65.618,22
JUN	R\$ 7.209,64				R\$ 3.105,02			R\$ 10.314,66		R\$ -	12	-R\$ 10.314,66
JUL	R\$ 7.209,64							R\$ 7.209,64		R\$ -	7	-R\$ 7.209,64
AGO	R\$ 7.209,64				R\$ 5.475,54			R\$ 12.685,18		R\$ -	13	-R\$ 12.685,18
SET	R\$ 7.678,27	R\$ 770,44						R\$ 8.448,71		R\$ -	14	-R\$ 8.448,71
OUT	R\$ 7.678,27	R\$ 770,44	R\$ 2.831,39		R\$ 3.726,48			R\$ 15.006,58		R\$ -	10	-R\$ 15.006,58
NOV	R\$ 7.678,27	R\$ 1.540,88	R\$ 1.161,10					R\$ 10.380,25		R\$ -	5	-R\$ 10.380,25
DEZ	R\$ 7.678,27	R\$ 1.756,13	R\$ 2.534,62					R\$ 11.969,02		R\$ -	6	-R\$ 11.969,02
Total	R\$ 88.390,20	R\$ 4.837,89	R\$ 6.527,11	R\$ -	R\$ 17.481,11	R\$ -	R\$ 149.820,78	R\$ 267.057,09		R\$ 216.966,41	104	-R\$ 50.090,68

Fonte: Próprio Autor.

5.2. Estimativa do Custo Salvo

O cálculo do custo salvo é realizado através do levantamento dos custos que seriam gerados caso o componente do equipamento viesse a falhar e utiliza como base os seguintes dados (Leite, 2016):

- i. Número de Inspeções Realizadas;
- ii. Número de recomendações assertivas: É o somatório das recomendações de inspeções geradas pelos analistas que resultam em acerto, ou seja, o componente identificado com desvio de funcionamento na análise depois de verificado realmente estava danificado;
- iii. Custo Salvo: Valor compreendido entre a diferença dos custos de uma manutenção corretiva não programada e uma programada no referido componente.

Como exemplo é determinado o valor de custo salvo para o mês de Setembro de 2015 por ser o mais relevante na base de dados utilizada.

De acordo com o fluxo de caixa do ano de 2015, Fig.8, é extraído o valor do número de inspeções para o mês de setembro = 12 e também é destacado o valor de custo salvo para o referido mês = R\$ 220.701,00.

Figura 8. Fluxo de Caixa 2015

MÊS	2015												
	Despesa		CUSTOS								Inspeções - Retorno		
	Salário Mensal	Hotel	Passagem Aerea	Locação de Veículos	Relatório de Despesas	Treinamentos	Custos Ativo	Custo Mensal	OBS	Custo Salvo	Número	Mensal	
JAN	R\$ 8.518,27	R\$ 3.063,00	R\$ 9.339,38	R\$ 5.578,57	R\$ 1.013,96	R\$ 5.909,79	R\$ 19.111,25	R\$ 52.534,22	Calibração	R\$ -	17	-R\$ 52.534,22	
FEV	R\$ 8.518,27		R\$ 1.083,91	R\$ 547,34	R\$ 1.360,18			R\$ 11.509,70		R\$ -	8	-R\$ 11.509,70	
MAR	R\$ 8.518,27	R\$ 410,00	R\$ 603,64		R\$ 1.418,95			R\$ 10.950,86		R\$ -	0	-R\$ 10.950,86	
ABR	R\$ 8.518,27		R\$ 603,64		R\$ 2.453,29			R\$ 11.575,20		R\$ 120.751,71	11	R\$ 109.176,51	
MAI	R\$ 8.518,27	R\$ 1.464,41	R\$ 2.582,94	R\$ 2.273,92				R\$ 14.839,54		R\$ 143.785,32	16	R\$ 128.945,78	
JUN	R\$ 8.518,27		R\$ 3.225,15		R\$ 4.086,43		R\$ 11.267,88	R\$ 27.097,73	Licença		18	-R\$ 27.097,73	
JUL	R\$ 8.518,27			R\$ 838,63				R\$ 9.356,90		R\$ 105.783,18	10	R\$ 96.426,28	
AGO	R\$ 8.518,27	R\$ 945,00	R\$ 3.747,28		R\$ 1.220,21			R\$ 14.430,76		R\$ -	11	-R\$ 14.430,76	
SET	R\$ 8.518,27	R\$ 4.205,01	R\$ 2.315,28	R\$ 1.304,33				R\$ 16.342,89		R\$ 220.701,80	12	R\$ 204.358,91	
OUT	R\$ 8.518,27	R\$ 145,00			R\$ 9.298,67		R\$ 47.280,00	R\$ 65.241,94	Spares	R\$ 128.275,20	6	R\$ 63.033,26	
NOV	R\$ 8.518,27	R\$ 1.380,34	R\$ 1.067,52		R\$ 1.372,63			R\$ 12.338,76		R\$ 144.130,48	16	R\$ 131.791,72	
DEZ	R\$ 8.518,27	R\$ 798,72	R\$ 1.378,73	R\$ 2.087,55				R\$ 12.783,27		R\$ 202.379,69	28	R\$ 189.596,42	
Total	R\$ 102.219,24	R\$ 12.411,48	R\$ 25.947,47	R\$ 12.630,34	R\$ 22.224,32	R\$ 5.909,79	R\$ 77.659,13	R\$ 259.001,77		R\$ 1.065.807,38	153	R\$ 806.805,61	

Fonte: Próprio Autor.

Com base no sumário de recomendações Fig. 9, são contabilizadas 37 recomendações assertivas.

Figura 9. Sumário de Recomendações

UNIDADES ANALISADAS	Sumário de Recomendações - Set 2015															
	MOTOR								COMPRESSOR							
	Inspeção Válvula Admissão/Exaustão		Inspeção Sistema de Ignição		Inspeção Mancais		Inspeção Turbos		Inspeção Válvulas		Inspeção Cruzetas		Inspeção Mancais		Inspeção Cilindros / Anéis	
	INDICADO	CONFIRMADO	INDICADO	CONFIRMADO	INDICADO	CONFIRMADO	INDICADO	CONFIRMADO	INDICADO	CONFIRMADO	INDICADO	CONFIRMADO	INDICADO	CONFIRMADO	INDICADO	CONFIRMADO
MC 01	3	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MC 02	3	2	0	0	0	0	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0
MC 03	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MC 04	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MC 05	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MC 06	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MC 07	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
MC 08	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
MC 09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MC 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MC 11	9	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MC 12	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	39	30	1	1	1	1	2	1	4	4	0	0	0	0	0	0

Fonte: Próprio Autor.

As ocorrências por componente é projetada conforme a Fig.10, para ser estimado o custo pelo tipo de reparo que será determinado pelo grau de desgaste da peça e danos pela ocorrência da mesma, sendo um reparo corretivo não programado os valores compreendidos das peças que trabalham diretamente em conjunto e seriam danificada no evento e corretiva não programada catastrófica para uma falha de maior porte envolvendo outros componentes do sistema. Como por exemplo, a identificação de problemas de recessão em uma válvula de admissão ou exaustão do motor pode evitar a quebra da mesma onde teremos em primeiro nível (conjunto) danos no cabeçote e pistão em segundo nível (sistema) danos no turbo devido a aspiração dos fragmentos da válvula. No desenvolvimento do trabalho foram utilizados como base sempre os valores do reparo corretivo não programado. Subtraindo-se o valor do reparo corretivo não programado o valor do programado e convertendo para devida taxa cambial de referência é estimado o valor de R\$ 220.701,80.

Figura 10. Determinação Custo Salvo

Equipamento	Sumário de Recomendações - Set 2015									
	Tipo de Falha	Recomendações Assertivas	Custo Reparo Unitário (Substituição componente analisado)			Custo Reparo Unitário (Substituição do conjunto de componentes) Corretivo Não Programado (Catastrófico)	Custo Reparo Total (Substituição componente analisado)			Custo Reparo Total (Substituição do conjunto de componentes) Corretivo Não Programado (Catastrófico)
			Preventivo	Corretivo Programado	Corretivo Não Programado		Preventivo	Corretivo Programado	Corretivo Não Programado	
Motor	Válvula (ADM/EXT)	30	\$ 2.500,00	\$ 2.500,00	\$ 5.500,00	\$ 11.000,00	\$ 75.000,00	\$ 75.000,00	\$ 165.000,00	\$ 330.000,00
Motor	Sistema de Ignição	1	\$ 500,00	\$ 500,00	\$ 1.000,00	\$ 5.500,00	\$ 500,00	\$ 500,00	\$ 1.000,00	\$ 5.500,00
Motor	Turbos	1	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00	\$ 4.000,00	\$ 8.000,00	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00	\$ 4.000,00	\$ 8.000,00
Motor	Cilindros	0	\$ 2.500,00	\$ 2.500,00	\$ 5.000,00	\$ 10.000,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Motor	Mancais	1	\$ 500,00	\$ 500,00	\$ 1.000,00	\$ 20.000,00	\$ 500,00	\$ 500,00	\$ 1.000,00	\$ 20.000,00
Compressor	Válvulas	4	\$ 300,00	\$ 300,00	\$ 700,00	\$ 6.000,00	\$ 1.200,00	\$ 1.200,00	\$ 2.800,00	\$ 24.000,00
Compressor	Cilindro	0	\$ 200,00	\$ 200,00	\$ 400,00	\$ 2.500,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Compressor	Conjunto Alternativo	0	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00	\$ 3.000,00	\$ 6.000,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Compressor	Mancais	0	\$ 500,00	\$ 500,00	\$ 1.000,00	\$ 20.000,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Total		37					\$ 79.200,00	\$ 79.200,00	\$ 173.800,00	\$ 387.500,00

Custo Salvo:	\$ 173.800,00	FX: SET 2015	
	\$ -79.200,00		
	\$ 94.600,00		R\$ 2,333
	R\$ 220.701,80		

5.3. Avaliação do Custo de Oportunidade

Henrique (2010) define o custo de oportunidade como a possibilidade de um ganho ou perda onde exista mais de uma opção, ou seja, é aquilo que você pode deixar de ganhar em uma transação por escolher uma determinada opção. Com base neste pressuposto, foi realizada uma comparação do custo de oportunidade entre aplicar os valores das despesas e custos mensais do programa em um fundo com rendimento igual à taxa Selic e do retorno obtido pelos custos salvo das análises de vibração.

5.3.1. Taxa Selic

De acordo com o Banco Central do Brasil:

Define-se Taxa Selic como a taxa média ajustada dos financiamentos diários apurados no Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (Selic) para títulos federais. Para fins de cálculo da taxa, são considerados os financiamentos diários relativos às operações registradas e liquidadas no próprio Selic e em sistemas operados por câmaras ou prestadores de serviços de compensação e de liquidação.

A taxa SELIC também é conhecida como “linha d’água” dos investimentos, já que a viabilidade de qualquer investimento é medida em comparação com a SELIC/CDI. (Custódio, 2015).

Na Fig.11 é demonstrada a projeção dos custos com rendimentos de taxa Selic para um período do programa. Parte do princípio de avaliar o ganho acumulado que seria alcançado aplicando os valores necessários para manutenção do programa com o rendimento oferecido pela Selic.

Figura 11. Projeção Aplicação Taxa Selic

MESES	CUSTOS PROGRAMA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Projeção Retorno Aplicação	Rendimento Anual
		TAXA SELIC - 2013													
		0,60%	0,49%	0,55%	0,61%	0,60%	0,61%	0,72%	0,71%	0,71%	0,81%	0,72%	0,79%		
JAN	R\$ 157.030		R\$ 157.973	R\$ 158.747	R\$ 159.620	R\$ 160.593	R\$ 161.557	R\$ 162.543	R\$ 163.713	R\$ 164.875	R\$ 166.046	R\$ 167.391	R\$ 168.596	R\$ 11.566	R\$ 15.095
FEV	R\$ 9.309			R\$ 9.354	R\$ 9.406	R\$ 9.463	R\$ 9.520	R\$ 9.578	R\$ 9.647	R\$ 9.715	R\$ 9.784	R\$ 9.864	R\$ 9.935	R\$ 626	
MAR	R\$ 7.210				R\$ 7.249	R\$ 7.294	R\$ 7.337	R\$ 7.382	R\$ 7.435	R\$ 7.488	R\$ 7.541	R\$ 7.602	R\$ 7.657	R\$ 447	
ABR	R\$ 7.210					R\$ 7.254	R\$ 7.297	R\$ 7.342	R\$ 7.395	R\$ 7.447	R\$ 7.500	R\$ 7.561	R\$ 7.615	R\$ 405	
MAI	R\$ 10.285						R\$ 10.346	R\$ 10.410	R\$ 10.484	R\$ 10.559	R\$ 10.634	R\$ 10.720	R\$ 10.797	R\$ 512	
JUN	R\$ 10.315							R\$ 10.378	R\$ 10.452	R\$ 10.527	R\$ 10.601	R\$ 10.687	R\$ 10.764	R\$ 449	
JUL	R\$ 7.210								R\$ 7.210	R\$ 7.261	R\$ 7.312	R\$ 7.372	R\$ 7.425	R\$ 215	
AGO	R\$ 12.685									R\$ 12.775	R\$ 12.866	R\$ 12.970	R\$ 13.064	R\$ 378	
SET	R\$ 8.449										R\$ 8.509	R\$ 8.578	R\$ 8.639	R\$ 191	
OUT	R\$ 15.007											R\$ 15.128	R\$ 15.237	R\$ 230	
NOV	R\$ 10.380												R\$ 10.455	R\$ 75	
DEZ	R\$ 11.969												R\$ 11.969	R\$ -	
		R\$ 157.030	R\$ 157.973	R\$ 168.101	R\$ 176.275	R\$ 184.604	R\$ 196.058	R\$ 207.631	R\$ 216.336	R\$ 230.647	R\$ 240.793	R\$ 257.872	R\$ 282.153		

Fonte: Próprio Autor.

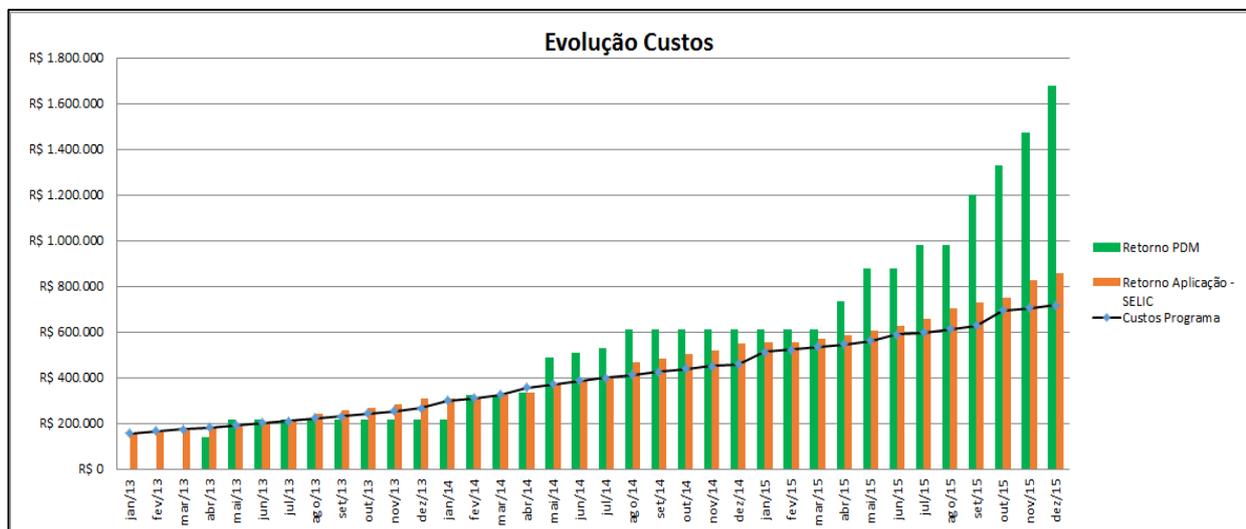
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da composição do fluxo de caixa de três anos do programa, foi gerada a base de dados para elaboração do gráfico da Figura 12, onde é possível comparar:

- i. Retorno PDM: O valor acumulados dos custos salvos pelo programa;
- ii. Retorno aplicação Selic: Os valores acumulados obtidos por uma aplicação dos valores necessários para manutenção do plano de inspeção preditiva com base de rendimento da taxa Selic;
- iii. Custos do Programa: Recursos necessários para manter o projeto de manutenção preditiva de análise de vibração.

É visualizada a vantagem econômica do retorno do programa comparado à aplicação do valor referente à manutenção do mesmo.

Figura 12. Custos x Aplicação



Fonte: Próprio Autor.

Os dados obtidos pelo acompanhamento de três anos das atividades realizadas estão representados na tabela 1. Os resultados apontam para uma evolução do programa de acordo com os valores anuais do ROI, demonstrando o progresso obtido no custo salvo médio por inspeções devido ao aumento da

experiência do analista na identificação de problemas em potencial nos equipamentos e assertividade no diagnóstico das inspeções.

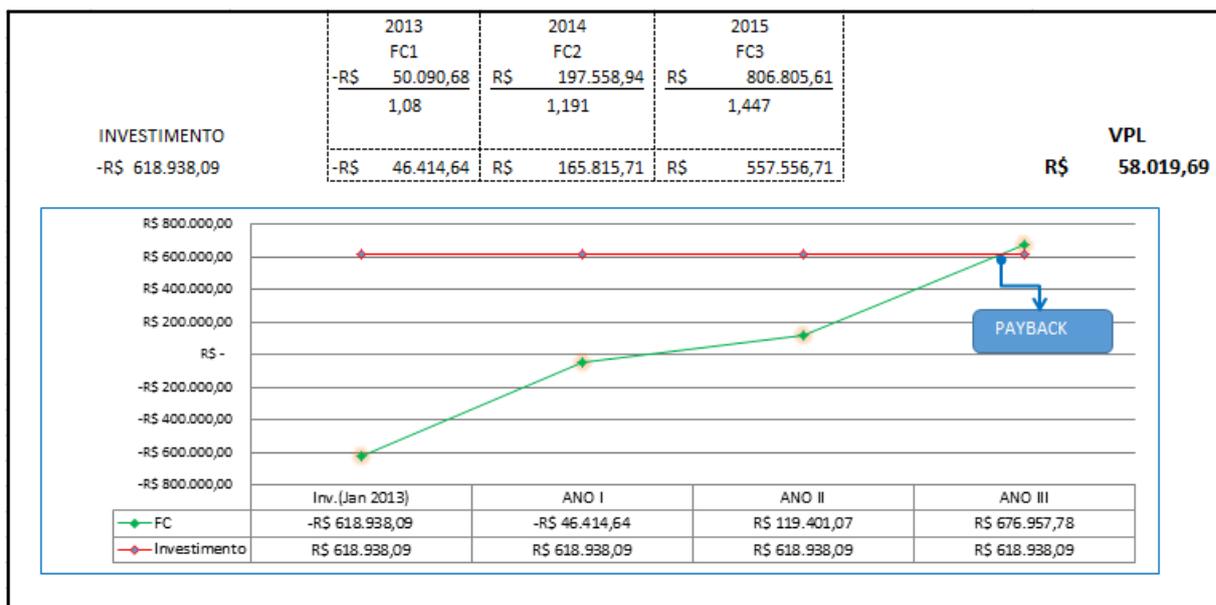
Tabela 1. Indicadores Programa Análise de Vibração

INDICADORES	2013	2014	2015	MÉDIA
Custo do Programa	R\$ 267.057,09	R\$ 196.382,61	R\$ 259.001,77	R\$ 240.813,82
Retorno do Programa	R\$ 216.966,41	R\$ 393.941,55	R\$ 1.075.334,54	R\$ 562.080,83
Número Inspeções	104	93	153	117
Custo / Inspeções	R\$ 2.567,86	R\$ 2.111,64	R\$ 1.692,82	R\$ 2.124,11
Custo Salvo / Inspeção	R\$ 2.086,22	R\$ 4.235,93	R\$ 6.966,06	R\$ 4.429,40
Retorno sobre o Investimento (ROI)	-0,19	1,01	3,15	1,33

Fonte: Próprio Autor.

Na Figura 13 é representada a viabilidade do projeto com o $VPL > 0 = R\$ 58.019,69$ e um PAYBACK para retorno do investimento menor que três anos de acordo com o fluxo de caixa (FC) dos anos, sendo considerável aceitável pelos critérios da companhia para este tipo de emprego de capital.

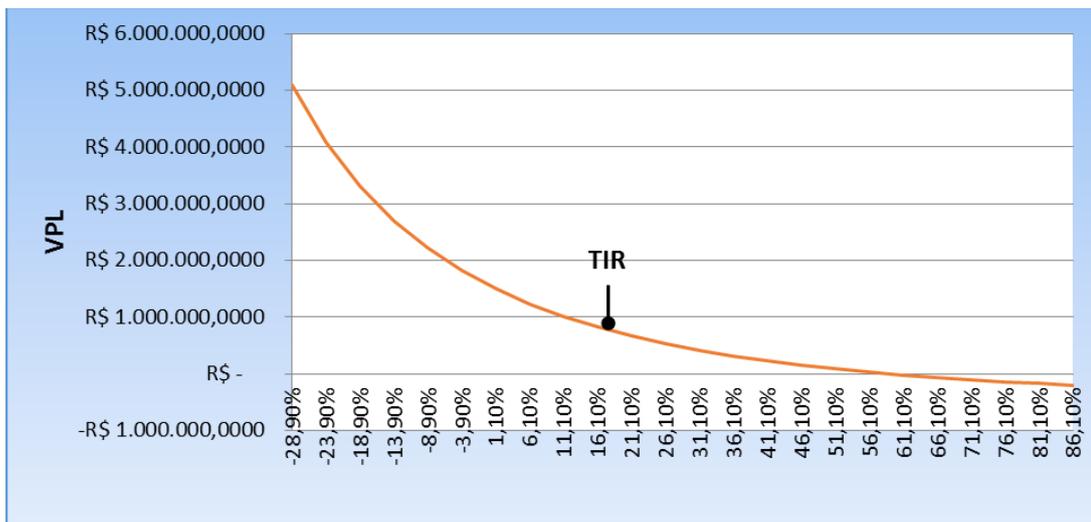
Figura 13. VPL e PAYBACK



Fonte: Próprio Autor.

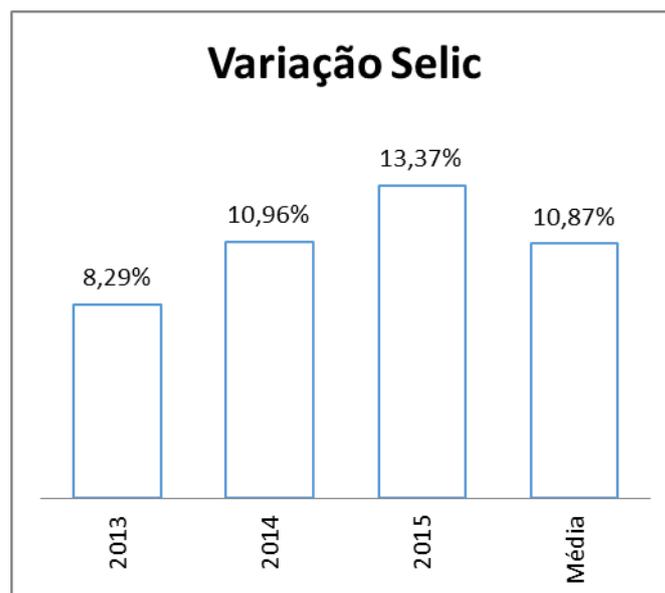
A TIR conceituada pela taxa de retorno onde o VPL=0 (Figura 14), tem o valor de 16,10% que é superior à taxa de atratividade do mercado no caso expressa pela Selic, que teve o valor médio de 10,87% entre os anos de 2013 e 2015(Figura 15).

Figura 14. VPL em função da TIR



Fonte: Próprio Autor.

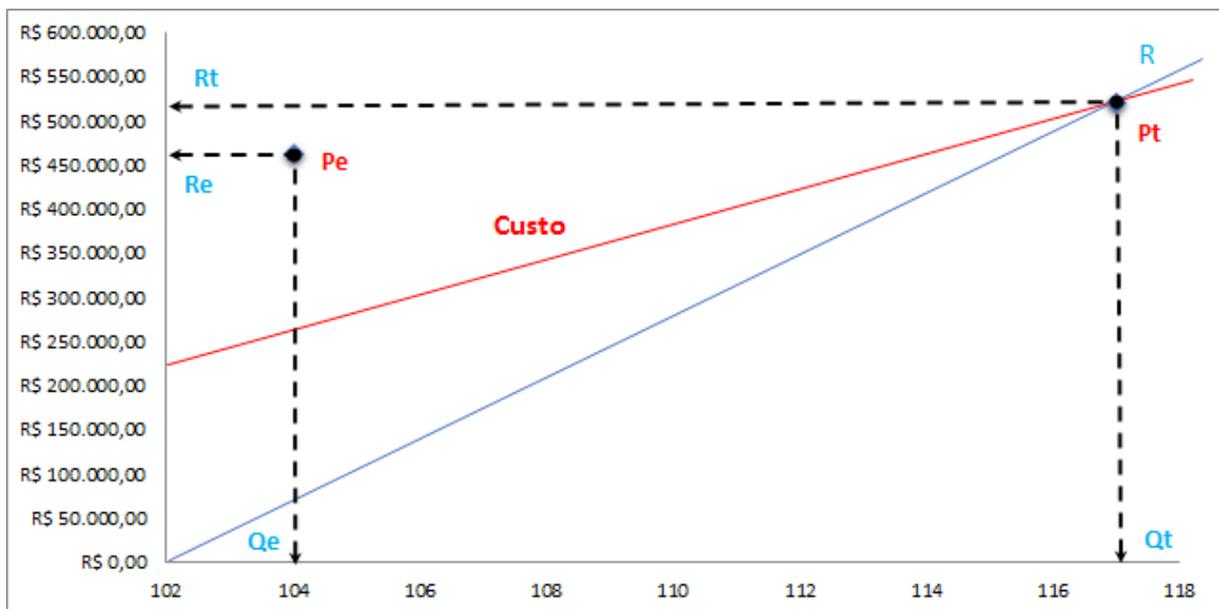
Figura 15. Taxa Selic



Fonte: Próprio Autor.

O número de análises de vibração que devem ser realizadas para determinação do ponto de equilíbrio (Pe) do programa onde o lucro é igual à zero (Figura 16), deve ser igual a 104 (Qe) e representar uma economia (Re) de R\$ 462.700,40. No período analisado os analistas realizaram um número médio de inspeções igual a 117(Qt). A soma dos valores para manutenção do programa mais o lucro ou valor obtido através dos resultados das revisões preditivas das unidades foi (Rt) de R\$ 520.342,49, com uma economia ou lucro de R\$ 30.000,00.

Figura 16. Determinação Ponto de Equilíbrio



Fonte: Próprio Autor.

Através das métricas aplicadas o gestor de manutenção tem subsídio de informação para realizar uma avaliação do real benefício do programa, o retorno esperado do mesmo, capacidade de identificar qual é ou será o gargalo do projeto que venha impedir o mesmo de alavancar e meios de demonstrar a viabilidade econômica do programa que é o ponto determinante para obtenção de aprovação da alta direção. É possível determinar um objetivo específico para cumprimento e meios para monitoramento e assim ajustar os possíveis “gaps” que podem surgir. Uma dificuldade para elaboração deste foi à busca de informação dos custos de viagens

dos analistas para desenvolvimento das atividades, onde é necessária a interface com outros departamentos.

Em trabalhos futuros um fator a ser considerado no cálculo dos custos salvos são os valores economizados por possíveis multas que poderiam ser aplicadas caso o equipamento viesse a falhar.

7. CONCLUSÃO

O referido programa demonstra resultados satisfatórios comprovando sua viabilidade econômica de acordo com os métodos e critérios de avaliação de capital aplicados. Possui um custo de oportunidade de retorno de investimento superior a uma aplicação com base na taxa Selic. Um valor de ROI médio igual a 1.33, acompanhado de um $VPL > 0$ e Payback inferior a três anos. Sua taxa de retorno é superior à taxa de oportunidade praticada no mercado. O seu desempenho para ser satisfatório deve contemplar a realização de 104 análises por ano com um respectivo retorno de aproximadamente R\$ 462.700,00, alcançado pela economia gerada devido aos reparos dos equipamentos e substituição de componentes que foram evitados pela identificação de um defeito que não evoluiu para uma falha. O mesmo vem desenvolvendo uma média de 117 inspeções e contribuindo para a empresa com uma economia por volta de R\$ 520.342,49.

A aplicação da gestão de custos no monitoramento de programas preditivos auxilia na tradução e representação dos benefícios técnicos para a linguagem dos negócios, repassando confiabilidade e segurança para as partes envolvidas e interessadas no posicionamento estratégico da corporação através da vantagem competitiva.

BIBLIOGRAFIA

KARDEC, Allan; CARVALHO, Claudia. **Gestão Estratégica e Terceirização**. Revista Quality Mark, 2002.

KARDEC, A. NASCIF, J. **Manutenção: Função Estatégica**, Editora Quality Mark, Rio de Janeiro, Coleção Manutenção, Abraman. 3a edição, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-5462: confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

BARAN, L.R. **MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE APLICADA NA REDUÇÃO DE FALHAS: UM ESTUDO DE CASO**. 2011.103p. Monografia (Especialista em Gestão Industrial) - UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ- PR.

PREDITEC. **EQUIPOS PORTATILES DE INSPECION PREDITIVA**. Disponível em: <<http://www.preditec.com/noticias/equipos-portatiles-de-inspeccion-pre>. Acesso em 21 ago.2016.

CYRINO, L. **CONCEITOS E APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO PREDITIVA**. Manutenção em Foco 2015. Disponível em: < [http://manutencaoemfoco.com.br/conceitos – e - aplicacao-da-manutencao-preditiva/](http://manutencaoemfoco.com.br/conceitos-e-aplicacao-da-manutencao-preditiva/). Acesso em 24 ago.2016.

ALMEIDA, T.M. **MANUTENÇÃO PREDITIVA: BENEFÍCIOS E LUCRATIVIDADE**. Disponível em: < <http://www.mtaev.com.br/download/mnt2.pdf>. Acesso em 24 ago.2016.

GARCIA, M.S. **Técnicas Preditivas no Gerenciamento de Ativos**, 2010.

WINDROCK. **Análisis de Compresores y Motores**, 2008.Knoxville, Tennessee.

SAMANEZ, C.P. **Engenharia Econômica**, Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2009.

LEITE, A.F. **Casos Típicos Manutenção Preventiva: Problema de Vazamento em Válvula de Motor**, Setembro 2016.

AUGUSTO, F. **ROI - O QUE É E COMO CALCULAR O RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO**. Meu sucesso.com 2014. Disponível em: < <https://meusuccesso.com/artigos/financas/roi-o-que-e-e-como-calculiar-o-retorno-sobre-investimento-12/>. Acesso em 24 ago.2016.

BOTTEON, C, N. **Indicadores de Rentabilidade**, Curso de Avaliação Socioeconômica de Projetos, Ministério do Planejamento Orçamento e Gestão, Brasília maio 2009.

BOTTEON, C, N. **Preparación y Evaluación de Proyectos de Invesrión Pública.** Beneficios y Costos Sociales, Santiago de Chile, out.2011.

ROCHA, D,R. **Gestão da Produção e Operações**, Editora Ciência Moderna, Rio de Janeiro, 2008.

HENRIQUE, C. **Entendendo conceitos econômicos: Custo de oportunidade**, Disponível em: < <http://www.sobreadministracao.com/entendendo-conceitos-economicos-custo-de-oportunidade>. Acesso em 10 out.2016.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Conceito Taxa Selic.** Disponível em: < http://www.bcb.gov.br/htms/selic/conceito_taxaselic.asp. Acesso em 24 ago.2016.

INDÚSTRIA HOJE. **Como Calcular o Ponto de Equilíbrio da Empresa?** Disponível em: < <http://www.industriahoje.com.br/como-calcular-o-ponto-de-equilibrio-da-empresa>. Acesso em 24 ago.2016.