

KAUÊ ALVES PEREIRA ZÓIA

**CICLO PDCA APLICADO NA MANUTENÇÃO DE SISTEMAS
DE REFRIGERAÇÃO**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

2018

KAUÊ ALVES PEREIRA ZÓIA

**CICLO PDCA APLICADO NA MANUTENÇÃO DE
SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação,
apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica
da Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecatrônica

Área de habilitação: Engenharia Mecatrônica

Orientador: Prof. Dr. Wisley Falco Sales

Uberlândia - MG
2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela graça da vida concedida a mim, para que eu possa buscar conhecimento sob sua proteção.

Agradeço também ao apoio de minha família no decorrer de toda a trajetória de minha graduação, por todo empenho em minha vida acadêmica e suporte incondicional nos momentos em que mais precisei.

Muito grato sou pela oportunidade de aprender e conviver com meus professores, especialmente ao meu professor orientador Dr. Wisley Falco Sales, que com empenho e paciência me guiou no decorrer deste trabalho.

Agradeço a meus amigos, que compartilharam desta caminhada em busca do conhecimento comigo.

De maneira geral, agradeço a todos que convivi e pude aprender, pois com certeza contribuíram para a finalização deste curso de graduação que inicia também mais uma etapa na busca pelo conhecimento e realizações profissionais.

RESUMO

Sistemas de refrigeração industriais possuem, em sua grande maioria, inúmeros equipamentos que operam durante longos períodos de tempo e se estendem por longos caminhos. A manutenção deste se faz de extrema importância para seu trabalho com eficiência. O investimento em sistemas de ponta, bem como o alto consumo energético faz deste um ponto bastante delicado para a companhia administradora do local ao qual vai ser aplicado, seja na indústria, em centros de eventos ou centros comerciais. O emprego de ferramentas de gestão no planejamento e gestão da manutenção destes sistemas vem com o intuito não só de reduzir o número e ocorrências de falhas, mas principalmente para auxiliar o time de manutenção na busca pela melhoria contínua destes sistemas, aplicando planos de ação que conduzem o operador no caminho certo. O ciclo PDCA é, assim, uma das principais ferramentas para o aumento da qualidade do serviço destas máquinas e a busca pelo melhor que este tem a oferecer. O objetivo deste trabalho foi mostrar a aplicação da ferramenta de PDCA na manutenção de um sistema de refrigeração de um "shopping center", munindo o responsável pela manutenção com o máximo de conhecimento possível acerca do tema, bem como com dados que serão de suma importância na decisão de prioridades de manutenção e operação do sistema.

Palavras Chave: Refrigeração; Ferramentas de Gestão; Manutenção.

ABSTRACT

Industrial refrigeration systems have, for the most part, numerous equipment that operate over long periods of time and extend along long paths. The maintenance of this becomes extremely important for your work efficiently. The investment in state-of-the-art systems as well as the high energy consumption makes this a very delicate point for the management company of the place to which it will be applied, be it in industry, event centers or shopping centers. The use of management tools in the planning and management of the maintenance of these systems comes not only to reduce the number and occurrences of failures, but mainly to assist the maintenance team in the search for continuous improvement of these systems, applying action plans that the operator on the right path. The PDCA cycle is thus one of the main tools for increasing the quality of service of these machines and the search for the best it has to offer. The objective of this work is to show the application of the PDCA tool in the maintenance of a cooling system of a shopping center, providing the maintenance person with the maximum possible knowledge about the subject, as well as data that will be of great importance in the decision of system maintenance and operation priorities.

Key-words: Refrigeration; Management Tools; Maintenance.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
1.1 OBJETIVOS	8
1.1.1 Objetivo Geral	8
1.1.2 Objetivos específicos	8
1.2 JUSTIFICATIVA	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1 Tipos de Manutenção	9
2.2 Ferramentas de Gestão e suas aplicações na Manutenção	12
2.3 Sistema de Refrigeração com base em Central de Água Gelada	19
3. MATERIAIS E MÉTODOS	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
5. CONCLUSÕES	31
6. REFERÊNCIAS	33

1. INTRODUÇÃO

Se antes considerada por uma grande quantidade de pessoas um mal necessário, a manutenção começou a ganhar espaço e hoje já é considerada uma função estratégica para aumento de lucro, diminuição e corte de gastos, entre outros. O aumento da atenção que é dada à produtividade de uma empresa, bem como a qualidade de entrega de seus produtos, a crescente e também recente preocupação com questões ambientais, a segurança existente no ambiente produtivo, respeito a normas que regulam as atividades produtivas são vários exemplos de motivações que propiciaram o crescimento da importância que é dada à manutenção.

Em uma grande parte das empresas brasileiras, também é notável o envelhecimento de maquinário e de tecnologias que vem sendo utilizadas nos últimos 20 ou 30 anos ininterruptamente. Pode-se também adicionar aos motivos do aumento de atenção que vem sendo dada à manutenção é a crescente automatização e emprego de novas tecnologias ao processo produtivo.

O emprego da Gestão de Qualidade Total, a conquista de certificações como a ISO 9001 abriram espaço para a manutenção, provando que um sistema bem gerido pode ser a chave do sucesso na busca por cortes de gastos e aumento de lucros.

No cenário brasileiro atual de profundas mudanças econômicas, percebe-se que a manutenção já conquistou grande respeito, porém em assuntos relacionados à vida cotidiana das pessoas, muitas vezes corremos risco de segurança por não prestar a devida atenção, causando até mesmo o desperdício de recursos.

O objetivo da manutenção no processo produtivo é minimizar ao máximo as paradas e manter o fluxo de funcionamento das máquinas.

Na busca pela melhor gestão dos processos de manutenção de empresas, os administradores e gestores destes perceberam que, unindo poderosas ferramentas de gestão do processo produtivo às rotinas de manutenção preventiva, preditiva e até mesmo corretiva, suas empresas poderiam alcançar melhores resultados e até mesmo se tornarem referência no mercado em torno de como gerir a manutenção.

Paradas não programadas de maquinário durante uma rotina de produção, por exemplo, podem ser causadas por problemas como a existência de falhas originadas na intervenção inadequada prévia e defeitos que podem ter se propagado de um componente para o outro dentro da máquina. Isto faz com que as paradas sejam mais prolongadas do que em uma manutenção corretiva planejada.

Dessa forma podemos perceber que o enfoque da manutenção preditiva e preventiva é o de evitar que a corretiva aumente os gastos das empresas com Manutenção, bem como evitar que estas tenham seu lucro diminuído por conta de um determinado tempo que a linha produtiva se encontrou parada devido a quebra de maquinário.

Atualmente a técnica de manutenção deve ser necessariamente desenvolvida sob a estratégia de redução dos tempos de intervenção nos equipamentos, buscando obter o menor tempo de indisponibilidade para o serviço.

A conscientização não só de ambientes produtivos, mas também da sociedade como um todo a respeito da importância da manutenção de nossas vias, parques e patrimônios, por exemplo, trará uma mudança de cultura que beneficiará a sociedade como um todo. Esta cultura deve ser disseminada desde a escola para as crianças, passando pelos setores industrial, universitário e também pela forma como o Governo toma suas ações.

Para que a cultura de manutenção seja disseminada e conquiste seu devido valor dentro da consciência da sociedade brasileira, é preciso que não se meça esforços no emprego de recursos materiais e humanos na melhoria de seus processos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral:

O objetivo geral deste trabalho foi o de apresentar maneiras de empregar ferramentas de gestão no processo de manutenção de um sistema de refrigeração de um centro comercial, um *Shopping Center*.

1.1.2 Objetivos específicos:

1. Entender conceitos dos principais processos empregados na manutenção, visando o entendimento de técnicas modernas;
2. Compreender a necessidade do conhecimento histórico sobre a máquina a qual será realizada a manutenção;
3. Buscar conceitos inovadores que possam contribuir para a manutenção de sistemas de refrigeração;
4. Abordar a situação atual de uma determinada máquina e vislumbrar o seu funcionamento no longo prazo;
5. Estabelecer possíveis limitações para o uso da máquina, bem como entender quando e como esta pode vir a ter paradas;
6. Dar garantias em relação ao trabalho de um determinado sistema, enxergando até quando este poderá trabalhar sem maiores problemas.

1.2 JUSTIFICATIVA

O emprego de ferramentas de gestão em processos de manutenção busca aumentar a eficiência no modo como estes trabalham, proporcionando todas as condições para a produção não atrapalhar seu desenvolvimento e continuidade, além de acontecer de forma competente e eficaz.

Este trabalho oferece elementos significativos na tomada de decisão para gestores adotarem em seus times uma forma de pensar uma manutenção eficiente, competente e de qualidade, que não fere ou coloca em risco a segurança dos que estiverem ao seu alcance. O mesmo pode trazer benefícios para pesquisas desenvolvidas nesta área, assim como da observação de fatores importantes no processo de desenvolvimento do cenário de manutenção atual, realizado em todo âmbito industrial até o de centros comerciais, onde este trabalho será alocado, por meio da análise de ocorrências de cada equipamento e de seus componentes em sistemas de refrigeração.

Portanto, o presente projeto se justifica no sentido da busca por melhores formas de gestão de processos de manutenção, cortando custos para empresas e aumentando seus lucros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

É relevante, em um contexto de manutenção, entender os termos básicos e princípios que norteiam as atividades relacionadas a este processo. O mau entendimento pode custar muito caro quando não dado seu devido valor. Mesmo no contexto atual de grande popularidade de alguns termos e aparente completo entendimento por parte dos profissionais das áreas de engenharia, é comum se encontrar pessoas em todos os níveis hierárquicos de empresas que se confundem e algumas vezes até mesmo não conhecem a essência dos

conceitos que norteiam suas atividades diárias. Técnicos, Gerentes, Supervisores e até Diretores acabam se atrapalhando nos conceitos e definições acerca deste assunto.

Pensando no conceito e na definição do termo Manutenção, tem-se que esta é "a combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida" (NBR 5462-1994).

Portanto, se observa que basicamente as atividades e processos de manutenção existem e são empregadas de modo a manter equipamentos e instalações ou recolocá-los em funcionamento. Quebras e paradas provenientes de seu uso e desgaste são normais e irão ocorrer em qualquer local de trabalho, porém a forma como esta manutenção é gerida se faz de fundamental importância para o menor impacto no processo produtivo.

Uma empresa com cultura fraca voltada à manutenção pode vir a sofrer forte influência na qualidade final de seu produto e na produtividade que a companhia está conseguindo entregar para produzi-lo.

Infelizmente, muitas pessoas envolvidas no meio da manutenção podem vir a se comportar de maneira contrária ao emprego de técnicas atuais e inovadoras. É comum sentir uma certa contrariedade de certas pessoas quando técnicas novas começam a ser implementadas, mudando suas rotinas e processos. Algumas formas de resolver certos problemas, por mais que possam estarem sendo aplicadas há anos, podem não ser a melhor maneira de se conduzir uma atividade de manutenção.

Assim, não somente se tem que preocupar com a pesquisa e descoberta de novas técnicas de gestão dos sistemas de manutenção, mas também em como aplicá-las, para melhorar também a forma como os profissionais da área exercem suas atividades.

Um conceito bastante interessante na área da manutenção é de que as atividades e processos desta devem não somente focar em manter o maquinário e instalações de uma determinada empresa, mas também na melhoria da forma como estes estão trabalhando. Como exemplos, pode-se citar uma instalação elétrica que possa estar com seu consumo excessivo devido a grandes perdas no seu caminhamento ou até mesmo um determinado motor que consome muito mais energia por não possuir correta lubrificação de suas partes.

Tomando como base que a manutenção tem papel primordial na melhoria dos processos produtivos inerentes a empresas, pode-se perceber a intercambialidade desta com o desenvolvimento de novos produtos, por exemplo. Estas atividades de melhoria poderão originar a componentes e/ou sistemas modificados, mais modernos e capazes de melhor atender as demandas da produção. Peças mais resistentes, confiabilidade de maquinários e maior atualização tecnológica são exemplos de resultados que podem surgir se forem tomadas as devidas atenções e gerirmos os sistemas de manutenção de maneira correta.

2.1 Tipos de Manutenção

Embora bastante popular, como já pontuado neste trabalho é muito comum encontrar profissionais da área de manutenção com algumas dúvidas a respeito da definição dos diferentes tipos de processos existentes dentro da manutenção. Assim é de fundamental importância se entender cada tipo, conforme apresentado a seguir.

1. Manutenção Corretiva

É o tipo de manutenção necessária quando não se espera que haverá alguma parada ou interrupção da atividade normal de uma determinada instalação. Pode estar associada com a

má gestão de recursos de manutenção em uma determinada organização, porém nem sempre se faz por este motivo, pois a previsão de falhas se dá por meio da previsão de um determinado tempo de desempenho. Quando a previsão é feita de maneira errada, também se faz necessária a manutenção corretiva para a volta da normalidade. Este tipo pode acarretar na parada por uma pequena ou grande quantidade de tempo, e quanto maior, mais caro se torna.

As paradas de manutenção corretiva podem ser divididas em 2 grandes grupos que abrangem a maior parte de classificação dos casos:

Manutenção Corretiva Não Planejada: não há indício ou previsão alguma de que ocorrerá a falha daquele determinado maquinário. É feita a correção de um problema de maneira aleatória, contando com a expertise do técnico em manutenção para a solução de seu problema, uma vez que não havia preparação alguma para o evento. Quando ocorre, se faz pelo fato de que o desempenho previsto (se previsto) foi maior que o desempenho real da peça, por exemplo. Altos custos e perda de produtividade são consequências fortemente atreladas a este tipo de manutenção.

Manutenção Corretiva Planejada: Muitas vezes empresas tomam a decisão de operar um determinado equipamento até a sua falha. Quando esta ocorre, é quando a manutenção corretiva planejada faz sua vez. Pode ocorrer também em função de um acompanhamento preditivo e detectivo. Quando uma determinada máquina, peça ou instalação possui alta complexidade ou custo para planejamento de parada, este é o momento em que gestores decidem por optar pelo uso da manutenção corretiva planejada.

2. Manutenção Preventiva

Um dos principais pontos a serem analisados quando se fala de manutenção preventiva é quem conservador será o planejador da manutenção no momento da definição do intervalo de tempo ao qual aquela determinada máquina será exposta. O ideal nesta situação é encontrar o meio-termo entre se correr risco de ter de utilizar a manutenção corretiva e o gasto excessivo com manutenção preventiva ocorrendo antes do tempo necessário.

Este tipo de manutenção obedece um planejamento baseado em experiências ou sobre estudos relacionados a durabilidade do bom funcionamento de uma determinada instalação, por exemplo.

Muito relacionada com a segurança dos que estão ao redor daquela máquina, complexidade do sistema ou à dificuldade de se fazer uma inspeção preditiva/ detectiva, o emprego desta manutenção reflete também a cultura da organização à qual se está inserida.

3. Manutenção Preditiva

Este tipo de manutenção tem a seu favor a possibilidade de aumento da qualidade de operação de equipamentos, aliada ao também importante aumento do intervalo de tempo de funcionamento deste. A manutenção preditiva se faz do conjunto de atividades de acompanhamento de parâmetros e características mutáveis do maquinário que indicam o seu desempenho e a sua performance de modo a identificar necessidade de parada ou intervenção.

É grande o número de empresas existentes hoje no Brasil especializadas na manutenção preditiva de equipamentos, sejam estes por análise de vibração, termografia, análise e inspeção de trincas, medição de espessuras, etc.

Este tipo de manutenção opera como uma forma de gangorra em relação aos tipos de manutenção corretiva e preventiva, uma vez que quanto maior seu emprego, menor será

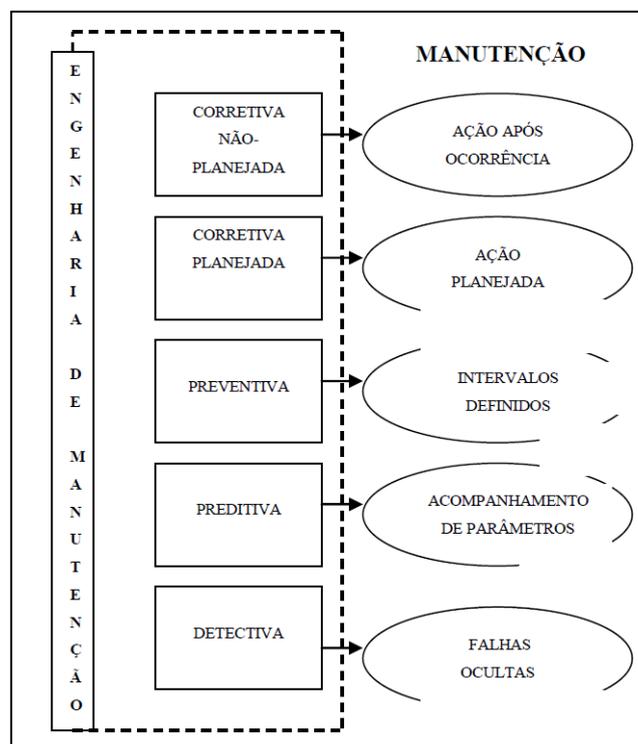
necessário o uso de recursos nas outras duas. Sobre benefícios advindos da manutenção preditiva, podemos citar o fim das trocas de peças e intervenções preventivas desnecessárias, redução do custo e prazos de intervenção, aumento da disponibilidade de equipamentos e aumento da segurança da operação, diminuição da ocorrência de quebras de componentes que podem causar o aparecimento de problemas secundários em outras peças.

4. Manutenção Detectiva

Geralmente ligado a eventos de proteção ou comando, este tipo de manutenção visa encontrar falhas na grande maioria do tempo ocultas ou imperceptíveis sobre uma determinada operação. Como exemplo para este tipo de evento, podemos citar a falha e consequente vazamento de uma vedação de bomba hidráulica gerando impactos na segurança, ao meio ambiente e à boa continuidade de uma determinada operação.

Podemos perceber que com o aumento da quantidade de sistemas automatizados e monitorados por sistemas de instrumentação, é perceptível o aumento da atenção dada à manutenção detectiva no contexto atual de empresas.

Figura 1: Tipos de manutenção



Fonte: (KARDEC & NASCIF, 2009)

5. Manutenção Autônoma

Os processos envolvidos na chamada Manutenção Autônoma são todos pensados de maneira a diminuir os gastos de companhias e empresas com os equipamentos de produção. É um processo pensado de maneira a diminuir a distância entre o operador e o determinado

maquinário que este opera cotidianamente. Otimizando esta habilidade do colaborador, muitas das vezes sem experiência alguma de conceitos e termos vinculados à Manutenção, torna o processo fabril mais contextualizado e enérgico.

Esta aproximação entre o operador e a máquina operada gera eficiência no processo produtivo e na manutenção, uma vez que a chance desta máquina vir a quebrar ou ser um problema à companhia é bem menor se comparada ao caso de um operador que pouco conhece do maquinário disponível à ele, mais sucinto assim a cometer equívocos que colocam a segurança dele próprio, das pessoas ao seu redor e por último da própria máquina em risco, por exemplo.

6. Manutenção Pró-Ativa

Este último tipo de manutenção abordado neste trabalho vem se tornando bastante famoso entre estudiosos e gestores desta área uma vez que vem mostrando possível o atingimento de economias antes duvidáveis e até então inalcançáveis.

Diferente das técnicas utilizadas até então nos outros ramos de Manutenção existentes, a Manutenção Pró-Ativa entende como princípios básicos que deve-se primeiro aumentar a vida útil de uma determinada máquina ao invés de: realizar reparos quando estes não são necessários, entender a falha rotineira como normal e substituir a Manutenção de falha em momentos de crise pela Manutenção de falha programada.

A abordagem diferenciada e que traz tanto sucesso a este tipo de Manutenção é adotar uma diferente visão quando lidando com processos de quebra e parada no processo produtivo. Isto acontece pois na grande maioria das vezes, adota-se o sintoma da falha como causa raiz da quebra. O que deve-se fazer é buscar a causa raiz para, atacando-a, reduzir significativamente os problemas.

2.2 Ferramentas de Gestão e suas aplicações na Manutenção

Muito atrelada às ferramentas de Gestão dos Sistemas Produtivos, a Gestão da Qualidade Total se mostra uma prática que permite a empresas e corporações o atingimento de seus principais objetivos. Para se alcançar um patamar de grande desenvolvimento da cultura de Qualidade dentro de uma companhia, primeiramente, se faz necessário que todo o corpo de colaboradores esteja engajado no objetivo final da companhia. A metodização dos processos requer um nível alto de entrosamento entre os diferentes departamentos da companhia, pois sem esse haverão ruídos no meio do caminho das informações críticas, causando grandes problemas.

O conceito de Gestão da Qualidade Total surgiu no Japão e, através da incorporação de idéias americanas após a Segunda Guerra Mundial, disseminou-se entre estudiosos e pesquisadores sobre ferramentas de gestão, popularizando-se. A aplicação destes conhecimentos e a influência desta sobre a sociedade japonesa os alavancou como uma das nações exemplo de competitividade, produtividade e foco frente a outros países com maior quantidade de recursos disponíveis.

Para seu pleno desenvolvimento dentro de uma organização, a ponto de ser percebida até mesmo pelo cliente, no produto final, se faz necessário que a empresa a incorpore como um estilo de vida e caminhada que guiará suas decisões em praticamente todas as decisões que vierem em seguida. Aplicada por todos os colaboradores da empresa, começando pelo presidente, passando pelos diretores e gerentes até coordenadores e técnicos, os principais mandamentos estão descritos a seguir:

- Orientação das ações para o melhor impacto possível ao cliente. A satisfação das necessidades deste deve nortear as ações da companhia;
- Ter total conhecimento e domínio sobre a situação e contexto em que seu departamento e empresa se encontram;
- Reconhecer quais são seus pontos fracos para conhecer onde se deve melhorar;
- Senso de prioridade. As principais ações devem ser voltadas aos maiores resultados;
- O processo é tão ou mais importante que o resultado em si;
- Baseie sua opinião e decisões em dados concretos. Conheça os problemas de perto;
- Atuar na prevenção de problemas. O conceito de qualidade deve ser desenvolvido durante todo o processo produtivo;
- Ao detectar um problema, utilize de senso de urgência e o ataque imediatamente;
- O giro sistemático do Ciclo PDCA é seu melhor aliado no progresso dos processos.

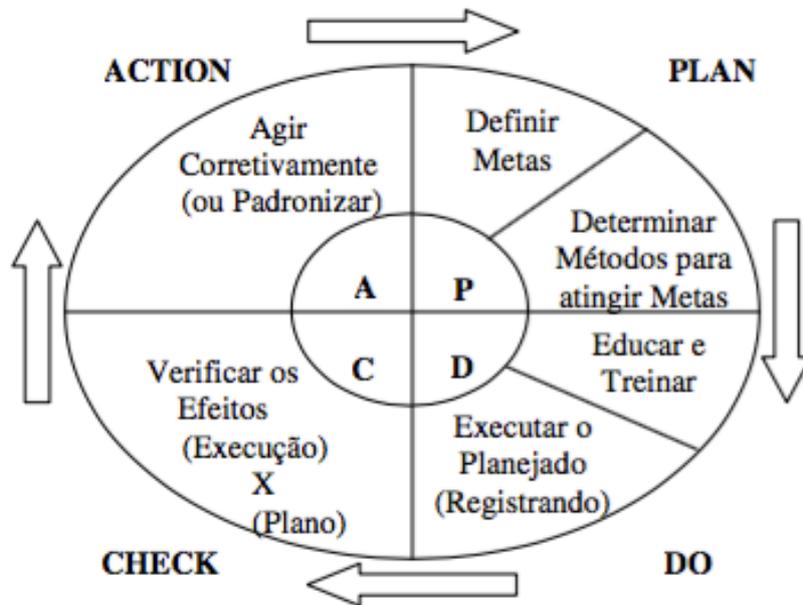
O Ciclo PDCA é uma das principais ferramentas de gestão, bem como algumas outras bastante importantes e com ampla utilização na manutenção, serão descritos a seguir.

1. O Ciclo PDCA

O método, ou ciclo PDCA é uma das principais ferramentas de gestão, com abrangência de utilização imensurável e importância inegável para o desenvolvimento de companhias no cenário contemporâneo de mercado. O ciclo, nomeado a partir de uma sigla de quatro letras, vem do inglês "Plan - Do - Check - Act (ou Action)" que são verbos imperativos e, traduzidos para o português, se tornam "Planeje - Realize - Verifique - Aja".

Para qualquer atividade que uma empresa realize, sempre haverá algo que a ser melhorado. É neste momento que planejadores devem virar para si mesmos e pensar onde pode ser aplicada a ferramenta do ciclo PDCA para a melhora de processos. A correta aplicação desta pode potencializar o cumprimento de resultados de uma equipe, buscando sempre a perfeição.

Figura 2: O Ciclo PDCA



Fonte: (Campos, 1992)

Conforme Campos (1992), o primeiro quadrante, ou primeiro quarto do ciclo, relacionado ao PLAN (Planejar) do ciclo, é o momento em que se identifica o problema a ser tratado, onde a observação se faz necessária para tornar possível o reconhecimento das características do assunto. São importantes nesta fase também a análise do processo como um todo, de forma a conduzir o profissional à descoberta das causas principais que impedem a sua equipe do atingimento de metas, bem como a elaboração de um plano de ação que guiará a atividade até o fim do ciclo que está se iniciando.

O segundo quarto de trabalho, onde se completa metade do processo, é o quadrante da letra D (Fazer ou Realizar). Neste momento, tudo que foi planejado e preparado durante a fase anterior será colocado em prática como forma de aplicação na construção de novos processos ou de mudança dos já existentes. Pensando na melhoria de algum processo, esta é a fase em que se age para bloquear as causas fundamentais dos problemas de cada atividade.

A terceira fase do ciclo é a fase C (Checar), onde se deve levantar verificar a eficácia e confirmar a efetividade de todo o trabalho colocado em prática da fase anterior e dos planejamentos realizados no primeiro quadrante. Nesta fase muitas vezes são levantados dados relacionados às atividades de produção, como por exemplo se uma empresa está aplicando o ciclo PDCA na manutenção de melhoria para aumentar a produtividade de uma determinada máquina, é neste momento que se deve levantar os tempos com que a máquina está trabalhando.

Por último, chega-se à fase A (Agir), que é dividida em 2 subpartes menores. A primeira subparte é a de padronização, enquanto que a segunda é de conclusão. Na fase de padronização, caso o objetivo tenha sido alcançado com exatidão, faz-se o bloqueio final de causas do problema para que este não volte no futuro. Portanto, no caso de um ciclo com grandes conquistas, esta é uma preparação para não voltar a fazê-lo. Porém, na grande maioria dos casos de aplicação do ciclo, este é duradouro e a melhoria sempre se faz possível quando almejada. É claro que em alguns casos pode ser inviável procurar mais melhorias, tanto por conta de custos enormes ou até mesmo para que aquele gestor ou planejador possa

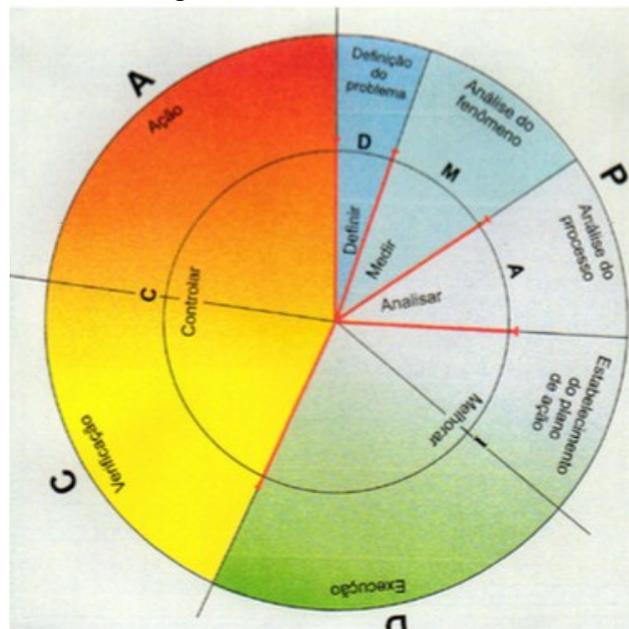
focar seus esforços na melhoria de diversos outros aspectos produtivos de uma companhia. Desta forma, a segunda subparte em que o ciclo A (Agir) se divide é o de conclusão, onde se revisa todas atividades realizadas em todos os quadrantes do ciclo que esta se concluindo como forma de embasar o primeiro quarto (de planejamento) do próximo ciclo PDCA que está por vir.

Considerando que um determinado problema seja a ocorrência de determinado evento (ou eventos) indesejáveis à uma determinada organização, o ciclo PDCA é uma forma de metodizar os esforços de uma equipe na busca pela solução e finalização dos problemas que vem enfrentando. Este indica o caminho que uma equipe deve percorrer até o atingimento das metas.

Em paralelo ao ciclo PDCA, o método DMAIC é uma forma diferente de enxergar cada etapa ou passo do ciclo, porém sempre propondo que processos serão melhorados e levados até a máxima eficiência em sua realização quando se prepara também as pessoas, orientando-as aos melhores resultados possíveis, conforme Aguiar (2006).

O DMAIC é subdividido em Definir, Medir, Analisar, Melhorar (do inglês *Improve*) e Controlar. Estes passos de um ciclo estão todos inseridos dentro do ciclo PDCA, por isso pode-se dizer que os dois métodos trabalham em paralelo, como se um fosse uma diferente forma de abordagem do outro. A figura abaixo exemplifica esta afirmação:

Figura 3 - DMAIC x PDCA



Fonte: (Aguiar, 2006)

A fase Definir (do inglês *Define*) tem como objetivo a determinação das condições e dos clientes desta operação, por meio de ferramentas voltadas à análise de Qualidade Total do processo produtivo. Define-se então onde irá atuar e como isto pode agregar ao futuro da Manutenção envolvida.

Medir (do inglês *Measure*) é o processador por meio do qual se percebe quais as principais necessidades dos processos e subprocessos envolvidos na situação. As medições, feitas *in loco*, irão auxiliar na fase seguinte.

Analisar (do inglês *Analyze*) baseia-se nos dados levantados durante a fase passada para, geralmente com o auxílio de softwares, entender as não conformidades existentes e que serão atacadas para sua correção.

A quarta fase é o verbo Melhorar (do inglês *Improve*) onde se aplica o que foi definido até o dado momento. As 3 fases passadas todas são relacionadas à primeira fase do plano PDCA, que é a fase de planejamento. Desta forma, agora vem o momento correto de agir, ou seja, melhorar o que foi definido como processo passível de melhora.

A última fase do ciclo DMAIC, que é Controlar (do inglês *Control*), abrange tanto os quadrantes de Checagem quanto de Ação, onde se avalia o que foi realizado durante a fase de Melhoria e se prepara para o início do novo ciclo, caso este seja possível.

2. Kaizen

O método Kaizen surgiu após a Segunda Guerra Mundial, em um contexto de renascimento do cenário industrial japonês, extremamente abalado pela destruição causada pela guerra, conforme Vaz (2016). O embate com empresas ocidentais, aumentando seus esforços para poderem continuarem vivas no mercado, atendendo clientes da melhor maneira possível, os forçou a usarem de sua criatividade, aliando os principais pilares da cultura japonesa, como dedicação, foco, disciplina, para criarem a metodologia que revolucionou a gestão de empresas em seu contexto histórico: o Kaizen

Kaizen também pode ser classificado como uma filosofia que prega a melhoria contínua de modo a envolver toda a organização, ou companhia, em que estiver inserida. Desde o topo da cadeia de gestores até os funcionários, todos devem assumir e acreditar que qualquer atividade e processo pode ser melhorado se analisado com calma e com empenho.

Imai (1986) divide as funções de um determinado colaborador em duas grandes categorias: a categoria de melhoria e a categoria de manutenção. Analisando os níveis hierárquicos de uma determinada empresa, e os dividindo em 4 níveis (gestão de topo, gestão de nível médio, supervisores e funcionários), segundo a filosofia Kaizen, cada colaborador tem uma função maior ou menor, porém sempre proporcional, em relação ao desempenho da companhia de melhoria e manutenção, conforme a figura a seguir:

Figura 4: Níveis de Melhoria X Manutenção em uma Companhia



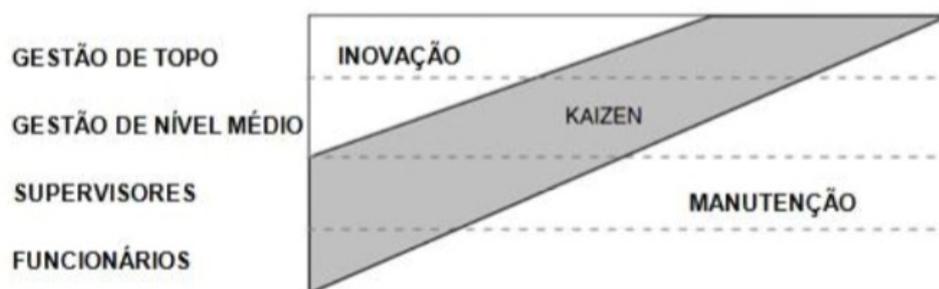
Fonte: (Adaptado de: Imai, 1986)

Mais uma vez, Imai (1986) analisa o conceito de Melhoria a que cada funcionário, seja este do topo ou da base da cadeia hierárquica, e divide em duas novas subcategorias: Kaizen e Inovação.

A subdivisão Kaizen implica necessariamente em pequenas melhorias dos processos atuais, cotidianos, com baixo custo e principalmente afetando o senso comum dos que a envolvem. Já a subdivisão chamada de Inovação, envolve principalmente os grandes investimentos em tecnologia, equipamentos e mudanças radicais na forma como um determinado produto final é produzido, por exemplo. Imai (1986) vem então concluir que operadores e supervisores devem estar preocupados com melhorias no campo de trabalho e na sua forma de trabalhar, enquanto que gestores também devem se preocupar com estas (em menor escala) mas também com os investimentos em grandes tecnologias, porém sempre

com cuidado para não se criar o hábito de resolver questões simples com investimentos da ordem de milhões de reais. A figura 4 ilustra estes conceitos, abaixo.

Figura 5: Responsabilidade de cada função por Melhoria



Fonte: (Adaptado de: Imai, 1986)

Portanto, a metodologia Kaizen busca centralizar as melhorias que venham influenciar a qualidade do produto, do processo de produção e do serviço prestado, bem como o custo deste. A tendência de empresas que adotam o Kaizen como filosofia é de tender sempre à melhoria dos seus processos, cortando custos e desperdícios, melhorando sua produtividade.

3. Diagrama de Ishikawa

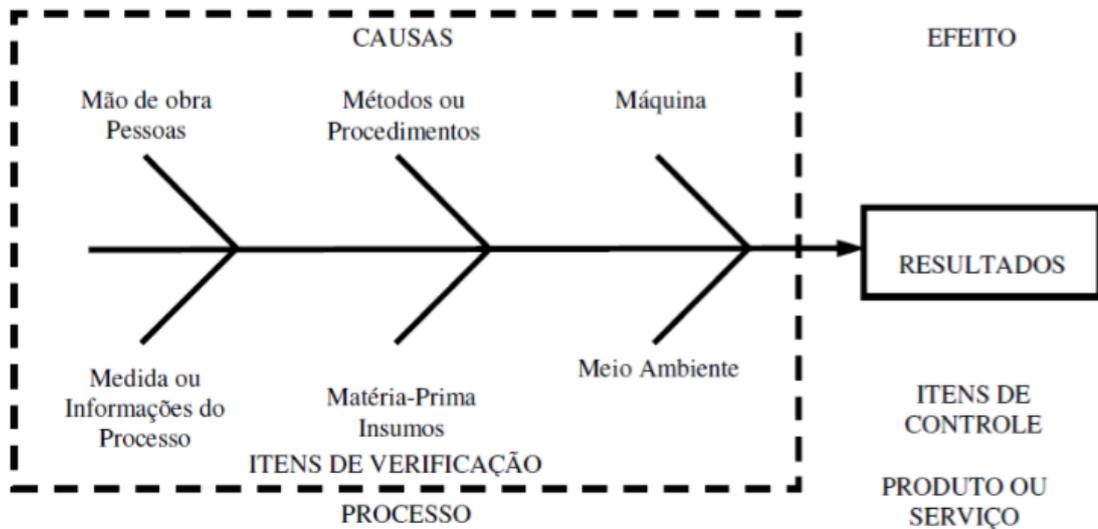
O Diagrama de Ishikawa, ou Diagrama de Causa e Efeito ou então Diagrama da Espinha de Peixe (nome alusivo ao formato que este adota, quando preenchido) é uma eficaz ferramenta gráfica para análise de processos e atividades. Esta ferramenta ganhou bastante força após ser proposta (originalmente pelo engenheiro químico Kaoru Ishikawa em 1943) por auxiliar quem possui o objetivo de identificar possíveis causas que gerem um efeito específico em uma atividade, conforme Barreto (2005).

O diagrama em questão também pode ser conhecido como Diagrama dos 6M, uma vez que em sua estrutura conta com os seguintes tópicos de estruturação: Método, Matéria-Prima, Mão de obra, Máquina, Medição e Meio Ambiente. Estas são as prováveis causas dos problemas existentes:

1. Método: Processos de execução de tarefas, formas incorretas e aplicados indevidamente;
2. Matéria-Prima: Causa relacionada ao material utilizado, ou matéria-prima;
3. Mão de obra: Causa relacionada à utilização de mão de obra de um determinado trabalhador;
4. Máquina: Causa que envolva o maquinário utilizado no processo, por exemplo ajustes incorretos, manutenção atrasada ou defeitos;
5. Medição: Levantamento de dados imprecisos ou erros cometidos na avaliação destes;
6. Meio Ambiente: Fatores climáticos podem ser causadores de problemas em processos, bem como situações políticas e de mercado.

Esta é mais uma ferramenta voltada à cultura de Qualidade Total, trazendo à tona as principais causas de problemas em processos e atividades exercidas em organizações. A figura abaixo ilustra o Diagrama, mostrando o porquê deste ser também chamado de Diagrama da Espinha de Peixe:

Figura 6: O Diagrama de Ishikawa

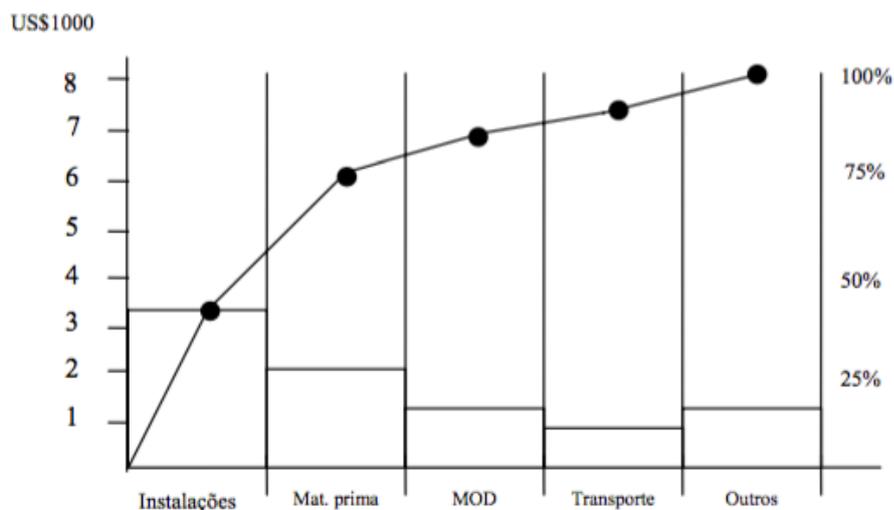


Fonte: (Adaptado de: Barreto, 2005)

4. Diagrama de Pareto

O Diagrama de Pareto é também uma ferramenta de análise e identificação e análise de causas. Aplicada na área de Gestão voltada à Qualidade Total, tem-se por meio desta filosofia que um grande número de efeitos é causado por uma pequena quantidade de causas. A figura 7 ilustra, através de um exemplo, como se dá graficamente o Diagrama de Pareto.

Figura 7: Diagrama de Pareto



Fonte: (Paladini, 1994)

Na eixo horizontal se tem os elementos de estudo, que podem ser categorias, classes ou grupos, associados a uma escala de valor, presente no eixo vertical. A escala vertical vem,

neste exemplo, associada a valores financeiros, porém poderia vir relacionada a percentuais, frequências de ocorrências, entre outros.

Tem-se que a união dos pontos resultantes dos números obtidos em cada classe auxilia a traçar a curva do gráfico (assim como no exemplo da figura 6) por um determinado período de tempo de estudo. Esta forma de agrupamento dos dados para visualização e análise facilita a chegada às conclusões, trazendo um panorama geral da situação e como cada um dos elementos está encaixado no todo.

Utilizado como ferramenta focal no processo de melhoria contínua, o diagrama de Pareto elucida de maneira simples qual classe de causas está causando o maior efeito no problema final. As causas vitais então são expostas e se tornam o maior enfoque das ações tomadas pela companhia.

Desta forma, tem-se no Diagrama de Pareto uma ferramenta eficiente para a gestão da Qualidade Total em empresas e, aliado com outras ferramentas expostas anteriormente neste trabalho, podem guiar processos de produção e/ou manutenção na busca pela melhoria contínua.

2.3 Sistema de Refrigeração com base em Central de Água Gelada

Em muitas formas de empreendimento, como por exemplo um *Shopping Center*, local de estudo para o desenvolvimento deste trabalho, o sistema de refrigeração é um dos principais fatores de consumo energético, gerando altas receitas e gastos para o administrador. Por isso, se faz de grande importância um bom planejamento na maneira de projetar como será realizada a refrigeração deste local.

Em um sistema de ar-condicionado convencional, como o que comumente vemos sendo empregado em residências e pequenos estabelecimentos comerciais, a sua capacidade é dimensionada de acordo com o horário de maior consumo, ou de maior temperatura exterior ao ambiente, gerando superdimensionamento e ociosidade do aparelho na maior parte do tempo. Já a solução adotada em empreendimentos maiores, como centrais de água gelada, é baseada na termoacumulação de um frio produzido em horários de tarifação energética mais baixa para ser utilizada em horários de pico de preço de energia.

Esta forma de operação mostra que Centrais de Água Gelada não reduzem o consumo energético de sistemas de refrigeração, como muitos pensam, mas sim diminui o dinheiro gasto pelo consumo de energia elétrica local.

1. Central de Água Gelada

Uma Central de Água Gelada, em resumo, nada mais é que uma unidade resfriadora de líquido (água) que alimenta unidades resfriadoras locais distribuídos de acordo com a necessidade do usuário. Estas unidades climatizadoras serão as responsáveis pela climatização dos ambientes que receberão propriamente o ar-condicionado.

Estes sistemas de resfriamento à base de água gelada são subdivididos em 3 grandes áreas de atuação: produção, distribuição e uso. Os equipamentos que serão utilizados, bem como suas quantidades, em cada uma destas áreas, depende unicamente da demanda e como esta está distribuída fisicamente em uma determinada área. Enquanto alguns sistemas são bem simples, com aplicação reduzida em quantidade de maquinário, outros podem ser bastante arrojados, ocupando grandes áreas e gerando investimentos de centenas de milhares de reais.

Cargas térmicas de uso do sistema são diretamente dependentes da capacidade de produção e distribuição da Central de Água Gelada.

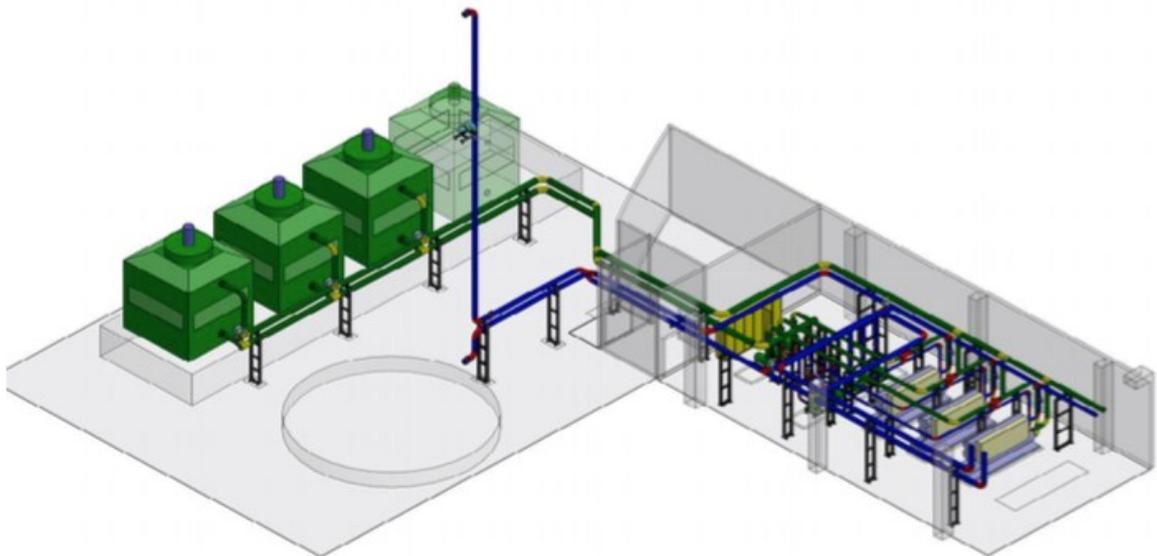
Em grande parte dos sistemas resfriadores de água gelada, esta é produzida por resfriadores de líquidos e utilizada nas serpentinas de climatizadores locais, passando por válvulas de controle do sistema. O sistema de distribuição geralmente é uma rede de tubulações que interliga o sistema de produção (Central de Água Gelada) ao uso (máquinas de fan-coil, por exemplo). Tipicamente, a água gelada é transportada por um ou mais níveis de bombeamento.

Temos então, como principais objetivos dos sistemas de distribuição de água gelada, a entrega da carga térmica requerida de uso para cada ambiente em separado, promovendo o uso eficiente da carga refrigerada anteriormente (com a menor quantidade de perdas possível), minimizando assim o consumo de energia elétrica do empreendedor.

A tubulação de distribuição de água gelada necessita, então de bom isolamento térmico para oferecer resistência ao ganho de calor da água existente no interior da tubulação, em influência do calor externo. Para isso, é comumente utilizado também uma espuma elastomérica em volta da tubulação, aumentando ainda mais seu isolamento.

Na Figura 8 ilustra-se uma Central de Água Gelada de médio porte.

Figura 8: Exemplo de Central de Água Gelada



Fonte: (Projeto CAG para alimentar sistema de climatização, 2014)

Como principais empreendimentos a serem citados como exemplos de utilizadores de Centrais de Água Gelada, temos hospitais, data-centers e shopping centers.

2. Chiller

Chillers são, em definição, máquinas refrigeradoras de grande porte com função de arrefecer fluidos, para posterior utilização em diversas aplicações. Ele consegue desempenhar esta função através de ciclos de refrigeração, no qual o fluido em questão vai sofrer alterações (mudanças de temperatura e pressão) até se retirar o calor e chegar na temperatura desejada ao usuário.

Existem 2 principais tipos de *chillers*: *Chiller* de compressão e *Chiller* de absorção.

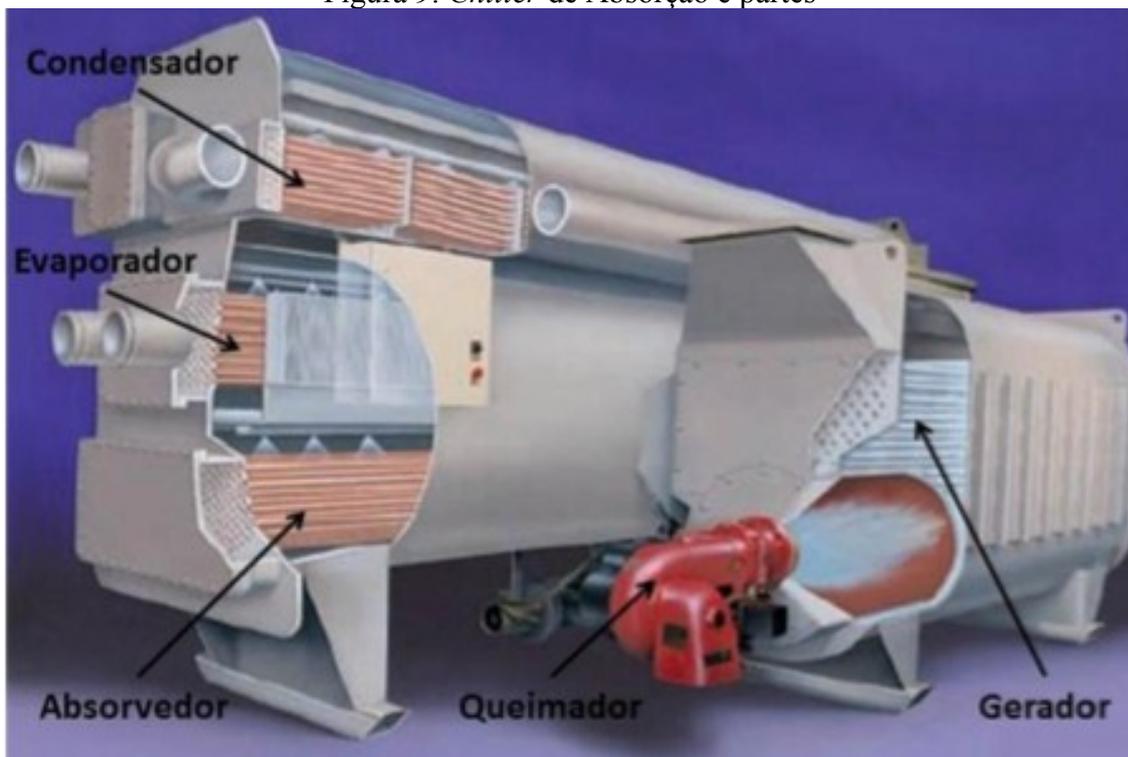
Chillers de compressão utilizam como base compressores mecânicos, acionados por motores elétricos que aumentam a pressão do sistema. Como utilizam bastante energia elétrica para tal, a desvantagem neste processo vem do alto consumo energético desta operação.

Apesar desta primeira diferença descrita acima, são vários os fatores que diferenciam os *Chillers* de compressão dos de absorção. Para *Chillers* de absorção, tem-se que seu princípio de funcionamento baseia-se numa reação química de absorção do fluido (daí o nome). O sistema funciona por meio de uma ou mais bombas de pequena capacidade que circulam os fluidos operantes do sistema.

Chillers de absorção tem a propriedade de gerar água gelada a partir de fontes de calor onde, em um processo termoquímico de absorção, a água pode realizar o papel tanto de fluido absorvente quanto de fluido refrigerante.

Na Figura 9 mostra-se um exemplo de *Chiller* de absorção, descrevendo e apontando cada um dos componentes e compartimentos, para melhor entendimento do maquinário:

Figura 9: *Chiller* de Absorção e partes



Fonte: (Whitman et al., 2008)

Os *Chillers* possuem sua capacidade de geração de fluidos refrigerados medida em Toneladas de Refrigeração (TR) e são os elementos que desempenham o papel base da geração em Centrais de Água Gelada.

3. Torre de Arrefecimento

Torres de Arrefecimento, ou Torres de Resfriamento, são maquinários utilizados em conjunto com *Chillers* como forma de complementação de sistemas de refrigeração presentes em Centrais de Água Gelada (CAGs). São bastante utilizadas em condensadores de usinas, instalações de refrigeradoras, trocadores de calor, entre outros. Como princípio de funcionamento destas torres, temos que o calor é removido do fluido (em nossa aplicação, a água) e enviado diretamente para a atmosfera.

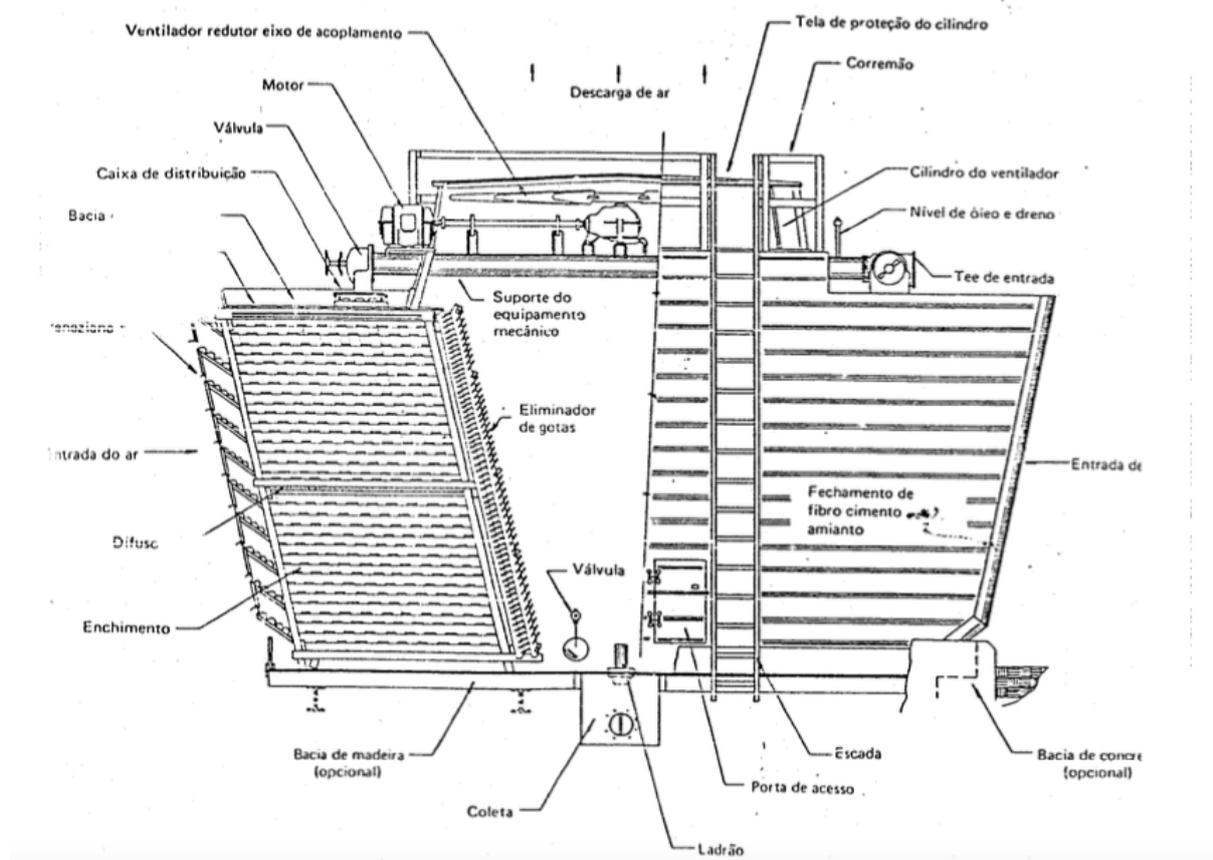
A água, previamente aquecida, é gotejada na parte superior da torre e desce de forma lenta através de enchimentos de diferentes formas e tamanhos, em fluxo oposto a uma corrente de ar frio (usualmente à temperatura ambiente) forçando assim a evaporação da água, produzindo seu resfriamento.

Torres de arrefecimento são, em sua essência, colunas de transferência de massa e calor. São projetadas para que estes encontros e trocas ocorram em grande quantidade e fluxo por tempo. Vale também notar a grande área projetada para contato entre as colunas de ar e água.

Os valores a serem considerados em um projeto de torre de arrefecimento levam em questão principalmente a carga de fluido a ser refrigerado em uma determinada quantidade de tempo. Para isso, então deverão ser considerados a vazão deste e a temperatura de saída da água para uso. Uma vez determinados o tamanho da torre e o tipo de enchimento a ser utilizado, voltaremos nossa atenção ao controle de vazão de ar. A torre demandará uma determinada quantidade de potência energética para forçar o escoamento do ar, considerando também que o enchimento desta trará também perda de carga, bem como o fato de que a água deverá ser conduzida por meio de bombas até o ponto de asperção.

Abaixo segue uma figura descrevendo os componentes de uma torre de resfriamento:

Figura 10 - Torre de Resfriamento e seus componentes



Fonte: (MUSTAFA, 2008)

4. Máquinas consumidoras de água gelada

Foi discutido até agora o processo de geração da água gelada, bem como como cada equipamento envolvido neste processo trabalha. Os equipamentos que utilizam e consomem esta água produzida nas centrais de água gelada são os *fan coils* e os fancoletes.

Os *fan coils* são, resumidamente, os equipamentos mais indicados para a refrigeração de ambientes com acesso ao ambiente externo, de grandes áreas, ou por algum outro motivo que os equipamentos convencionais de geração de ar-condicionado não possuem capacidade de suprimento suficiente. Nestes casos, a potência do fan coil, que é uma máquina robusta, conseguirá suprir a necessidade do consumidor.

Equipamentos de *fan coil* são bastante utilizados e recomendados para aplicações em cinemas, prédios comerciais, shopping centers, eventos e galpões.

Os fancoletes são aparelhos com altos índices de desempenho, mesmo com seu tamanho sendo bastante menor que o *fan coil*. É indicado especialmente em empreendimentos como centros comerciais e *shopping centers*, que já possuem toda uma estrutura montada para suprimento de água gelada, porém irão ser responsáveis pelo suprimento de ar-condicionado de uma pequena área, como por exemplo uma pequena loja ou galeria.

O funcionamento destes dois tipos de equipamentos se dá basicamente da mesma forma que acontece no sistema de evaporação de um equipamento comum de ar-condicionado, com a substituição do fluido refrigerante por água gelada. O sistema possui serpentinas por onde passam a água gelada, encontrando o ar que, previamente filtrado, passa por este caminho e é insuflado para o ambiente.

A forma de identificação da potência de refrigeração de uma máquina de fan-coil é semelhante à forma que medimos a capacidade de uma central de água gelada de geração, em tonelada de refrigeração (TR).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho procurou-se analisar a aplicação do ciclo PDCA na Manutenção aplicada a um sistema completo de refrigeração de um *Shopping Center*, composto por 3 CAG's que alimentam quase 300 lojas detentoras de sistemas consumidores de água gelada independentes, bem como 10 casas de máquinas com *fan-coils* que refrigeram as áreas comuns a estas lojas (corredores, banheiros, elevadores, etc.)

O método utilizado será descrito nos passos a seguir, bem como por um fluxograma geral que aborda não só o tempo de escrita deste trabalho, mas sim um longo processo de melhoria destes processos, como manda a boa aplicação do ciclo PDCA.

Etapa 1 - Revisão Bibliográfica sobre a gestão da Manutenção

Nesta etapa, foi levantado o maior número de trabalhos publicados a respeito de Manutenção em sistemas de refrigeração. Com o intuito de absorver ao máximo os trabalhos encontrados (e citados nas referências bibliográficas), outro objetivo foi o de encontrar trabalhos que utilizavam também da metodologia PDCA no planejamento destes processos de Manutenção.

Etapa 2 - Preparação do Sistema Computacional de Gestão da Manutenção

Esta etapa se dá parte antes e parte depois ao início da escrita deste trabalho. A parte anterior a este trabalho aconteceu na virada do ano 2015 para o ano 2016, ano em que o sistema de gerenciamento de Manutenção dos sistemas de refrigeração, integrada à ferramenta PDCA, foi adotada como obrigatória a todos os Shopping Centers da companhia administradora destes. A segunda parte, posterior ao início da preparação de escrita deste projeto, se deu quando o aluno responsável por este trabalho de conclusão de curso tornou-se o responsável pela aplicação e gerenciamento do sistema.

Etapa 3 - Treinamento do Sistema

O treinamento de como navegar pelo portal de gerenciamento, bem como como aplicar e utilizá-lo diretamente no dia-a-dia da Manutenção destes sistemas de Refrigeração se dá em uma das páginas do portal. Como material de auxílio, existe também disponível um *Book* de Manutenção, com o Plano de Operação e Manutenção do Sistema de Refrigeração de cada *Shopping Center*. Este book deverá ser escrito e atualizado de acordo com o sistema existente em cada *Shopping*. Alguns dos pontos existentes neste *Book* servirão como base para os passos seguintes de aplicação do plano de ação (etapa 5).

A companhia também disponibilizou um treinamento online de aplicação do ciclo PDCA de forma genérica em todos os âmbitos da administração de *Shopping Centers*, porém também bastante válido.

Etapa 4 - Definição do Plano de implantação do Sistema de Gestão

Uma vez realizada a revisão bibliográfica a respeito do tema e o treinamento da ferramenta, foi preparado o plano de implantação desta ferramenta. Cada ponto citado como obrigatório para buscar o máximo de eficiência do sistema de refrigeração do *Shopping* foi planejado de acordo com os ciclos mensais de aplicação deste.

Etapa 5 - Implantação do Plano de Ação

O processo de implantação do plano de ação é mensal, seguindo o roteiro proposto pelo sistema. Após definidos os principais aspectos necessários a cada ponto de implantação (o que fazer, como fazer, quem, quando), segue-se para a implantação dos resultados funcionais, listando os resultados e possíveis problemas detectados.

Etapa 6 - Análise e discussão dos resultados parciais

De posse dos resultados, após o fim de cada ciclo mensal se realiza também a análise necessária a cada ciclo PDCA. Neste momento avalia-se os problemas passados durante a implantação, quais foram os resultados e como será a próxima ação relacionada aquele determinado ponto, se esta for necessária. No fluxograma que será apresentado ao final deste capítulo, esta é a única etapa de Decisão. Deve-se decidir neste momento se a ação aplicada resultou no fim desejado ou se é necessário implementar um novo plano de ação para atingimento dos resultados desejados.

Etapa 7 - Conclusões

As conclusões relacionadas a este trabalho serão explanadas no item 5 deste trabalho.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A execução do trabalho se deu particionada de mês em mês. A cada período de tempo, cada *shopping* administrado pela companhia deve preencher os dados referentes à evolução do ciclo PDCA do sistema de Ar-condicionado. Para isto, a equipe de manutenção de cada *shopping* realiza seu planejamento, avaliando o tempo necessário para o início de cada atividade, a influência de passos anteriores para a execução desta, qual o custo envolvido e o tempo total de implementação destas novas práticas.

O final do ciclo de implementação de cada uma dessas e o *input* dos resultados no portal *on-line* disponibilizado pela companhia geram para cada planejador da manutenção um gráfico de porcentagem de aderência do sistema ao plano de manutenção sugerido. A evolução, da mesma forma como acontece a entrada de dados no sistema, ocorre mensalmente e pode-se ter também uma noção de como cada *shopping* está posicionado em relação ao restante da companhia.

Como forma de apoio à execução de cada *shopping*, a companhia disponibiliza um *book* do Ar-condicionado que (também como forma de evolução no programa) deve ser preenchido de acordo com as características e sistemas existentes em cada localidade. Cada *shopping* da companhia possui uma demanda diferente, com capacidades de investimento no sistema de refrigeração também diferente, portanto faz-se assim necessário a adequação do portal a cada caso.

Na Figura 11 se mostra a forma de preenchimento do plano de ação PDCA do *shopping* ao qual foi aplicado esta atividade.

Figura 11 - PDCA da atividade

Item	Causa Relacionada	Condicional	O Que Fazer	Como Fazer	Quem	Quando	Realizado	Funcional/Não Funcional	Resultados / Pontos Problemáticos	Reprogramado
			P (Planejamento da Ação)				D (Implantação da Ação)		C (Resultados Obtidos/Problemas que Influenciaram a Realização ou Não da Ação)	A (Proposta de Novas Ações/Datas ou Futuras Melhorias)
1	O shopping possui um descritivo do sistema conforme os itens 3 e 3.1 do tópico "Plano de Operação do Sistema" do book de ar condicionado?	Sim						Funcional		
2	O shopping possui um fluxograma de operação da CAG conforme o item 3.2 do tópico "Plano de Operação do Sistema" do book de ar condicionado?	Não	Atualizar fluxo operação de cada CAG	Realizando revisão do fluxo total, de modo a incluir a CAG3	Kauê A. P. Zoia	30/04/2018	Não iniciado	Funcional		
3	Existe procedimento para acionamento e desligamento da CAG conforme o item 3.3 do tópico "Plano de Operação do Sistema" do book de ar condicionado?	Não	Incluir no Book procedimento de ligação manual das 3 CAGs existentes	Realizando uma LPP (Lição de Ponto-a-Ponto) descrevendo as etapas de acionamento e desligamento manual de cada CAG.	Kauê A. P. Zoia	15/04/2018	Em andamento	Não Funcional		

As colunas "Causa Relacionada" e "Condicional" são introdutórias ao PDCA propriamente. Na primeira é explicado, utilizando como apoio o *book* disponibilizado, o que deve ser feito. Na segunda coluna, existe uma caixa de opções onde o planejador pode escolher entre 3 opções: Sim, para o caso de a atividade já ter sido realizada; Não, para o caso de não ter sido implementado ainda; N/A, para shoppings onde não se aplica aquele determinado item.

O portal, bastante semelhante a uma planilha, então entra nas colunas do Planejamento da Ação, onde se explica as seguintes informações relacionadas à atividade:

- O que fazer: descrição breve da atividade;

- Como fazer: descrição detalhada de como a atividade deverá ser realizada;
- Quem: o responsável pelo planejamento e execução;
- Quando: prazo final para implementação.

Em sequência, se tem duas colunas de Implantação da Ação e da definição se o item é Funcional ao shopping em questão ou não. Para a coluna de Implantação, temos 4 opções de marcação da caixa de opções: Realizado, Não iniciado, Em Andamento e Não realizado.

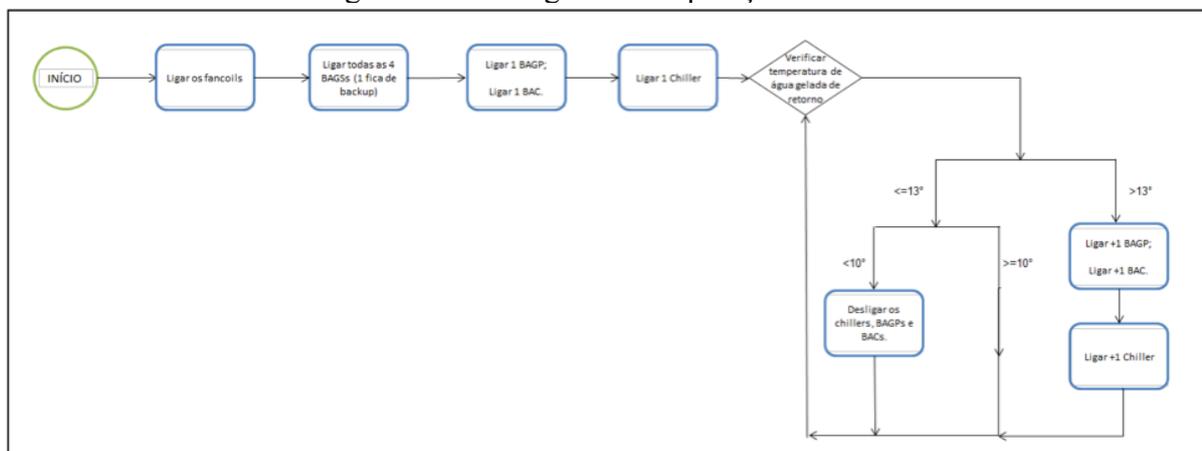
Por último, as 2 últimas colunas relacionam-se aos 2 passos finais do PDCA, onde se analisa os resultados atingidos, os problemas enfrentados e se há necessidade de aprimoramento da execução através de um novo ciclo de atividades ou não.

A seguir serão explicados os passos realizados nos meses de abril e maio, bem como os resultados atingidos por meio desses. As 3 primeiras ações ocorreram durante o mês de abril, e o restante no mês de maio.

- Atualização do fluxo de operação de cada CAG:

Para este passo, foi necessário primeiramente o entendimento total sobre o funcionamento dos chillers, torres de resfriamento, fan-coils e sistemas de bombeamento primário e secundário de cada CAG do shopping em questão. Na Figura 12 mostra-se o fluxo montado para a CAG 1.

Figura 12 - Fluxograma de operação de CAG



Inicialmente liga-se as máquinas de *fan-coils* que serão alimentadas e os sistemas de bombeamento secundário (transporta a água da CAG para as máquinas consumidoras), primário (transporta a água das máquinas consumidoras) e de condensação. Sensores termômetros dispostos ao final da tubulação de retorno da água gelada então verificam qual a temperatura desta para tomada de decisão. No caso de esta água gelada de retorno possuir temperatura maior que 13°C , a automação do sistema fará a ligação de mais uma bomba do sistema primário e de condensação, bem como ligará mais um chiller. No segundo caso, em que a temperatura da água de retorno está no intervalo entre 10°C e 13°C , nada ocorrerá. Finalmente, caso a água de retorno possua temperatura inferior a 10°C , o sistema será desligado e aguardará acionamento.

- Procedimento de Acionamento e Desligamento Manual das CAGs:

Foi escrita uma lição ponto-a-ponto (LPP) com o procedimento de ligação e desligamento manual de todas as CAGs existentes no shopping em questão. Nesta lição ponto-a-ponto consta a sequência de ações que qualquer operador deve realizar em algum momento que a automação dos painéis existentes falhar. Este manual que foi montado de maneira minuciosa e detalhista tem como objetivo preparar o time de operações para momentos de crise.

Como método de teste e análise da eficácia desta lição ponto-a-ponto montada foi realizado também um dia de treinamento em que um operador, que não possuía conhecimento prévio sobre a ligação manual dos painéis das CAGs, deveria utilizar o material e realizar a ligação. Desta forma, este treinamento foi útil para a reescrita do material, corrigindo os pontos de dúvida do time de operações.

- Coleta de temperatura da água de condensação nas Torres de resfriamento:

O circuito de condensação é fundamental para a recuperação do calor rejeitado no evaporador, portanto algumas variáveis neste processo precisam ser analisadas para garantir o bom funcionamento das Torres de resfriamento. Após a coleta, faz-se a comparação desta temperatura com a tabela da figura abaixo, indicando se o resultado do trabalho da Torre de resfriamento do shopping em questão é satisfatório ou não (Fig. 13).

Figura 13 - Tabela de calor recuperado na Torre de resfriamento

Calor recuperado na Torre de resfriamento	
Resultado	Temp. em °C
Ótimo	Acima de 5,5 °C
Satisfatório	Entre 4,5 e 5,5 °C
Ruim	Abaixo de 4,5 °C

De acordo com a coleta realizada, se tem noção da eficiência da Torre de resfriamento do *shopping* em questão, bem como se é necessário ao time de manutenção atuar frente a algum mal-funcionamento deste equipamento. As medidas realizadas mostraram que o desempenho de 3 das 5 torres de resfriamento observadas foram considerados ruins. Isto mostra que devemos tomar atenção à manutenção necessária em relação ao gasto energético e eficiência destes equipamentos (Fig. 14).

Figura 14 - Análise da temperatura da água de condensação

Parâmetro em análise	Temperatura média em °C	Redução em °C
Temperatura de entrada da água nas Torres	30	
Temperatura na bacia da Torre 1	26,6	3,4
Temperatura na bacia da Torre 2	26,3	3,7
Temperatura na bacia da Torre 3	24	6
Temperatura na bacia da Torre 4	22,1	7,9
Temperatura na bacia da Torre 5	27,8	2,2

- Medição de parâmetros de funcionamento dos *chillers*:

Foram iniciadas também medições, em conjunto com o item anterior, sobre parâmetros de eficiência energética e toneladas de refrigeração (TR) dos chillers existentes nas CAGs do shopping em questão. Fazendo a comparação com os valores de projeto, temos o desvio em porcentagem do real com o ideal, mostrando onde devemos atuar para termos o melhor de nosso equipamento.

Em medidas realizadas, pode-se perceber que o chiller 3 possui alta necessidade de manutenção e maior atenção que os outros dois analisados (Fig. 15).

Figura 15 - Comparação entre valores de projeto e medidos em cada *chiller*

Parâmetro	Chiller 1 (Centrífuga)			Chiller 2 (Centrífuga)			Chiller 3 (Centrífuga)		
	Projeto	Medido	%	Projeto	Medido	%	Projeto	Medido	%
Vazão de água gelada (m ³ /h)	162	154	-5%	162	197	22%	220	266	21%
Vazão de água de condensação (m ³ /h)	392	463	18%	392	469	20%	522	738	41%
Capacidade (TR)	600	573	-5%	600	570	-5%	807	517	-36%
Eficiência energética (kW/TR)	0,65	0,68	5%	0,65	0,68	5%	0,58	0,91	57%

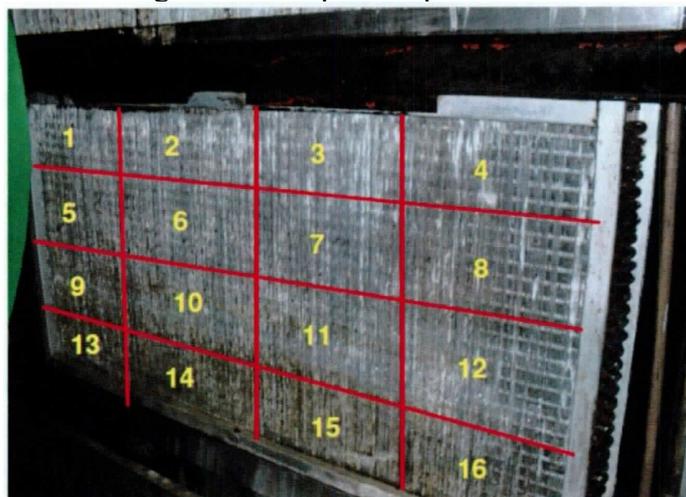
- Medição dos parâmetros de funcionamento das unidades consumidoras:

Os parâmetros analisados nesta última fase de checagem do sistema são necessários à análise do fluxo do ar a partir de unidades consumidoras da água gelada enviada dos *chillers* aos *fan coils* até o seu insuflamento nas grelhas dos corredores do shopping center. É importante que cada parâmetro tenha sua devida atenção para que todo o esforço despendido até aqui não seja em vão, uma vez que precisamos ter controle total sobre a temperatura final do ambiente.

É feita esta análise sobre as medições realizadas, de forma a identificar pontos críticos de insuflamento e máquinas fan coil com baixa capacidade de refrigeração.

As serpentinas dos equipamentos foram divididas em 16 seções de áreas iguais para então verificarmos a vazão de ar e sua temperatura. Após realizada a limpeza química, foram realizadas as mesmas medidas para verificação do "antes e depois" do trabalho realizado, como comparação. Abaixo segue uma foto ilustrativa de como realizar esta partição da serpentina da máquina de fan coil.

Figura 16 - Serpentina particionada



Os resultados obtidos nestas medições mostram a importância de uma limpeza química bem feita no equipamento. Na Figura 17 mostra-se que, em medições realizadas na água gelada, houve melhora de 3% na temperatura de saída da serpentina, e diminuições de 4% na pressões de entrada e saída de água.

Figura 17 - Resultado da limpeza sobre a serpentina

Serpentina - Medição da água gelada	Antes	Depois	%
Temp. Entrada °C	8,5	8,5	0%
Temp. Saída °C	19,5	20,0	3%
Pressão Entrada (Kgf/cm ²)	2,5	2,6	4%
Pressão Saída (Kgf/cm ²)	2,5	2,4	-4%

Sobre medições realizadas no ar insuflado pela máquina de *fan-coil*, percebemos que pela limpeza química realizada conseguimos melhorar em até 1200% (na partição 7) a vazão local de ar, enquanto que o sistema de uma forma geral percebeu uma melhora de 44%. Sobre a temperatura, a limpeza química não surtiu efeito no sistema como um todo, apesar de ter mostrado melhoras e pioras locais se analisarmos cada partição. Na Figura 18 mostra-se estes dados coletados.

Figura 18 - Resultado da limpeza sobre as partições de uma serpentina

Serpentina - Medição do Ar Insuflado						
Seção	Antes	Depois	variação	Antes	Depois	variação
	Vazão(m/s)	Vazão(m/s)	%	Temperatura °C	Temperatura °C	%
1	1,33	2,20	65%	18,0	17,0	-6%
2	1,60	2,20	38%	17,0	16,9	-1%
3	0,67	2,57	284%	16,2	16,3	1%
4	0,39	2,21	467%	17,8	17,3	-3%
5	1,90	1,40	-26%	18,6	18,7	1%
6	0,18	1,26	600%	18,0	17,8	-1%
7	0,18	2,34	1200%	18,6	18,8	1%
8	0,88	1,16	32%	19,4	18,8	-3%
9	1,84	1,18	-36%	19,7	19,6	-1%
10	0,69	1,98	187%	19,4	19,8	2%
11	1,73	2,00	16%	19,7	19,6	-1%
12	0,90	1,09	21%	20,0	19,9	-1%
13	1,72	0,98	-43%	19,5	20,0	3%
14	1,85	0,98	-47%	19,4	20,0	3%
15	2,06	2,00	-3%	19,4	20,0	3%
16	0,57	1,05	84%	19,8	20,0	1%
Total	18,49	26,60	44%	18,78	18,78	0%

A última medição realizada no mês de maio foi referente às grelhas de insuflamento do ar nos corredores do shopping center. Mais uma vez analisando parâmetros relacionados ao antes e depois da limpeza química realizada na serpentina do fan-coil, percebemos que a vazão mais uma vez foi o elemento de melhor aproveitamento, enquanto que este aumento na vazão também influenciou em uma melhora na temperatura do ambiente alimentado pela grelha analisada. A Figura 19 ilustra estas últimas medições.

Figura 19 - Análise sobre grelhas de insuflamento

Grelhas - Medição do Ar Insuflado no Mall						
Grelha	Antes	Depois	Variação	Antes	Depois	Variação
	Vazão(m/s)	Vazão(m/s)	%	Temperatura (° C)	Temperatura (°C)	%
1	4,2	4,5	7%	23,7	24,0	1,3%
2	1,1	1,6	45%	24,5	24,6	0,4%
3	4,5	4,9	9%	24,2	24,2	0,0%
4	4,1	4,5	11%	23,3	23,3	0,0%
5	8,3	8,8	6%	24,5	24,7	0,8%
6	7,5	8,4	13%	23,8	23,8	0,0%
7	2,8	3,0	8%	24,2	24,5	1,2%

Como ferramenta de análise do quanto a equipe de manutenção de um *shopping* da companhia está adesa ao *book* e ferramenta de PDCA discutidos neste trabalho, a companhia também criou um gráfico de evolução mensal da operação.

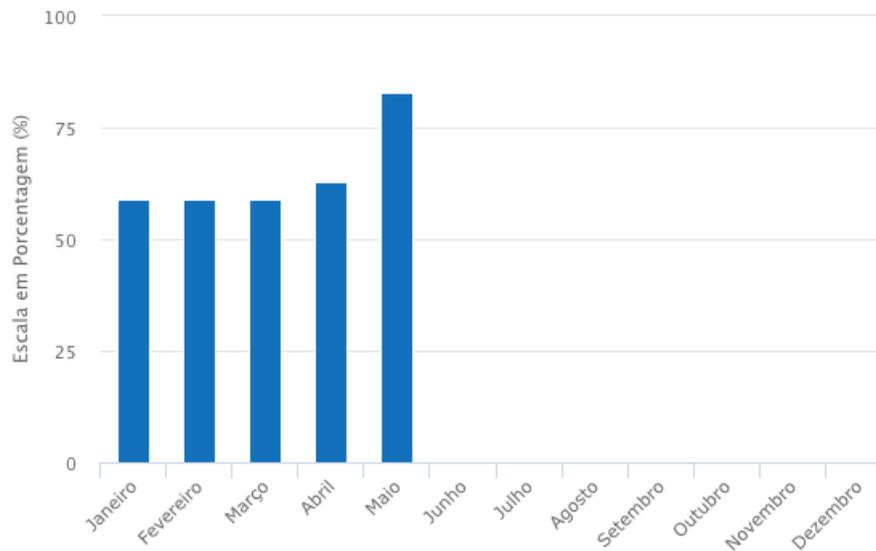
As atividades realizadas no mês de abril, que demandaram muito tempo e esforço no conhecimento da operação de refrigeração do shopping, porém baixo rendimento em relação aos resultados das máquinas trouxeram uma melhora de 4% em relação ao mês de março, onde nenhuma atitude havia sido tomada.

No mês de maio todas as medições realizadas deram ao time de manutenção um domínio imenso sobre os equipamentos, no sentido de focar a aplicação de esforços de manutenção nas máquinas de maior criticidade. Estas ações renderam um aumento bastante

significativo de 20% em aderência à operação do sistema de refrigeração. A pontuação foi mantida constante nos meses de janeiro, fevereiro e março pois estava contando apenas com as atividades que já eram desempenhadas pelo time de manutenção, porém sem aplicação da ferramenta de PDCA.

A Figura 20 ilustra esta evolução, onde nos meses iniciais a pontuação manteve-se constante em 59%, até que com o início da aplicação do PDCA no mês de abril rendeu um aumento até 63%, atingindo finalmente 83% no mês de maio.

Figura 20 - Evolução Mensal do shopping
Gráfico de Evolução Mensal



5. CONCLUSÃO

Várias conclusões podem ser tiradas do trabalho desenvolvido.

O primeiro foi o entendimento de como técnicas modernas de gestão podem conversar de maneira harmoniosa com processos de manutenção, auxiliando e guiando times a buscarem sempre o melhor de seu trabalho, focando seu esforço no que possui prioridade e munindo planejadores com dados e raciocínio sistêmico para melhor ação.

É importante perceber também que a manutenção deve aliar o conhecimento sobre o sistema de refrigeração do shopping ao qual foi aplicado o trabalho como um todo, pois é um sistema de 18 anos de idade, que foi sofrendo modernizações e alterações com o decorrer do tempo, de maneira a atender as necessidades dos lojistas e clientes.

A aplicação da ferramenta de PDCA proporcionou ao time de manutenção uma mudança de forma de pensamento, onde agora se busca principalmente a melhoria contínua de processos e da forma de trabalhar. Se por muito tempo a manutenção foi vista como um "mal necessário" que atuava somente quando algum problema surgia, agora ferramentas de gestão com foco em resultado tem buscado melhor eficiência energética, melhor operação do equipamento e maior controle sobre a temperatura do ambiente de um shopping center.

É importante citar a contribuição deste trabalho no sentido que propiciou a união entre o conhecimento absorvido dentro de sala de aula, durante o curso de graduação, com o mercado de trabalho. As técnicas de manutenção e gestão, vistas no decorrer do curso de Engenharia Mecatrônica puderam finalmente ser aplicadas.

Outra grande contribuição é o aumento do domínio da equipe sobre o sistema de refrigeração do shopping. A comparação se dá no sentido de controlar a temperatura do ambiente configurando apenas a temperatura de set-point da máquina de fan coil para a desejada, sem necessitar de uma série de tentativas e erros que levam a temperatura do ambiente a estarem em alguns momentos muito fria e em outros bastante quente.

Finalmente, não pode-se deixar de citar a continuidade deste trabalho, que até o momento serviu como base para munir o time de gestores e planejadores de Manutenção com dados para, a partir de agora, iniciar as ações de manutenção e seguir o caminho da busca pela melhoria contínua.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- AGUIAR, S. **INTEGRAÇÃO DAS FERRAMENTAS DA QUALIDADE AO PDCA E AO PROGRAMA SEIS SIGMA**. Belo Horizonte: Ed. de Desenvolvimento Gerencial, 2002.
- CAMPOS, V. F. **TQC: CONTROLE DA QUALIDADE TOTAL**. Fundação Cristiano Ottoni, 1992.
- CAVALCANTE, R. C.; FARIAS FILHO, J. R. **FERRAMENTAS DA QUALIDADE AUXILIANDO NA OTIMIZAÇÃO DOS PROCESSOS DO SETOR DE MANUTENÇÃO: UM ESTUDO DE CASO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**, 2015.
- FITCH, J. C. **MANUTENÇÃO PROATIVA PODE ECONOMIZAR 10 VEZES MAIS DO QUE PRÁTICAS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA/PREVENTIVA CONVENCIONAIS**, 2013.
- FONSECA, A. V. M.; MIYAKE, D. I. **UMA ANÁLISE SOBRE O CICLO PDCA COMO UM MÉTODO PARA SOLUÇÃO DE PROBLEMAS DA QUALIDADE**, 2006.
- IMAI, M. **KAIZEN: THE KEY TO JAPAN'S COMPETITIVE SUCCESS**. McGraw-Hill Education, 1986.
- LIMA, J. P. **IMPLANTAÇÃO DA CENTRAL DE ÁGUA GELADA EM UM SHOPPING NA SERRA CATARINENSE**. Lages: Universidade do Planalto Catarinense, 2014.
- MARIANI, C. A. **MÉTODO PDCA E FERRAMENTAS DA QUALIDADE NO GERENCIAMENTO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS: UM ESTUDO DE CASO**. Revista de Administração e Inovação, 2005.
- MUSTAFA, G. S. **REUTILIZAÇÃO DE EFLUENTES LÍQUIDOS EM INDÚSTRIA PETROQUÍMICA**. Tese (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, 1998.
- OLIVEIRA, S. E.; ALLORA, V.; SAKAMOTO, F. T. C. **UTILIZAÇÃO CONJUNTA DO MÉTODO UP' - UNIDADE DE PRODUÇÃO (UEP') COM O DIAGRAMA DE PARETO PARA IDENTIFICAR AS OPORTUNIDADES DE MELHORIA NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO - UM ESTADO NA AGROINDÚSTRIA DE ABATE DE FRANGO**, 2005.
- PALADINI, E. P. **QUALIDADE TOTAL NA PRÁTICA: IMPLANTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE QUALIDADE TOTAL**. Atlas, 1994.
- RODRIGUES, A. A.; DONEGÁ, T. J. **GESTÃO DA MANUTENÇÃO UTILIZANDO O PDCA: INTEGRAÇÃO PARA DIAGNÓSTICO E TRATAMENTO DAS OCORRÊNCIAS DE FALHAS**. Patos de Minas: Centro Universitário de Patos de Minas, 2017.

RODRIGUES NETO, J. C. MANUTENÇÃO PREDITIVA DE UM CENTRO DE USINAGEM CNC ATRAVÉS DE ANÁLISE DE VIBRAÇÕES. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

SILVA, S. R.; MEDEIROS, J. T. O CICLO PDCA COMO FERRAMENTA PARA ALCANÇAR A EFICIÊNCIA E EFICÁCIA NA GESTÃO DA MANUTENÇÃO, 2014.

SOUSA, B. F. C. R. MODELAÇÃO DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO. Tese (Mestrado) - Universidade de Aveiro, 2011.

SOUZA, R. C.; DEMÉTRIO, T. V. O CICLO PDCA E DMAIC NA MELHORIA DO PROCESSO PRODUTIVO NO SETOR DE FUNDIÇÃO: UM ESTUDO DE CASO DA EMPRESA DELUMA INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA, 2012.

VAZ, A. S. A. P. S. A UTILIZAÇÃO DO KAIZEN EM ÁREAS OPERACIONAIS E ADMINISTRATIVAS DE UMA EMPRESA DE MANUTENÇÃO E RENT-A-CARGO. Tese (Mestrado) - Universidade Nova de Lisboa, 2016.

WHITMAN, W. C. REFRIGERATION AND AIR CONDITIONING TECHNOLOGY. Delmar Cengage Learning, 2008.

WYREBSKI, JERZI. MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL - UM MODELO ADAPTADO. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.

XENOS, H. G. GERENCIANDO A MANUTENÇÃO PRODUTIVA. Editora EDG, 1998.