

CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC

CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE

ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE OPERACIONAL DE UM SISTEMA ATRAVÉS DA MUDANÇA NA ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO: ESTUDO DE CASOEdgar Ribeiro Sousa¹
Marinilda Lima²

Resumo: As industriais estão modernizando seus processos, isso porque existe um cenário de mercado cada vez mais competitivo, serão necessários sistemas mais eficientes para atender a essa nova realidade, neste novo cenário são exigidos projetos que acompanhem também novas tecnologias embarcadas. A proposta desse artigo é bem desafiadora, pois envolve o objetivo de mostrar o comportamento do setor da manutenção para essa nova realidade, acompanhando o desempenho desses equipamentos ao longo dos anos e apresentar como resultados distintos podem ser alcançados quando alterado suas políticas de manutenção. Será realizado uma correlação entre a disponibilidade operacional de um sistema com equipamentos compactos de ar comprimido versus seus custos com manutenção para cada política aplicada, comparando-os, assim poder avaliar qual o tipo de manutenção agrega maior valor para a organização, subdividindo-o a análise por períodos de um ano.

Palavras-chave: disponibilidade; manutenção preventiva; manutenção preditiva; análise de tendência. Custo de manutenção.

1.INTRODUÇÃO

É iniciado uma nova era, época onde descobrimos o poder da conectividade entre pessoais e dispositivos, para nossa área industrial essa renovação vem acontecendo gradativamente nas décadas anteriores, um pouco mais lento, mas acontecendo motivado principalmente pela expectativa manter o modelo de negócio competitivo. Um exemplo dessa transformação foi o Polo Petroquímico de Camaçari, o segundo brasileiro, se instalando na Bahia, sob a liderança da Petroquisa, seguindo recomendações do Conselho de Desenvolvimento Industrial (CDI), foi

¹ Pós-Graduando em Engenharia da Confiabilidade. Tecnólogo em Manutenção Industrial. E-mail: ed.ribeiro001@hotmail.com

² Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial. Docente do centro Universitário SENAI CIMATEC. E-mail: marinilda.lima@fieb.org.br

iniciado suas atividades de planejamento, implantação em 1970 e em 1978 suas operações. Na época o Brasil estava se desenvolvendo bastante nesse setor, suas taxas de crescimento eram bastante altas, esses mesmos incentivos alavancaram outros polos em várias regiões do Brasil, não só para atender a essa demanda, mas também em criar alternativas e valor após a extração do petróleo para produtos petroquímicos de gerações conseqüentes.

A petroquímica é o setor industrial de mais alto poder germinativo e mais alto relacionamento com os demais setores da vida econômica, também é o ramo de maior mutação tecnológica: a cada dia se desenvolvem processos mais econômicos, se descobrem novos derivados e milhares de produtos finais. Por essa complexidade tecnológica, a petroquímica, principalmente de produtos básicos, exige grande concentração de capital e elevado automatismo, com grande mobilização de recurso. É fundamental que no surgimento dessas fábricas elas sejam acompanhadas logicamente por parques de equipamentos de todos os tipos, que de forma ordenada operam dentro de especificações técnicas que nascem desde o projeto até sua operação, com uma missão exigida, produzir. Até 1990 o cenário da indústria era favorável em todo o mundo, mas uma coincidência desastrosa da recessão econômica e a expansão excessiva da capacidade de produção da indústria petroquímica mundial ocasionou uma queda nos preços e assim se iniciou um processo contínuo de privatizações. Atualmente, quatro décadas após o início de suas operações percebe-se um cenário muito mais competitivo que o de antigamente, principalmente, com a presença de empresas estrangeiras que tentam vender seus produtos exportando-o para o mercado brasileiro.

Essa nova conduta do mercado associadas às indústrias com projetos da década de 70, como é o caso do Polo Petroquímico torna seus resultados incoerentes, pois com um custo final produzido alto, força as empresas e setores internos de desenvolvimento a alavancar projetos para torna-los cada vez mais econômicos, insumos como água e energia elétrica que antes eram mais baratos, hoje são enxergados como oportunidade, uma necessidade quase que capital de projetos e sistemas mecânicos novos cada vez mais eficientes. Sendo assim, novos projetos são então executados, as empresas investem em novas tecnologias, em sistemas que de fato cumprem a missão, de produzir com custos mais baixos através dessa prática bem conhecida hoje, o retrofit. Em um contexto geral o retrofit ocorre em toda cadeia produtiva desde novas plantas pilotos, controles do processo, equipamentos elétricos, entre outros.

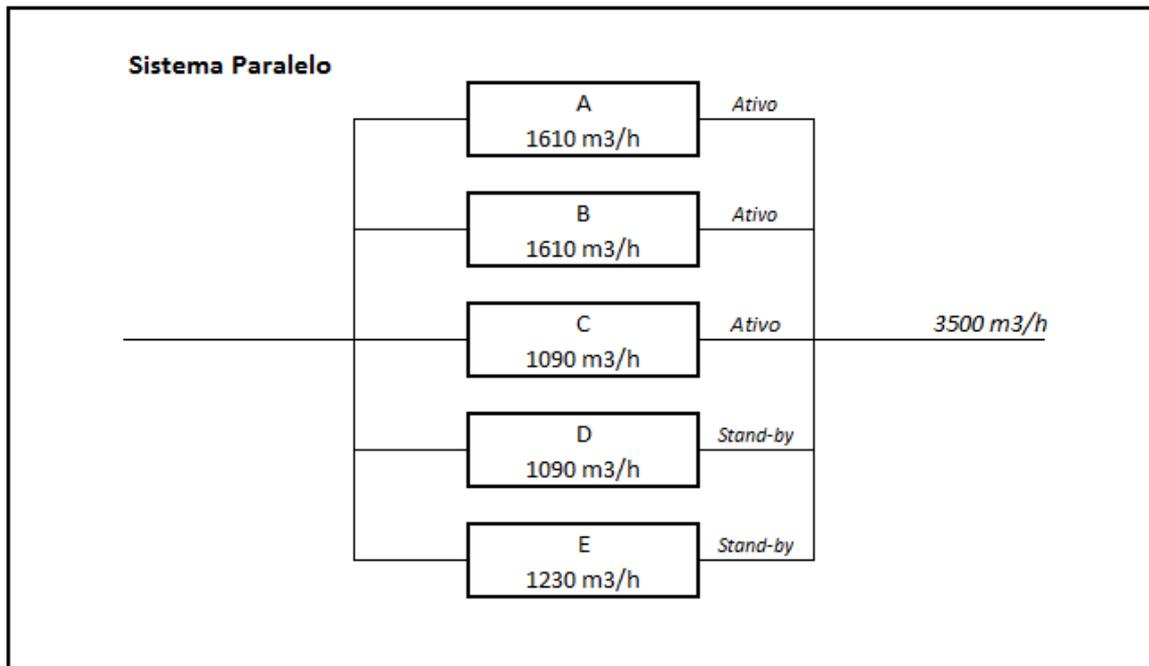
Neste aspecto, é necessário estudo que aborde este tema, já que esse novo ativo além de realizar sua missão fundamental, aquela que lhe é requerida ao processo, deve atender aos requisitos de

segurança estabelecidos pela empresa, mas também ter uma alta disponibilidade para que não ocorra uma interrupção da produção, onerando toda a cadeia. Sendo assim para que seja vantajoso este novo equipamento em um ambiente já existente, o setor da manutenção deve ter de forma engajada uma política de manutenção que o adeque a essa expectativa. Assim, este artigo tem por objetivo analisar a disponibilidade de equipamentos que compõem o sistema de ar comprimido, onde o processo passou por uma modernização ou retrofit dentro da indústria petroquímica. São analisados no estudo cinco unidades compressoras que fornecem ar comprimido seco e tratado para uma rede de distribuição com as seguintes especificações: duas unidades compressoras com uma potência de 147,1 kW (200CV) vazão de 1681 m³/h cada, dois outros com 91,93 kW (125 CV) vazão de 1072 m³/h cada e mais um com 110,3 kW (150CV) vazão 1230m³/h. A função destes equipamentos são em manter a pressão do sistema de ar em 6,5 BAR, submetido a uma vazão consumida de aproximadamente 3500 m³/h.

2 DESENVOLVIMENTO

Antes do retrofit eram equipamentos robustos, com baixa eficiência energética, baixa disponibilidade e alto custo de reparo, hoje novos modelos de unidades compactas com a promessa de uma tecnologia embarcada atrativa para esse modelo de negócio. Como pode ser observado na Figura 1, um diagrama de bloco representa esquematicamente o sistema operacional em análise, sendo cinco equipamentos identificados como A; B; C; D; E, seu arranjo nesse circuito em paralelo e para que a demanda da vazão de consumo exigida total seja estabelecida deve ter um mínimo de três equipamentos em operação e 2 parados no regime de stand-by. A função destes equipamentos é em manter a pressão do sistema de ar em 6,5 BAR, submetido a uma vazão consumida de aproximadamente 3500 m³/h.

Figura 1- Diagrama de bloco do sistema de ar comprimido



Fonte - Elaborado pelo autor, (2017)

Para contextualizar a análise do circuito mencionado é preciso avaliar os compressores de forma unitária, avaliar seu ciclo de vida, sua melhor política de manutenção. Vale ressaltar que, para garantir uma alta disponibilidade é preciso que cada equipamento tenha uma alta confiabilidade, ou seja, falhe menos dentro de um período de tempo satisfatório. É importante abordar que essas novas máquinas vêm com um alto controle instrumentado isso porque a ideia é garantir ao máximo a integridade dos componentes mecânicos de maior valor, então são muito sensíveis a anomalias, condições operacionais não especificadas e isso pode vir a trazer um elevado número de paradas.

Os equipamentos já possuem uma alta tecnologia embarcada de fábrica, isso proporciona um bom controle operacional e diagnóstico, ajudando o setor de manutenção a desenvolver ferramentas de previsibilidade, mas também se faz necessário ter uma mão de obra eficiente para interpretar essas informações porque se isso não for possível de nada servirá.

Outro aspecto importante é que essas unidades não são constituídas por apenas um único compressor, como pode-se observar na Figura 2 e sim também por sistemas auxiliares complexos; sistema de lubrificação, de filtragem, purificação do ar, secagem, resfriamento, eles

também possuem controles com limites preestabelecidos pelo fabricante, se atingidos vão parar o equipamento e essa interferência será caracterizada também como falha.

Figura 2-Compressor de ar comprimido



Fonte – site <http://www.aimcompanies.com/products?id=71>,(2019)

Então o cenário que pode ser verificado é de equipamentos que chegam com uma expectativa de serem economicamente vantajosos para o setor petroquímico, que após quatro décadas como é o caso do polo petroquímico de Camaçari passa por um processo de modernização. São equipamentos inteligentes, como uma grande tecnologia embarcada, no entanto traz outras possibilidades de muitas falhas devido à alta instrumentação como controle e segurança dos componentes de maior valor.

Para a manutenção do setor em que esses sistemas se instalaram, apesar de serem equipamentos onde no projeto já se pensam em aspectos com manutenabilidade são ainda bem diferentes das antigas máquinas. Sendo assim, deve ser seguido à risca pela manutenção as recomendações do fabricante, um novo cadastro de estoque mínimo para sobressalentes deve ser implementado em seu software de gerenciamento de estoque sobressalente, cadastro também de ações por parte da manutenção em seu software de sistema de gerenciamento da manutenção, essas são regras essenciais para que se estabeleçam uma boa sistemática para operação segura desses equipamentos.

3 ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE DO SISTEMA NO PERÍODO ENTRE 2007 E 2015 APÓS SEU RETROFIT: ESTUDO DE CASO

O sistema de ar comprimido em análise são cinco equipamentos operando em um circuito paralelo, que têm uma função requerida de fornecer ar sob pressão de não menos que 6,5 Bar, a uma vazão média de 3500 m³/h. Para essa condição ser sustentada é necessário ao processo ter três equipamentos deste circuito operando e outros dois reservas no regime de stand-by. Em caso de falha desse sistema, ou seja, se os cinco equipamentos não forem suficientes para suprir a demanda consumida devido a indisponibilidade, entra em operação outro sistema reserva, ou backup assumindo essa demanda de ar, para que a planta industrial não pare suas operações. Esse insumo adicional consumido gera um custo bastante elevado, pois a demanda de ar passa a ser fornecida por uma outra empresa, que cobra uma tarifa de consumo mensal, então é importante para os custos operacionais que os compressores tenham uma alta confiabilidade.

As operações destes equipamentos de ar comprimido compactos foram iniciadas em 2007, desta data até os dias atuais são exigidos em operação a mesma quantidade de compressores, significa que a vazão consumida durante os anos não foi alterada. Em seu primeiro ano foi encontrada uma indisponibilidade de apenas 13 horas para um total de 8760 horas no ano, isso mostra uma alta disponibilidade 99,9% deste período e um custo com a compra extra de ar em apenas R\$ 4.986,44. Esse excelente resultado é um indicativo de que o projeto desenvolvido foi assertivo e a confiabilidade dessas novas máquinas compactas atende a expectativa do retrofit, como pode ser observado na Tabela 1.

Pode-se observar na Tabela 1 também que a análise dos anos seguintes a 2007 se verifica uma tendência de queda na disponibilidade e aumento dos custos adicionais para a compra extra de ar comprimido, até que em 2011 foi atingida sua pior marca, com uma disponibilidade de apenas 85,8% do sistema de ar, com custo chegou a R\$ 487.055,52. Outro dado de destaque foi o registro de 1244 horas paradas por falhas dos compressores em um ambiente industrial gerou um enorme conflito entre os setores de produção e manutenção, houve algumas ações pontuais por parte da manutenção, no entanto é possível observar apenas uma melhora sensível nos resultados e uma tendência de queda novamente na disponibilidade a partir de 2013 até 2015 chegando aos 94,8%. Com 94,8% de disponibilidade operacional apesar de não aparentar uma marca ruim, seu custo adicional com backup foi de R\$ 241.922,44 por conta dessa indisponibilidade, associado ao custo em manutenção de R\$ 450.000,00 para aquele período nesses compressores e uma demanda média de R\$ 900.000,00 de consumo de energia elétrica,

torna mesmo para um cenário industrial o resultado bastante incômodo no ano de 2015. A Figura 3 a seguir mostra a representação gráfica destes dados.

Tabela 1-Disponibilidade operacional versus custo com backup

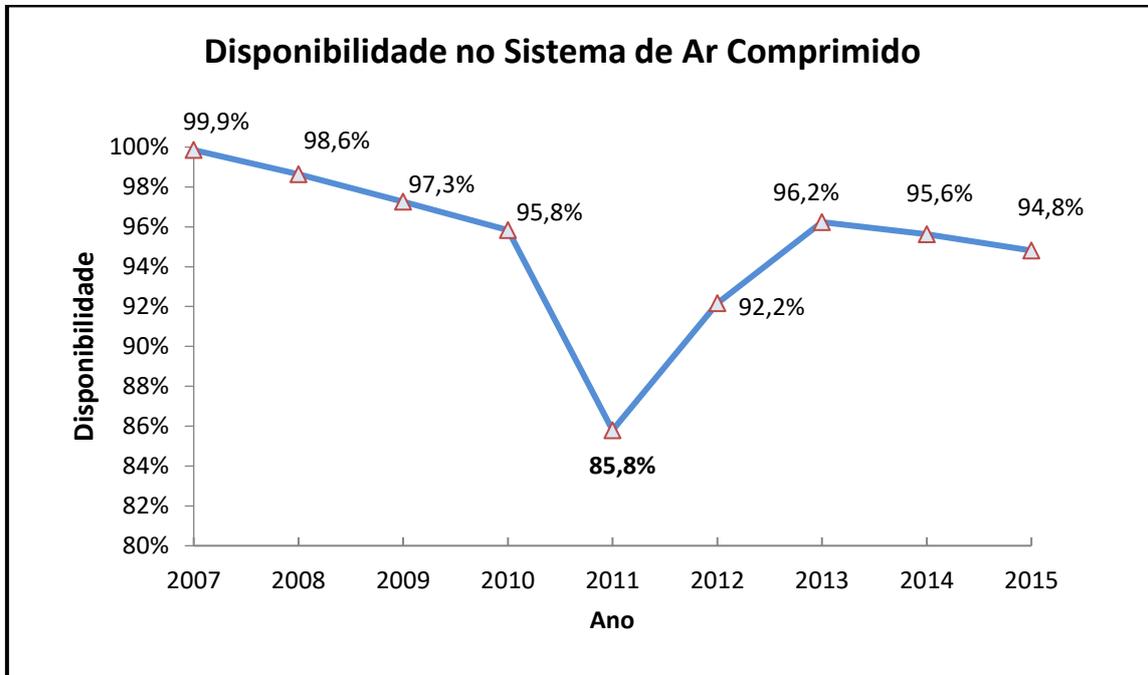
Ar Comprimido				
Ano	Consumo adicional Nm³	Custo Total R\$	Horas Indisponível	Disponibilidade
	Nm³	R\$	Horas	% ano
2007	45.204	R\$ 4.986,44	13	99,9%
2008	417.533	R\$ 48.736,99	119	98,6%
2009	840.380	R\$ 85.328,71	240	97,3%
2010	1.275.046	R\$ 135.320,60	364	95,8%
2011	4.355.142	R\$ 487.055,52	1.244	85,8%
2012	2.401.759	R\$ 349.934,43	686	92,2%
2013	1.153.398	R\$ 185.724,91	330	96,2%
2014	1.341.383	R\$ 176.380,47	383	95,6%
2015	1.589.950	R\$ 241.922,44	454	94,8%

Fonte - Elaborado pelo autor, (2017)

Pode-se observar na Tabela 1 acima, a análise dos anos seguintes a 2007 se verifica uma tendência de queda na disponibilidade e aumento dos custos adicionais para a compra extra de ar comprimido, até que em 2011 foi atingida sua pior marca, com uma disponibilidade de apenas 85,8% do sistema de ar, com custo chegou a R\$ 487.055,52. Outro dado de destaque foi o registro de 1244 horas paradas por falhas dos compressores em um ambiente industrial gerou um enorme conflito entre os setores de produção e manutenção, houve algumas ações pontuais por parte da manutenção, no entanto é possível observar apenas uma melhora sensível nos resultados e uma tendência de queda novamente na disponibilidade a partir de 2013 até 2015 chegando aos 94,8%. Com 94,8% de disponibilidade operacional apesar de não aparentar uma marca ruim, seu custo adicional com backup foi de R\$ 241.922,44 por conta dessa indisponibilidade, associado ao custo em manutenção de R\$ 450.000,00 para aquele período nesses compressores e uma demanda média de R\$ 900.000,00 de consumo de energia elétrica,

torna mesmo para um cenário industrial o resultado bastante incômodo no ano de 2015. A Figura 3 a seguir mostra a representação gráfica destes dados.

Figura 3-Gráfico de disponibilidade pelo período de 2007 até 2015



Fonte - Elaborado pelo autor, (2017)

Com um trabalho investigativo, no intuito de entender como equipamentos tão eficientes atingiram baixa disponibilidade após os primeiros anos até 2015, chegou-se à conclusão que existia uma política de manutenção equivocada, onde dois motivos foram cruciais para essa afirmação:

- Não havia um correto cadastro de todos os itens para estoque dessas máquinas no almoxarifado, gerando uma grande ociosidade por parte da execução e um tempo médio de reparo (MTTR) alto para se resolver principalmente manutenções corretivas emergenciais.
- O segundo tem a ver com o cadastro dos planos de manutenção no sistema de gerenciamento, chegar a essa afirmação significa dizer que a manutenção não fazia um trabalho de reparo dentro de uma periodicidade exigida, deixando de garantir as recomendações estabelecidas pelo fabricante.

Então dizer que a manutenção não tinha uma regularidade para efetuar os reparos e nem mesmo ter os componentes necessários para efetua-los, classifica a política de manutenção estabelecida pela empresa para esses equipamentos como reativa ou corretiva, famoso “quebra-conserta”, associado ainda a um *lead time* elevado, ou seja um tempo de entrega alto pelos executantes.

Como ação para 2016 nestes compressores foi modificado a política de manutenção para a preventiva, seguindo as recomendações descritas pelo fabricante, criando planos periódicos e cadastros de itens em estoque.

3.1 IMPLEMENTAÇÃO DA POLÍTICA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM 2016

Segundo Lafraia (2014) a manutenção preventiva procura reter o sistema em estado operacional disponível através da prevenção de ocorrência de falhas. Pode ser efetuado por meio de inspeção, controles e serviços como: limpeza, lubrificação, calibração e detecção de defeitos. Assim na implementação de política de manutenção foi criado um plano de manutenção utilizando o sistema de gerenciamento para emitir ações automáticas através de ordens de serviço, em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha e a degradação dos componentes do sistema.

A missão era aumentar a confiabilidade destas máquinas com o objetivo de trazer a disponibilidade no sistema de ar a um patamar próximo a 98%, assim como nos dois primeiros anos. Com os cadastros realizados no sistema de gerenciamento, foi gerada as O.S’s “ordens de serviço” para que as autorizações de trabalho fossem efetuadas e nelas fossem discriminados os serviços que iriam ser executados, a liberação dos sobressalentes requisitados no almoxarifado e os itens novos cadastrados de acordo com o modelo proposto.

Toda periodicidade de manutenção dos compressores indicada na programação através da geração de O.S’s, foram seguidas fielmente pelo programa de manutenção preventiva recomendada pelo fabricante e que é encontrada nos manuais adquiridos durante sua aquisição inicial. Esse plano de manutenção é dividido em cinco modelos distintos, neles constam pontos de inspeção para avaliação dos componentes, peças a serem substituídas, coletas de medição pelo mantenedor e até mesmo a revisão geral do compressor. A Tabela 2 a seguir ilustra o plano de manutenção proposto

Tabela 2-Plano de manutenção dos compressores de ar

Plano de Manutenção Preventiva em Compressores de Ar						
Itens	Descrição de Atividades	Periodicidade em Horas de Operação				
		2000	4000	8000	16000	32000
1	Verificar display e configurar painéis digitais	x	x	x	x	x
2	Realizar leituras do compressor em trabalho (ar, óleo, água)	x	x	x	x	x
3	Verificar vazamentos de ar, água, óleo.	x	x	x	x	x
4	Verificar e limpar drenos de condensados	x	x	x	x	x
5	Verificar e medir ponto de orvalho	x	x	x	x	x
6	Verificar condensador e limpar externamente	x	x	x	x	x
7	Verificar condição de ventoinha de resfriador	x	x	x	x	x
8	Verificar e limpar filtro de admissão de ar	x	x	x	x	x
9	Fazer teste de vazamento em resfriador	x	x	x	x	x
10	Verificar e ajustar válvula de expansão do secador	x	x	x	x	x
11	Testar configuração de ventilador e interrupção de controle	x	x	x	x	x
12	Testar configuração do compressor e interrupção de controle	x	x	x	x	x
13	Verificar acoplamento	x	x	x	x	x
14	Verificar configurações do IHM do compressor	x	x	x	x	x
15	Verificar dispositivos de segurança	x	x	x	x	x
16	Verificar termostatos e pressostatos	x	x	x	x	x
17	Lubrificar rolamentos do motor elétrico	x	x	x	x	x
18	Verificar componentes elétricos	x	x	x	x	x
19	Verificar nível de óleo do compressor	x	x	x	x	x
20	Verificar fluxo de ar em resfriador	x	x	x	x	x
21	Substituir elementos do filtro de ar		x	x	x	x
22	Substituir filtros de óleo do compressor		x	x	x	x
23	Substituir óleo lubrificante do compressor		x	x	x	x
24	Substituir kit de reparo da válvula controladora carga/ alívio			x	x	x
25	Substituir válvula termostática			x	x	x
26	Substituir kit de reparo da válvula de pressão mínima			x	x	x
27	Substituir kit de reparo da válvula de injeção de óleo			x	x	x
28	Substituir kit de reparo da válvula de retenção			x	x	x
29	Substituir kit de reparo do dreno de água			x	x	x
30	Substituir pistão da válvula de admissão				x	x
31	Substituir elemento do acoplamento motor/compressor					x
32	Revisão geral de motor elétrico					x
33	Revisão geral mecânica do compressor de ar					x

Fonte- Elaborado pelo autor, (2017)

Esses modelos tem uma periodicidade que é contada por horas em operação, essas informações são consultadas pelo registro no contador do display e é um ponto de controle conhecido como horímetro.

Na primeira manutenção de 2000 horas, o mantenedor entre outras atribuições, deve realizar a coleta das horas de operação no display, essas informações alimentam o banco de horas cadastrado no sistema de gerenciamento e que por sua vez, disparam outras ações de manutenções quando seu tempo for atingido. As ações são divididas entre 2000 horas, 4000 horas, 8000 horas, 16000 horas, 32000 horas; sendo descritas entre elas uma totalidade de 33 ações de manutenção, mostradas na Tabela 2 acima.

Nos primeiros meses do programa os custos com manutenção foram elevados, mas se o resultado de 98% de disponibilidade fosse alcançado, seria o suficiente para compensar os custos com ar comprimido adicionais que a empresa consumiria com backup, como por exemplo os R\$ 241.922,44 no ano de 2015 ou os R\$ 487.055,52 em 2011 no seu pior ano, atingindo apenas 85,8% de disponibilidade. Para esse período de 2015, a explicação para baixa disponibilidade foi um problema pontual onde três dos compressores passaram um mês parados aguardando sobressalentes.

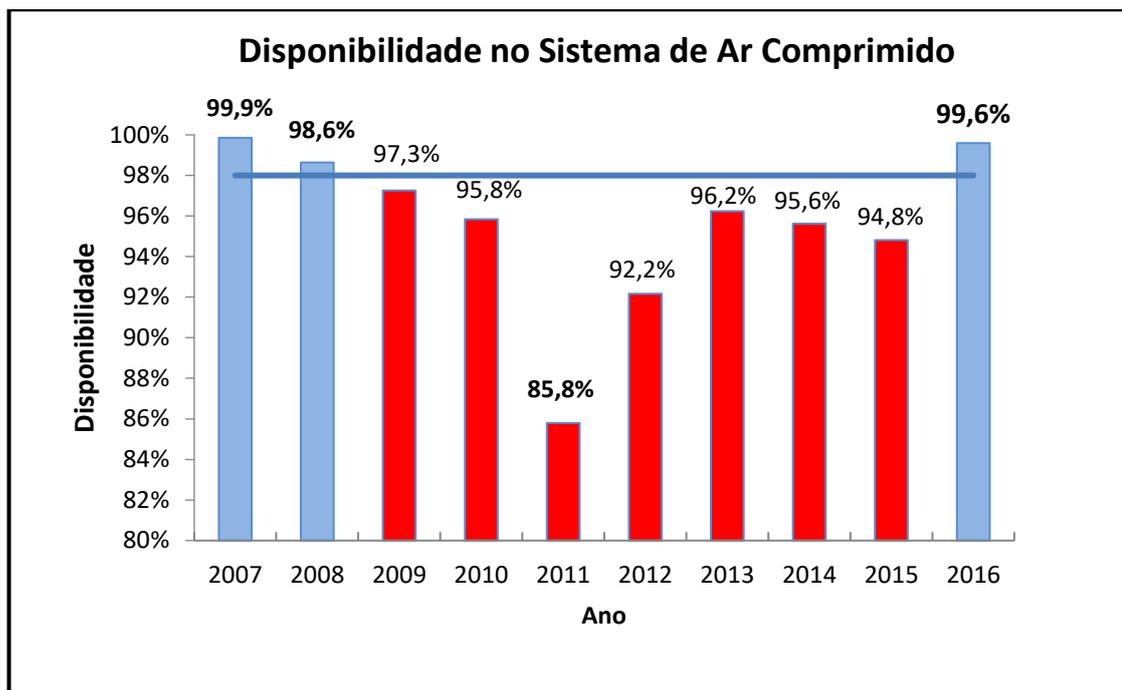
Após a execução do plano de preventiva, nos três primeiros meses de gerenciamento dessas atividades, alocação de recurso e manutenção seguindo essas recomendações, houve uma melhora significativa, principalmente no número de paradas emergenciais, foi computada no sistema uma redução de manutenção não planejada, pela primeira vez em anos as falhas estavam sendo antecipadas e a manutenção mais onerosa ao processo tinha sido reduzida.

Mas apenas uma avaliação qualitativa não é suficiente, seria preciso completar o período de um ano para haver uma comparação em relação aos outros anos e principalmente se a meta de 98% teria sido alcançada.

3.2 RESULTADOS ENCONTRADOS PARA O PROGRAMA PREVENTIVO EM 2016

Após o período de 2016 com essa política aplicada, houve um aumento significativo da disponibilidade do sistema para 99,6%, para um período registrado em apenas 36 horas de indisponibilidade. Como pode-se observar no gráfico de disponibilidade ilustrado na Figura 4, a seguir

Figura 4-Gráfico de disponibilidade para o período de 2007 até 2016



Fonte- Elaborado pelo autor, (2017)

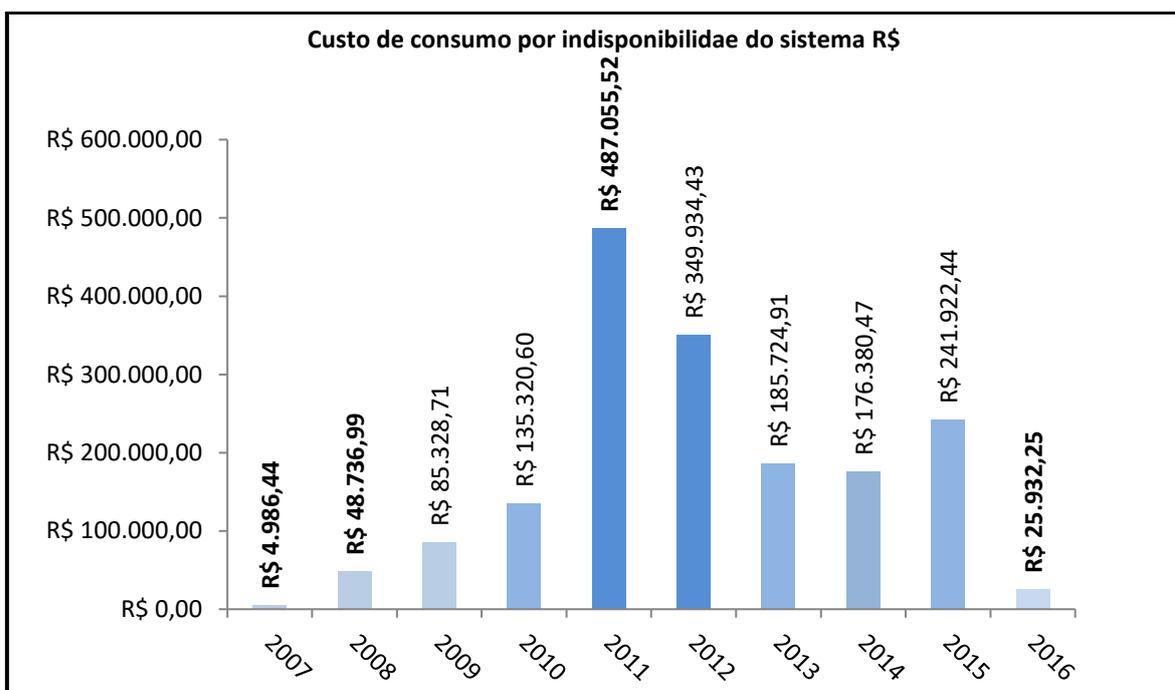
Os dados da Figura 4 acima, mostram um resultado significativo, onde 2016 foi a terceira vez em 10 anos que o sistema operando atingiu a meta de 98%, após 7 anos obtendo resultados abaixo do aceitável. A Figura 4 também mostra que a disponibilidade em 2016 se aproximou do mesmo patamar do seu primeiro ano, indicando que a manutenção preventiva independente dos anos, pode resgatar a condição básica desses compressores.

O resultado de 99,6% de disponibilidade, no ano de 2016, foi o elemento determinante para uma redução drástica do custo com a compra extra de ar comprimido “backup”, consumindo apenas 124.763 Nm³/h, o custo caiu para R\$ 25.932,25, uma redução de R\$ 215.990,19 comparado ao último ano, 2015 e uma queda de R\$ 461.123,27 na sua pior marca em 2011,

Esse sistema, onde envolve cinco compressores operou durante 9 anos mantida sob uma manutenção corretiva não planejada, sabe-se que essa política de manutenção é a mais onerosa para qualquer sistema mecânico, demanda de maior recurso humano, sendo a menos gratificante para qualquer instalação. Em 2016 houve diversos reparos nestes equipamentos seguindo um protocolo pré-estabelecido pelo fabricante, havendo reparos e substituições em diversos componentes. O resultado dessa mudança foi um aumento da confiabilidade no sistema de ar na planta, reduzindo assim o número de paradas não planejadas, os custos com backup de ar

adicionais foram controlados, tudo por causa de uma readequação dos planos de manutenção e uma estratégia seguida pelo setor, mas existia um outro elemento que tornava o processo ainda oneroso, o custo com manutenção. A Figura 5 a seguir ilustra os dados de custo de consumo por indisponibilidade do sistema, custo com o sistema backup.

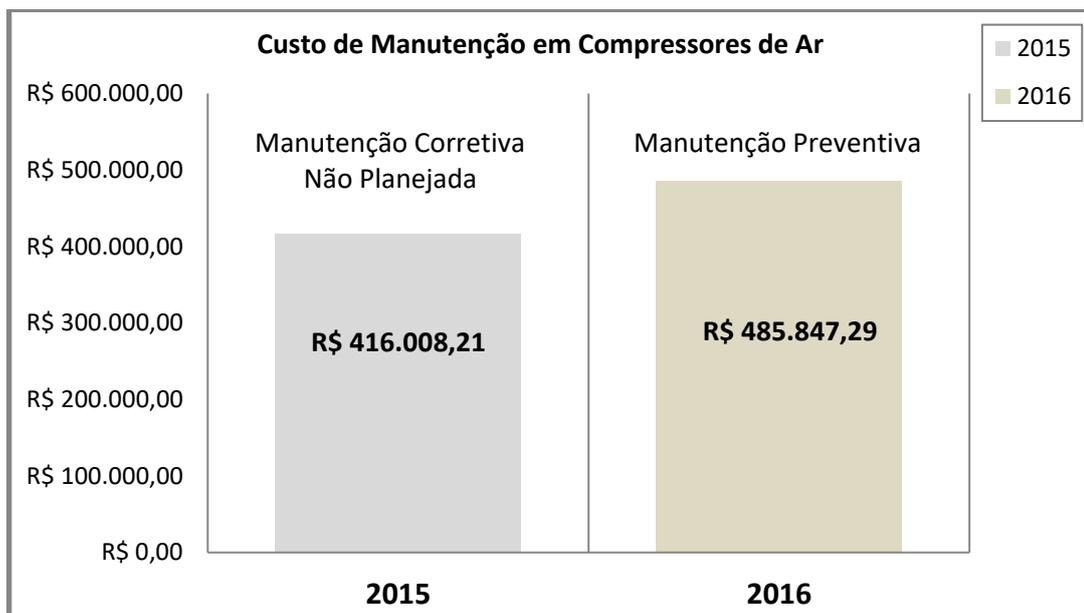
Figura 5-Gráfico do custo com backup sobre o período de 2007 até 2016



Fonte- Elaborado pelo autor, (2017)

Pode ser verificado no gráfico da Figura 5 acima que os custos de manutenção nos anos de 2015 e 2016 que são bem próximos, com um ligeiro aumento para 2016, utilizando uma política de manutenção que não avalia os componentes e sim o substitui na base tempo seguindo determinações do fabricante. Apesar do custo em 2015 ser um pouco inferior, a baixa confiabilidade dos compressores gerou resultados insatisfatórios. Em 2016 a estratégia de manutenção preventiva trouxe uma alta disponibilidade, como já abordado anteriormente, mais um custo relativamente alto de manutenção, aumentando em R\$ 69.839,08 entre os anos, com valor de R\$ 485.847,29 para 2016. A Figura 6 a seguir, ilustra o custo de manutenção no período 2015 a 2016.

Figura 6- Custo de manutenção dos compressores no período de 2015 e 2016



Fonte- Elaborado pelo autor, (2017)

O alto custo de manutenção em 2016 também pode ser associado ao acúmulo de horas em operação dos compressores ao longo dos anos, porque este problema fez disparar no programa a recomendação para substituição de vários componentes acumulados anteriormente e talvez se o programa preventivo estivesse ativo nos outros anos não teriam tantas ações em um período tão curto de um ano.

Talvez os custos de 2016 fossem menores, mas a análise não pode ser feita por suposições, é preciso analisar através dos dados, os quais demonstraram que em 2016 o resultado para a produção foi bom, mas para o setor da manutenção o custo ainda estava elevado.

Assim, o objetivo para 2017 foi criar um programa de manutenção eficaz suficiente que conseguisse manter uma disponibilidade acima da meta estabelecida de 98% e tornar o custo de manutenção mais baixo comparado ao último ano avaliado. Na implementação do plano de manutenção dos compressores (Tabela 2) pode ser verificado que nas ações recomendadas, existem 13 itens de reparo e substituição. Seria possível criar um acompanhamento destes itens, avaliando a condição dos componentes e assim modificar novamente a política de manutenção destes compressores para a base condição utilizando técnicas preditivas? A partir de 2017 foi estabelecida uma nova política de manutenção preditiva com a finalidade de reduzir os custos de manutenção mantendo uma disponibilidade elevada no sistema de ar comprimido.

3.3 IMPLEMENTAÇÃO DA POLÍTICA DE MANUTENÇÃO PREDITIVA EM 2017

Segundo Tales (2019) a manutenção preditiva é baseada na tentativa de definir o estado futuro de um equipamento ou sistema, por meio de dados coletados ao longo do tempo por uma instrumentação específica, verificando e analisando a tendência de variáveis do equipamento. Se caracteriza pela previsibilidade da deterioração do equipamento, identificando e quantificando a criticidade das falhas ainda em estágio inicial, pelo meio do monitoramento dos parâmetros principais com o equipamento em funcionamento. A proposta é realizar o monitoramento regular das condições mecânicas, eletrônicas, pneumáticas, hidráulicas e elétricas dos equipamentos e instalações e, ainda, monitorar o rendimento operacional quanto ao processo.

Os objetivos principais na aplicação da política de manutenção preditiva para esse sistema é o monitoramento da condição e inspeções programadas, atendendo as seguintes necessidades:

- Determinar antecipadamente a necessidade de um serviço de manutenção numa peça ou componente específico dos compressores de ar.
- Eliminar desmontagens desnecessárias para substituição de componentes como ocorre na manutenção preventiva, reduzindo assim os custos com reparo.
- Manter uma alta disponibilidade do sistema, equivalente a que foi alcançada na manutenção preventiva aplicada em 2016.
- Reduzir a manutenção corretiva não planejada, pois manutenções fora da programação tornam o custo de reparo mais alto.
- Impedir o aumento de danos, pois operar o equipamento até atingir a falha funcional torna o custo de reparo mais alto.
- Aproveitar a vida útil total dos componentes e do equipamento aumentando intervalos entre manutenções.

Dos 33 itens do programa de manutenção preventiva criado em 2016 (Tabela 2), foi mantido para 2017 o plano periódico de inspeção para 2000 horas de operação e retirados os demais 10 itens do plano preventivo de 4000, 8000, 16000, 32000 horas que contemplavam substituição de componentes periodicamente, por rotas de inspeção para controle preditivo e por análise de inspeção da condição, conforme pode ser visto na Tabela 3 do plano de manutenção preditivo dos compressores:

Tabela 3-Acumulado dos pontos de controle para tipos de manutenção

Plano de Manutenção Preditiva em Compressores de Ar		
Descrição das Atividades	Tipo de Manutenção	
	Inspeção da Condição	Manutenção Preditiva
Inspecionar os componentes do sistema seguindo as recomendações do fabricante para cada 2000 horas de operação.	20 pontos de controle	---
Substituir os componentes degradados através da condição analisada seguindo de um acompanhamento preditivo e estado.	---	10 pontos de controle

Fonte- Elaborado pelo autor (2017)

Foram criadas rotas semanais utilizando técnicas preditivas para acompanhar a condição dos itens. As técnicas analisam a degradação e então, os componentes só serão substituídos quando identificado uma condição próxima da falha. Também foram cadastradas em 2017 no sistema de gerenciamento da manutenção, as rotas semanais de inspeção preditiva, na qual, o técnico de manutenção realiza as coletas dos dados com o auxílio de um *tablet* e um analista avalia os dados coletados em campo, gerando ações através da abertura de solicitações de serviço, se identificado ou previstas anomalias.

O desafio foi identificar qual a melhor técnica que acompanhasse e gerasse uma boa previsibilidade para degradação dos componentes e assim eliminando custos desnecessários com substituições prematuras de itens recomendados pelo fabricante, como eram anteriormente realizados pela manutenção base tempo, a preventiva. A proposta era analisar individualmente a ferramenta que foi aplicada no programa de manutenção preditivo e quais os itens de monitoramento foram inseridos em seu acompanhamento.

3.3.1 Ferramenta de análise de tendência para o programa de monitoramento preditivo

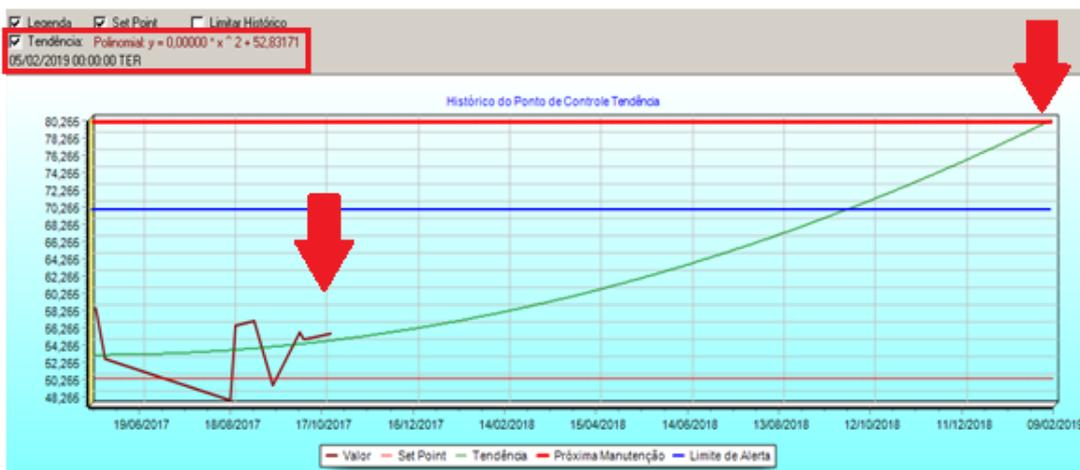
A técnicas inseridas no programa preditivo, embarcadas no sistema de gerenciamento é a análise de tendência. A análise de tendência é uma metodologia que avalia dados do passado e do presente para prever como o objeto analisado se comportará no futuro. Essa técnica

especificamente, para esse trabalho traz resultados sobre componentes que se deterioram ao longo do tempo. Através do método de correlação de dados pode ser avaliada as variáveis coletadas ao longo do tempo e prever para o futuro quando o componente do sistema irá atingir uma condição de falha, assim possibilita ao planejamento, a programação para a substituição do componente antecipadamente. Esta ação em realizar o reparo o mais próximo possível da falha dá uma grande vantagem em relação à redução do custo de manutenção, já que gera uma diminuição na frequência de reparos desnecessários, mantendo assim o equipamento disponível ao máximo.

Esta técnica foi utilizada principalmente em componentes como elementos filtrantes e trocadores de calor pois, suas variáveis de desempenho se comportam de forma crescente ao longo do tempo e sofrem danos por obstruções, deteriorações, ressecamento, impregnações de todos os tipos, tornando bastante promissor a tentativa de prever o estado futuro desses componentes utilizando a metodologia de análise de tendência.

O sistema de gerenciamento possui o recurso para compilar os dados coletados, traçando uma curva ao longo do tempo e utilizando uma relação estatística de correlação. Assim, é possível identificar entre a linear, logarítmica, exponencial, polinomial, de potencial, qual a curva com correlação mais forte, e projetar para o futuro quando o componente analisado atingirá o nível de alarme indesejado. Tornando mais fácil planejar as ações verificando se há em estoque o componente avariado, reduzindo bastante o tempo médio de reparo (MTTR). O gráfico da Figura 7 a seguir, ilustra um dos pontos de controle para análise de tendência.

Figura 7-Acompanhamento gráfico de um dos pontos de controle para análise de tendência



Fonte- Software de manutenção, (2017)

Pode-se observar no gráfico da Figura 7 que os dados coletados no período de 17/10/2017, com uma projeção de falha para o alarme de 80°C em um dos componentes, sua curva com correlação mais forte, a polinomial, projeta para o futuro seu alarme para data 05/02/2019.

Já a Tabela 4 mostra a estratificação do plano de manutenção preditiva do compressor

Tabela 4- Extração da tabela 2 do plano de manutenção

Plano de Manutenção Preditiva em Compressores de Ar					
Itens	Descrição de Atividades	Periodicidade em Horas de Operação			
		4000	8000	16000	32000
21	Substituir elementos do filtro de ar	T	T	T	T
22	Substituir filtros de óleo do compressor	T	T	T	T
23	Substituir óleo lubrificante do compressor	P	P	P	P
24	Substituir kit de reparo da válvula controladora carga/ alívio		IC	IC	IC
25	Substituir válvula termostática		T	T	T
26	Substituir kit de reparo da válvula de pressão mínima		T	T	T
27	Substituir kit de reparo da válvula de injeção de óleo		T	T	T
28	Substituir kit de reparo da válvula de retenção		IC	IC	IC
29	Substituir kit de reparo do dreno de água		IC	IC	IC
30	Substituir pistão da válvula de admissão			IC	IC
31	Substituir elemento do acoplamento motor/compressor				IC
32	Revisão geral de motor elétrico				P
33	Revisão geral mecânica do compressor de ar				P

Legenda: T- Análise de Tendência/ IC- Inspeção periódica por condição/ P- Preventiva base tempo

Fonte- Elaborado pelo auto, (2017)

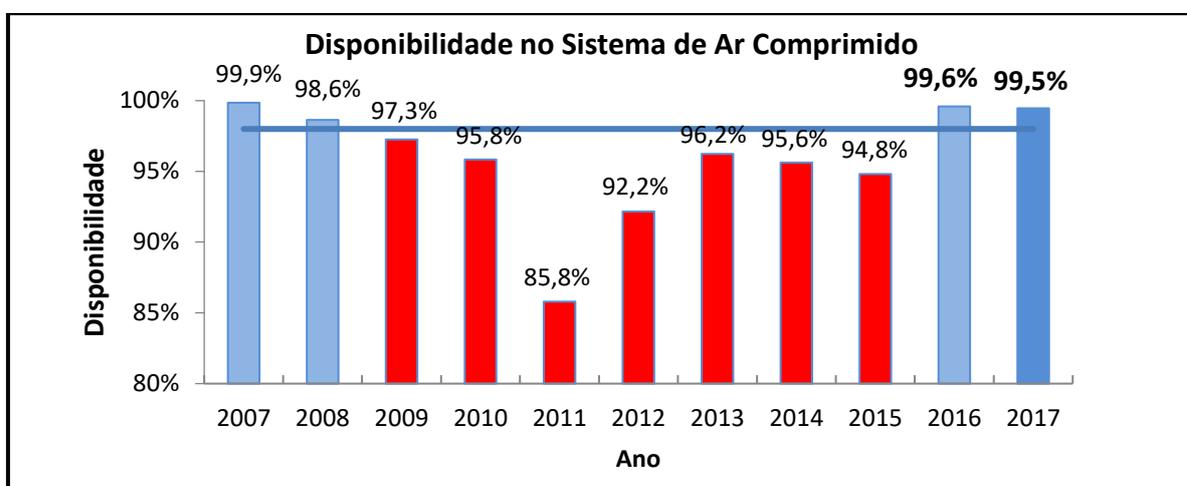
Pode se verificar na Tabela 4 a extratificação do plano de manutenção já mencionada anteriormente da tabela 2, que diversos itens que antes no programa de 2016 eram substituídos na base tempo pela manutenção preventiva, em 2017 passaram a ser substituídos através da base condição, por O.S's do programa preditivo que seriam disparados pelo sistema quando os componentes atingissem um valor próximo do alarme ou quando curva de tendência atingisse uma previsão próxima de uma data eminente.

Esse modelo de manutenção foi seguido durante todo período do ano de 2017, foi verificado um número bastante reduzido de componente que antes, em 2016 eram substituídos, onde em 2017 passaram a ser monitorados, inspecionados, utilizando recursos metodológicos e os conceitos fundamentados na política de manutenção preditiva.

3.3.2 Resultados encontrados para o programa preditivo em 2017

Para o ano de 2017 houve uma redução considerada sensível para esse sistema de 0,1% na disponibilidade do sistema gerando um aumento nos custos com *backup* de R\$ 8.735,18, mas foi possível também através da implementação da política de manutenção preditiva uma redução significativa dos custos de manutenção, onde em 2016 foi gasto R\$ 485.847,29, para R\$ 201.463,58 no período de 2017, um ganho de R\$ 284.383,71, como pode ser observado nos gráficos da Figura 8 e 9, respectivamente.

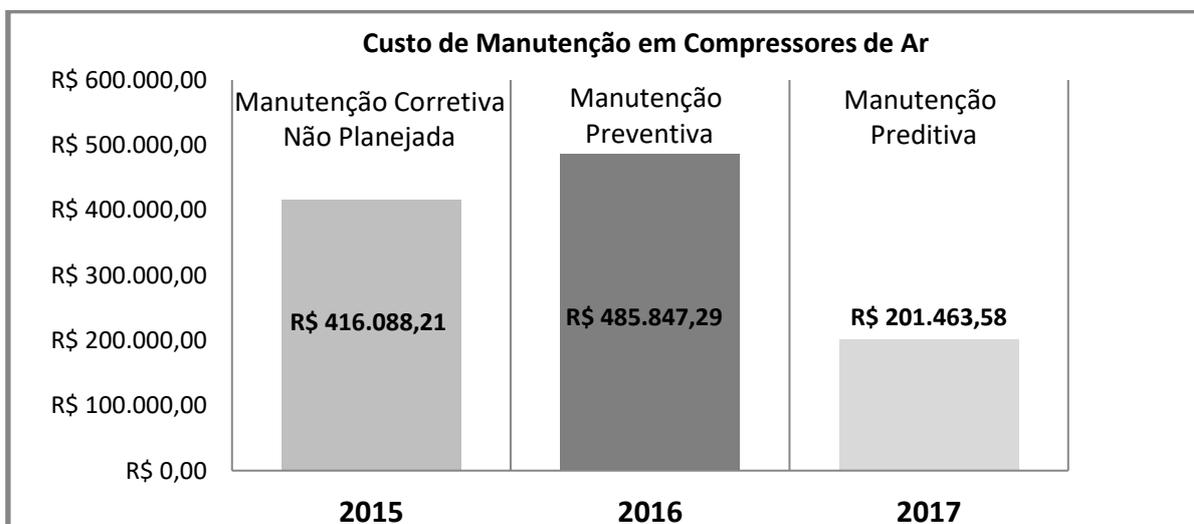
Figura 8-Gráfico de disponibilidade para o período de 2007 a 2017



Fonte- Elaborado pelo auto, (2021)

Já a Figura 9, mostra os dados referentes aos custos de manutenção no período de 2015 a 2017.

Figura 9-Custo de manutenção no período de 2015, 2016, 2017



Fonte- Elaborado pelo auto, (2021)

Como pode ser observado, o objetivo foi cumprido, apesar do excelente resultado de disponibilidade em 2016 reduzindo o custo com *backup* de ar comprimido, um gasto com manutenção de R\$485.847,29 para cinco equipamentos em um sistema de utilidades dentro de uma planta petroquímica era um incômodo. Foi possível se reorganizar em 2017, implementar novas metodologias e utilizar recursos dentro dos conceitos de uma política de manutenção preditiva, o resultado foi uma redução dos custos com manutenção para R\$ 201.463,58, mantendo uma mesma disponibilidade em relação ao ano anterior.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O propósito deste trabalho é analisar a disponibilidade de alguns equipamentos que compõem o sistema de ar comprimido, onde o processo passou por uma modernização ou retrofit dentro da indústria petroquímica no período de 2007. O trabalho apresentou, como novos projetos de equipamentos e novas tecnologia embarcadas para seu controle podem impactar negativamente a produção se não houver um bom engajamento por parte da manutenção. O intuito desses modernos e melhorados projeto é tornar os processos mais eficientes, o modelo de negócio cada vez mais competitivo, mas as vezes o despreparo da organização para a mudança pode vir a acarretar resultados até mesmo piores que as tecnologias anteriores, como foi observado na figura 8, no período entre 2009 a 2015. Pode ser observado na figura 8 também em seus primeiros anos de operação, que bons resultados após iniciado a implementação desses sistemas modernizados podem causam para todos uma falsa sensação de que eles não quebram, mas em um período posterior, com a falta de ações proativas por parte da manutenção a conta vai chegar e os resultados negativos irão aparecer. Através dos resultados encontrados em 2016 e 2017, o artigo ressalta a importância do gerenciamento da manutenção, bem como, a necessidade da manutenção em garantir a sua função principal, manter a integridade dos ativos, até novos ativos, já que, eles também sempre vão necessitar da manutenção, basta compreende-los e se adequar a real necessidade.

Realizar um programa de manutenção baseado nas recomendações do fabricante, levando em consideração apenas o contexto operacional é suficiente para garantir uma alta disponibilidade do equipamento, mantendo o sistema seguro para as pessoas e instalações, como foi mostrado neste artigo através da política de manutenção preventiva implementada no ano de 2016.

Normalmente, os fabricantes de equipamentos estabelecem de forma sistemática recomendações de inspeções, reparos e substituições de componentes em seus maquinários. Sabe-se também que em suas recomendações, a frequência para substituição de componentes é calculada com uma certa margem de segurança, pois é exigido a ele um bom desempenho de seus equipamentos, tornando desta forma um negócio atrativo também para representações comerciais. A proposta mostrada para 2017 foi em utilizar recursos da preditiva, principalmente o método da análise de tendência para estender essas margens estabelecidas pelo fabricante, eliminando reparos desnecessários, reduzindo assim no acumulado esses custos exagerados com manutenção. Os resultados computados comparando o ano de 2015 e 2017, se somado os custos com manutenção e os custos com backup devido a indisponibilidade do sistema de ar foi uma redução de R\$ 340.961, 92 ano, isso mostra o que uma política de manutenção reativa mesmo para sistema modernizados podem impactar.

Por fim, espera-se que esse artigo fomente a possibilidade de utilização dos recursos preditivos nesses novos modelos de sistemas compactos que estão surgindo na atualidade, quando houver dentro da empresa uma estrutura de manutenção organizada, assumindo assim riscos controlados, como objetivo de alcançar resultados ainda maiores que apenas recomendações do fabricante, minimizando o impacto operacional, trazendo assim um melhoria na disponibilidade operacional bem como, custos otimizados para a organização.

REFERÊNCIAS

LAFRAIA, J.R., *Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade*. Rio de Janeiro, Qualitymark, 2014.

TELES, JHONATA., *Bíblia do RCM: O guia completo e definitivo da manutenção centrada na confiabilidade na indústria 4.0*, ENGETELES Editora, 2019.

TORRES, EDUARDO MCMANNIS, *A Evolução da Indústria Petroquímica Brasileira*. Revista Química Nova, Porto Alegre- RS, Vol.20, p. (49 a 53), especial 1997.