



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

DÉBORA LUANA HENRIQUE SOARES SILVA

**APLICAÇÃO DO FMEA COMO SUPORTE PARA MELHORIA DE
PROCESSOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM ESTUDO DE CASO**

**SUMÉ - PB
2019**

DÉBORA LUANA HENRIQUE SOARES SILVA

**APLICAÇÃO DO FMEA COMO SUPORTE PARA MELHORIA DE
PROCESSOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada ao Curso Superior de Engenharia de Produção do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Produção.

Orientadora: Professora Dra. Maria Creuza Borges de Araújo.

**SUMÉ - PB
2019**

S586a Silva, Débora Luana Henrique Soares.
Aplicação do FMEA como suporte para melhoria de processos na construção civil: um estudo de caso. / Débora Luana Henrique Soares Silva. - Sumé - PB: [s.n], 2019.

50 f.

Orientadora: Professora Dr^a Maria Creuza Borges de Araújo.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Engenharia de Produção.

1. FMEA - Failure Mode and Effect Analysis. 2. Manutenção industrial. 3. Construção civil. 4. Edificação. 5. Análise de falhas – construções. I. Araújo, Maria Creuza Borges de. II. Título.

CDU: 62-7(043.1)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista

CRB-15/626

DÉBORA LUANA HENRIQUE SOARES SILVA

**APLICAÇÃO DO FMEA COMO SUPORTE PARA MELHORIA DE
PROCESSOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada ao Curso Superior de Engenharia de Produção do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Produção.

BANCA EXAMINADORA:

Professora Dr^a. Maria Creuza Borges de Araújo
Orientadora - UAEP/CDSA/UFCG

Professora Dr^a. Alexandra Chaves Braga
Examinador I - UNIFACISA

Professor Dr. John Elton de Brito Leite Cunha
Examinador II - UAEP/CDSA/UFCG

Trabalho aprovado em: 12 de dezembro de 2019.

SUMÉ - PB

Dedico este trabalho à minha tia e a meu pai, que foram como pilares para essa conquista e a quem serei eternamente grata.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que se fez presente em minha vida, principalmente em momentos que eu desacreditei de mim mesma. Deu-me forças e agiu de forma generosa, colocando pessoas que foram de suma importância para que eu chegasse até aqui.

Agradeço à minha família, que não mediu esforços para me dar todo o suporte para que eu concluísse essa etapa. Em especial à minha tia Cal, que foi meu alicerce para todas as horas, sempre acreditando no meu potencial, e a meu pai, que mesmo de longe sempre se fez presente e acreditou que eu alcançaria meus objetivos.

Aos amigos, que tornaram essa jornada divertida e memorável, sendo um refúgio para todas as horas.

À minha orientadora, Dr. Maria Creuza, que fez uma orientação acadêmica ao mesmo tempo que me deu apoio, teve paciência comigo e sempre foi prestativa. Você tornou o TCC uma aventura melhor! Ao meu amigo Me. Daniel Farias, que foi professor e amigo, sempre me deu suporte e conselhos profissionais que vou levar para a vida.

E por fim, agradeço aos professores no geral, por todo conhecimento transmitido e por tanta dedicação ao campus e aos alunos. A participação de vocês é essencial no crescimento pessoal e profissional de cada aluno fruto do CDSA.

Renda-se, como eu me rendi. Mergulhe no que você não conhece como eu mergulhei. Não se preocupe em entender, viver ultrapassa qualquer entendimento.

(Clarice Lispector).

RESUMO

O setor da construção civil é um dos motores da economia brasileira e movimentou bilhões todos os anos. Dentro desse contexto de relevância estratégica e econômica, a qualidade e segurança das obras é um fator essencial para a solidez dessa indústria e permite com que as obras desempenhem seu papel da melhor forma possível. Levando isso em conta, a área da manutenção industrial é um domínio do conhecimento que usa ferramentas variadas para identificar e prevenir e/ou mitigar possíveis falhas em equipamentos, incluindo, em sentido amplo, as próprias edificações. Nesse cerne, o Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), "Análise de Modos de Falhas e Efeitos", é um método utilizado para prevenir falhas e analisar os riscos decorrentes dessa falha, sendo aplicável a vários processos de diversas áreas. Este estudo objetivou desenvolver um plano de melhoria com base no FMEA para uma obra de construção civil localizada na cidade de São José do Egito-PE. Em primeiro lugar, foram elencadas as atividades realizadas no canteiro de obras, sendo aplicado posteriormente o FMEA para o ambiente específico. Por fim, com base no resultado da aplicação do FMEA, foram identificados os modos de falha com maior Número de Prioridade de Risco (NPR). Os 5 modos de falha com maior NPR, para os quais foi proposto um plano de melhoria foram: deterioração das vigas, compartimentos de placas de drywall inadequados, quebra da pedra cerâmica, posicionamento de vigas inadequado e infiltrações. Os 3 primeiros são da etapa estrutural, ao passo que o quarto é de projeto e o último é da etapa de instalações hidráulicas. A aplicação do formulário FMEA foi capaz de identificar os modos de falha com maior NPR e, a partir disso, elaborar um plano de melhoria para aumentar a eficiência do processo de trabalho no ambiente estudado.

Palavras-chave: FMEA. Manutenção. Análise de falhas. Edificação.

ABSTRACT

The civil construction sector is one of the key drivers of Brazilian economy and moves billions a year. In this context of strategic and economic relevance, quality and safety of construction sites is an essential factor for the soundness of this industry and allows constructions to perform at their best. Taking this into consideration, industrial maintenance is a domain of knowledge that uses a variety of tools in order to identify and prevent and/or mitigate eventual faults in equipment, including, in a broad sense, the building themselves. In this regard, Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) is a method designed to prevent potential failure and analyze risks derived from it, and is applicable to many processes in several different fields. This study aimed to develop an FMEA-based improvement plan for a construction site located in the city of São José do Egito-PE. In the first place, activities carried out at the construction site were listed, and FMEA was then applied to the specific environment. At last, based on the result of FMEA application, failure modes with the highest Risk Priority Number (NPR) were identified. The 5 failure modes with highest NPR for which an improvement plan was proposed were: beam deterioration, inadequate beam utilization, inadequate drywall board compartments, ceramic stone breakage and infiltration. The first 4 are from the structural stage, whereas the last one is from the hydraulic installation stage. The application of FMEA form was able to identify failure modes with highest NPR and, from this, elaborate an improvement plan in order to increase work process efficiency in the studied environment.

Keywords: FMEA. Maintenance. Failure Analysis. Building.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Síntese evolutiva da manutenção.....	19
Quadro 2	FMEA: Análise de efeitos e modos de falha.....	26
Quadro 3	Índice de severidade da falha.....	28
Quadro 4	Índice de ocorrência da falha.....	28
Quadro 5	Índice de detecção de falha.....	29
Quadro 6	Aplicação do FMEA.....	35
Quadro 7	Maiores Índices de NPR.....	37
Quadro 8	Modos de falha, causas e ações recomendadas.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CBIC – Câmara Brasileira de Indústria da Construção

CBM – Manutenção Baseada em Condições

FMEA – Failure Mode and Effects Analysis

IBAPE – Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia

ISO – International Organization of Standardization

NASA – National Aeronautics and Space Administration

NPR – Número de Prioridade de Risco

RCM – Reliability Centered Maintenance

ROA – Retorno sobre os Ativos

ROI – Retorno sobre os Investimentos

TBM – Manutenção Baseada no Tempo

TMF – Tempo Médio entre as Falhas

TPM – Total Productive Maintenance

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	OBJETIVO GERAL.....	12
1.1.1	Objetivos específicos.....	12
1.2	JUSTIFICATIVA.....	12
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	MANUTENÇÃO.....	16
2.2	EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA MANUTENÇÃO.....	16
2.2.1	Primeira geração.....	16
2.2.2	Segunda geração.....	17
2.2.3	Terceira geração.....	17
2.2.4	Quarta geração.....	18
2.2.5	Quinta geração.....	18
2.2.6	Síntese evolutiva da manutenção.....	19
2.3	TIPOS DE MANUTENÇÃO.....	20
2.3.1	Manutenção corretiva.....	20
2.3.2	Manutenção preventiva.....	21
2.3.3	Manutenção preditiva.....	21
2.3.4	Manutenção detectiva.....	22
2.4	ENGENHARIA DA MANUTENÇÃO.....	23
2.4.1	Gestão da manutenção na construção civil.....	23
2.4.2	Manutenção predial.....	24
2.4.3	Utilização do FMEA na construção civil.....	25
2.4.4	Efeito das falhas.....	27
2.4.5	Classificação dos efeitos.....	27
2.5	ANÁLISE DE CRITICIDADE.....	29
3	METODOLOGIA.....	30
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	30
3.2	ETAPAS DO TRABALHO.....	33
4	ESTUDO DO CASO.....	34
4.1	AMBIENTE ESTUDADO.....	34
4.1.1	Aplicação do FMEA.....	35
5	RESULTADOS.....	38
5.1	PROPOSTA DE PLANO DE MELHORIA.....	38
6	CONCLUSÃO.....	41
	REFERÊNCIAS.....	43
	APÊNDICES.....	47

1 INTRODUÇÃO

Segundo Cupertino e Brandstetter (2015), a expansão da construção civil nos últimos anos é um processo que vem gerando um aumento da competitividade e do nível de exigência dos consumidores. Diante disso, esses comportamentos tornaram-se fatores decisivos para que as empresas mudassem a forma de atuação no mercado, e começassem a buscar a máxima satisfação dos clientes e a melhoria contínua de seus processos produtivos, aumentando sua vantagem competitiva e garantindo a estabilidade dentro do mercado.

Isso alude à necessidade de que, durante sua construção e utilização, o edifício deve ser constantemente controlado, evitando eventuais desvios de padrão e que possíveis falhas possam ser identificadas com antecedência para que seus efeitos sejam minimizados ou sanados completamente. Dessa forma, torna-se de grande importância a manutenção predial para a correção dos problemas existentes e prevenção e controle das falhas potenciais que possam comprometer sua qualidade e segurança (ROMAN, 2010).

Levando o exposto em consideração, para que a empresa consiga excelência no seu processo produtivo se faz necessário que a manutenção atue de maneira integrada e eficaz com a organização. A interseção do setor de manutenção com o de produção influencia diretamente na qualidade e produtividade, desempenhando um papel estratégico na melhoria dos resultados operacionais e financeiros (XENOS, 1998). Assim, para garantir a entrega de melhores resultados, as ferramentas baseadas na excelência são incorporadas como procedimentos padrões (YAMAGUCHI, 2005).

Visando essas melhorias, as empresas estão aplicando cada vez mais técnicas e metodologias com bases estatísticas, permitindo a prevenção, detecção e controle de falhas nos projetos, processos e sistemas. Com isso, o FMEA (Failure Mode and Effects Analysis - Análises de Modos de Falhas e Efeitos) apresenta-se como uma ferramenta eficaz, atuando dentro de programas para garantir qualidade, confiabilidade e produtividade.

Na visão de Santos, Pires e Herzog (2014), o FMEA não se resume a preenchimento de formulários, serve também como base para uma reflexão dos colaboradores sobre as falhas que ocorrem no produto ou processo, e assim possibilita a identificação das ações de melhoria mais eficazes, que podem ser então dentro da organização. Para Sant'anna e Pinto Junior (2010), o FMEA se constitui no registro das possíveis falhas e avaliação das mesmas. Devido a esse procedimento de registro de falhas, o FMEA torna-se um importante instrumento para criação de banco de dados e produção de conhecimento para a organização.

A análise de falhas na construção civil visa, além da introdução de melhorias contínuas nos procedimentos de execução, a consequente redução de desperdício e a redução da variabilidade dos efeitos dos processos. A introdução de contramedidas a falhas potenciais implicará no aumento da robustez dos processos de execução, tornando-os menos sensíveis a variações imprevistas nos parâmetros de produção (CARVALHO JUNIOR; ANDERY, 1999). Essa ferramenta é aplicável a qualquer elemento ou processo da construção, permitindo identificação das falhas nas edificações geradas a partir dos procedimentos e, por conseguinte, que sejam avaliadas as medidas de controle e correção mais pertinentes.

Baseado no exposto, esse estudo visa usar o FMEA para identificar as falhas potenciais decorrentes das operações realizadas em um canteiro de obras, avaliar suas possíveis causas e propor um plano de manutenção adequado e eficaz de acordo com as características do ambiente estudado. Para empresa avaliada, este estudo pode evitar as paradas desnecessárias, reduzir retrabalhos e custos, facilitar o cumprimento de prazos, melhorar seu processo produtivo e garantir a satisfação dos clientes.

1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um plano de melhoria do processo com base na abordagem da Análise do Modo de Falha e Efeito em uma empresa do setor de construção civil da cidade de São José do Egito-PE.

1.1.1 Objetivos específicos

- Explicitar as atividades realizadas no canteiro de obras.
- Elaborar o FMEA do processo para os modos de falha identificados.
- Propor um plano de melhoria dos processos priorizados pelo NPR.

1.2 JUSTIFICATIVA

Em primeiro lugar, trata-se de uma questão econômica e estratégica. A indústria da construção civil representa um setor de relevância estratégica da economia brasileira, além de ser um dos que mais movimentam volume de dinheiro. Segundo dados compilados pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) para o ano de 2017, este setor compreendeu 5,2%

do Valor Adicionado Bruto brasileiro, totalizando aproximadamente 295 bilhões de reais de resultado (Câmara Brasileira da Indústria da Construção, 2018). Em consonância com este valor investido na execução de novos empreendimentos, segundo o professor Moacir da Graça, “hoje o mercado de facility, do qual faz parte a manutenção predial, movimenta cerca de R\$ 22 bilhões por ano no Brasil.” (CONSTRUÇÃO MERCADO, 2010, p.1). Mais especificamente, “estima-se que 60% desse montante seja destinado ao setor de manutenção” (CONSTRUÇÃO MERCADO, 2010, p.1). Ou seja, 13,2 bilhões de reais são destinados à manutenção das edificações existentes. Tanto pelo montante movimentado pelo setor da construção civil quanto pela já citada relevância estratégica (como motor da economia), fica evidente a importância de estudos, como este, que visam analisar o uso de ferramentas (no caso, o FMEA) para alavancar o conhecimento produzido na área.

Adiante, a questão do papel social da edificação, papel esse que necessita de segurança e qualidade para vir a cabo. Nesse sentido, conforme a NBR 5674 (manutenção de edificações: requisitos para o sistema de gestão da manutenção), as edificações são o suporte físico para a realização direta ou indireta de todas as atividades produtivas e possuem, portanto, um valor social e econômico fundamental (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012). Essa importância atribuída à edificação corrobora com a necessidade da elaboração de um plano de manutenção, pois além de ser importante para a segurança dos usuários, é essencial para assegurar a qualidade durante a vida útil projetada, garantindo que a edificação possa exercer seu papel na sociedade da melhor forma.

Para se alcançar esses resultados satisfatórios nas atividades de manutenção é imprescindível uma gestão eficiente da manutenção predial. Desse modo, a NBR 5674 deixa claro que a eficiência na administração ou conjunto de edificações é atingida quando se insere no sistema uma abordagem fundamentada em procedimentos organizados, seguindo uma lógica de controle de qualidade e custo (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012).

Ainda, retomando a questão da segurança, trata-se de temática de interesse geral, seja das empresas que planejam e executam a obra, das pessoas envolvidas direta e indiretamente na construção, chegando aos donos e/ou usuários das edificações. A falta de manutenção pode comprometer consideravelmente a usabilidade de um prédio e levar até a acidentes. Os acidentes prediais decorrentes de falhas na construção ou na manutenção predial vêm causando mortes e prejuízos injustificáveis, principalmente com o envelhecimento e desvalorização de nossas edificações. Desabamentos, incêndios, quedas de marquises e fachadas, vazamentos, infiltrações e tantas outras mazelas provenientes dos descuidos com as edificações podem ser evitadas com medidas preventivas, simples, de longo prazo, através de um planejamento que se

inicia com a inspeção predial, para a posterior implantação do plano de manutenção, que garante a boa performance do prédio, a segurança e conforto dos seus usuários (ORTIZ, 2015).

Essa relevância da manutenção como agente que prevenção de avarias nas edificações fica evidente em estudo realizado pelo Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo (IBAPE – SP). Nele, foi verificado que mais de 66% dos acidentes ocorridos em edifícios com mais de 10 anos estavam relacionados à deficiência ou inexistência de manutenção, perda precoce de desempenho e degradação estrutural (Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo, 2015). O estudo ainda concluiu que em mais da metade dos acidentes avaliados houve o colapso parcial ou total do sistema estrutural, ora por falta de manutenção, ora por erros de projeto ou de execução (Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo, 2015). O mesmo documento afirma, ainda, a necessidade de se fazer a antecipação dos possíveis problemas, evidenciando a importância de uma cultura de inspeção e manutenção prediais que assegurem qualidade e segurança.

Portanto, diante do exposto, o desenvolvimento desse estudo visou contribuir para um maior entendimento das falhas e das causas das falhas que ocorrem em uma edificação em construção, fundamentando posteriormente a elaboração de um plano de manutenção adequado à edificação em questão. Os resultados do estudo, portanto, alcançam um nível local, no caso da obra ora analisada, e também servem de base para o aprimoramento de outras intervenções que busquem melhorias na questão da manutenção predial, auxiliando na construção coletiva do conhecimento nessa área de estudo. E, de um modo mais sintético, este estudo contribui ainda com melhorias da segurança, qualidade, aumento da vida útil, economia, custo e conforto da edificação.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

O presente trabalho está estruturado em cinco partes. A seção 1 trata da contextualização do tema, as considerações iniciais acerca da importância da abordagem de um plano de manutenção no setor da construção civil, tendo o FMEA como ferramenta de suporte para elaboração do plano e acompanhamento dos modos de falhas. Ainda na primeira seção é abordado o objetivo geral, objetivos específicos e evidencia a contribuição da pesquisa para a comunidade, empresa e academia.

A seção 2 aborda uma revisão metodológica, explicitando conceitos quanto a caracterização da pesquisa de acordo com a sua abordagem, natureza, objetivos e procedimento e em seguida, a estruturação das etapas da pesquisa. Adiante, a seção 3 apresenta o referencial

teórico, que fundamenta o delineamento da pesquisa abordando os principais conceitos acerca da manutenção, gestão da manutenção na construção civil e FMEA.

Dando continuidade, a seção 4 traz os resultados da pesquisa, iniciando com a caracterização do ambiente estudado, aplicação do modelo FMEA para as falhas levantadas durante o desenvolvimento do estudo e, em seguida, a elaboração de um plano de melhoria estruturando os resultados e recomendações. Por fim, na seção 5 serão apresentadas as considerações finais do estudo, mostrando os resultados gerais alcançados com relação à análise do modo de falha e realizando uma análise do atendimento aos objetivos do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este tópico apresenta uma ampla investigação e fundamentação teórica dos conceitos sobre gestão da manutenção e as ferramentas utilizadas que deram suporte para o desenvolvimento do estudo em questão.

2.1 MANUTENÇÃO

Conforme Kardec e Nascif (2009, p. 23), a manutenção industrial tem como objetivo “garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção e a preservação do meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custos adequados”. Por sua vez, Slack (2007) atribui à manutenção a principal característica de evitar as falhas, contribuindo para as atividades de produção da empresa.

A manutenção apresenta-se, então, como a intervenção que visa evitar a degradação dos equipamentos e instalações, causadas por desgaste natural ou pelo uso. Assim, objetiva-se que um equipamento mantenha as condições necessárias para operar e atender a demanda de uma produção, desempenhando as funções para as quais foi projetado e com o rendimento operacional exigido (XENOS, 2014).

2.2 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA MANUTENÇÃO

2.2.1 Primeira geração

Formas simples de manutenção, como conservação de objetos e ferramentas de trabalho, estendendo-se até pequenas atividades de reparo, podem ser observadas desde os primórdios das civilizações. No entanto, foi apenas com a Revolução Industrial do século XVIII, aliada a um grande avanço tecnológico, que a função manutenção emergiu na indústria, como forma de garantir a continuidade do trabalho. Neste caso, o próprio operador da máquina era responsável pela sua manutenção, sendo treinado para realizar reparos (WIREBESK, 1997).

Essa fase é considerada como a primeira geração, que

[...] abrange o período antes da Segunda Guerra Mundial, quando a indústria era pouco mecanizada, os equipamentos eram simples e, na sua grande maioria, superdimensionados. Aliado a tudo isto, devido à conjuntura econômica da época, a questão da produtividade não era prioritária (KARDEC; NASCIF, 2012).

De acordo com esse ponto de vista não era necessária uma manutenção sistematizada; apenas serviços de limpeza e lubrificação eram sistematizados e os reparos sempre ocorriam após a quebra, ou seja, a manutenção era, fundamentalmente, corretiva, não planejada. A visão

em relação às falhas dos equipamentos era a de que “todos os equipamentos se desgastavam com o passar dos anos, vindo a sofrer falhas ou quebras” (KARDEC; NASCIF, 2012). A competência que se buscava era basicamente a habilidade do executante em realizar o reparo necessário (KARDEC; NASCIF, 2012).

2.2.2 Segunda geração

Adiante, Kardec e Nascif (2012) pontuam que a segunda geração iniciou-se a partir da década de 1950, perdurando até por volta de 1970. Por ter iniciado no período pós-Guerra imediato, essa geração foi influenciada por 2 fatores importantes: um aumento da demanda de diversos produtos e uma diminuição razoável da mão de obra disponível. Esses fatores contribuíram para a mecanização das indústrias e, conseqüentemente, para a instalação de um novo paradigma da manutenção.

Com essa alteração na demanda de produtos e expansão industrial, evidenciou-se a necessidade da busca pela produtividade. Isso só era possível através do bom funcionamento das máquinas, para que alcançassem a produção ótima. Logo, falhas dos equipamentos poderiam e deveriam ser evitadas, o que resultou na emergência do conceito de manutenção preventiva (KARDEC; NASCIF, 2012).

É nessa segunda geração que aflora a ideia de antecipar a ocorrência de uma falha, através de revisões gerais com uma periodicidade determinada, surgindo o conceito supracitado ou outros equivalentes, como Manutenção Baseada no Tempo (TBM). Outra contribuição dessa geração foi o início de pesquisas científicas para o desenvolvimento de técnicas de manutenção baseadas na disponibilidade e desempenho do equipamento, que culminou na chamada Manutenção Baseada em Condições (CBM) ou manutenção preditiva (RAPOSO, 2004; SIQUEIRA, 2009).

2.2.3 Terceira geração

A terceira geração tem início a partir da década de 1970, período em que se acelerou o processo de mudança nas indústrias. A paralisação da produção, que sempre diminui a capacidade de produção, elevou os custos e afetou a qualidade dos produtos. Na manufatura, os efeitos dos períodos de paralisação foram se agravando em consequência da tendência mundial de utilização de sistemas *just-in-time*. Nesse modelo, os estoques são reduzidos e a produção é feita por demanda, “na hora certa”; logo, pequenas pausas na produção/entrega, nesse período

da década de 1970, significava uma eventual paralisação das fábricas (KARDEC; NASCIF, 2012).

Siqueira (2009) observa que com a automação as possibilidades de ocorrerem falhas ou defeitos foram aumentadas, em razão da introdução de novas tecnologias. Para compensar essa nova tendência, Shenoy e Bhadury (2005) defendem que exigiu-se da manutenção um aprimoramento visando garantir que os equipamentos continuassem a desempenhar as suas funções com a melhor relação custo-benefício.

2.2.4 Quarta geração

Algumas expectativas em relação à manutenção existentes na terceira geração continuaram a existir na quarta geração. A disponibilidade é uma das medidas de desempenho mais importantes da manutenção, sendo assim, o fator de grande busca da confiabilidade. Nesta geração houve a implantação da engenharia de manutenção dentro da estrutura organizacional, garantindo a confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade (KARDEC; NASCIF, 2012).

Uma vez que as empresas possuíam a maturidade dos conceitos e aplicações das ações de manutenção, iniciaram a adoção de uma estrutura para desenvolvimento do conjunto de ferramentas utilizadas, com objetivo de gerir e operar a manutenção sob um sistema organizado, culminando no surgimento das metodologias de manutenção: Reliability Centered Maintenance (RCM) na indústria aeronáutica americana, Total Productive Maintenance (TPM) no Japão, Terotecnologia na Inglaterra e outras combinação destas técnicas (GUTIÉRREZ, 2005; KARDEC; NASCIF, 2009; MOUBRAY, 1997).

A interação entre as áreas de engenharia, manutenção e operação como fator de garantia de um sistema organizado foi buscado pelas empresas da época, que buscavam bons resultados para os projetos iniciados (KARDEC; NASCIF, 2012).

2.2.5 Quinta geração

As práticas adotadas na quarta geração são mantidas, mas o enfoque agora está voltado para os resultados empresariais. Por essa razão, a competitividade foi um valor muito perseguido, tido como fundamental à sobrevivência da empresa, e sendo alcançado através do esforço conjunto em todas as áreas coordenadas pela sistemática da Gestão de Ativos (KARDEC; NASCIF, 2012).

Pela Gestão de Ativos (*Asset Management*), os ativos devem produzir na sua capacidade máxima, sem falhas não previstas, de modo que seja obtido o melhor Retorno sobre os Ativos (ROA- *Return on Assets*) ou Retorno sobre os Investimentos (ROI - *Return on Investment*) (KARDEC; NASCIF, 2012).

2.2.6 Síntese evolutiva da manutenção

O Quadro 1 explica as características principais de cada geração de acordo com o período e suas principais características para melhor entendimento da sua evolução temporal e conceitual.

Quadro 1 - Síntese evolutiva da manutenção.

Geração	Primeira Geração	Segunda Geração	Terceira Geração	Quarta Geração	Quinta Geração
Ano	1940 1950	1960 1970	1980 1990	2000 2005	2010 2015
Aumento das expectativas	•Conserto após a falha	•Disponibilidade •Maior tempo de vida útil do equipamento	•Maior Confiabilidade •Maior disponibilidade •Melhor relação custo- benefício •Preservação do meio ambiente	•Maior Confiabilidade •Maior disponibilidade •Preservação do meio ambiente •Segurança •Gerenciar ativos •Influir nos resultados do negócio	•Gerenciar os ativos •Otimizar os ciclos de vida •Influir nos resultados do negócio
Visão quanto a falha do ativo	•Todos os equipamentos se desgastam com a idade e por isso falham	•Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira	•Existência de 6 padrões de falhas	• Reduzir drasticamente falhas prematuras dos padrões A e E	•Planejamento do ciclo de vida desde o projeto para reduzir falhas
Mudança nas técnicas de manutenção	•Habilidades voltadas para o reparo	•Planejamento manual da manutenção •Computadores grandes e lentos •Manutenção preventiva(por tempo)	•Monitoramento da condição •Manutenção preditiva •Análise de risco •Computadores pequenos e rápidos •Softwares potentes •Grupos de trabalho disciplinares	•Aumento da manutenção preditiva e monitoramento da condição •Redução nas manutenções preventiva e corretiva não planejada •Análise de falhas •Técnicas de confiabilidade	•Aumento da manutenção preditiva e monitoramento da condição on e off-line •Participação efetiva no projeto, aquisição, instalação, comissionamento entre outros

Fonte: adaptado de Kardec e Nascif, 2012.

2.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Segundo Viana (2002), os tipos de manutenção são as formas de encaminhar as intervenções nos instrumentos de produção, ou seja, nos equipamentos que compõem uma determinada planta.

Com isso, os tipos de manutenção são caracterizados de acordo com a forma e o tempo que é realizada a intervenção no sistema. Neste estudo, serão descritos os tipos de manutenção considerados como principais por diversos autores.

2.3.1 Manutenção corretiva

Slack *et al.* (2002, p. 625) afirmam que a manutenção corretiva “significa deixar as instalações continuarem a operar até que quebrem. O trabalho de manutenção é realizado somente após a quebra do equipamento ter ocorrido [...]”. Essa definição evidencia que esse tipo de manutenção é uma forma simples e primitiva de realizar as intervenções no maquinário e pode não trazer bons resultados para a empresa. Corroborando essa visão, Almeida (2000) pontua que esse método é 3 vezes mais oneroso para a empresa quando comparado com métodos que tentam antecipar a falha.

Prosseguindo, a manutenção corretiva ainda subdivide-se em duas categorias: planejada e não planejada. Na manutenção corretiva não-planejada, o ajuste da falha ou do desempenho abaixo do esperado é realizado sempre após a ocorrência do fato, sem acompanhamento ou planejamento anterior, aleatoriamente. Implica em altos custos e baixa confiabilidade de produção, já que gera ociosidade e danos maiores aos equipamentos, muitas vezes irreversíveis (OTANI; MACHADO, 2008).

No caso da manutenção corretiva planejada, a correção é realizada por decisão gerencial, isto é, pela atuação em função de acompanhamento preditivo ou pela decisão de operar até a quebra. (PINTO; XAVIER, 2007). Sobre isso, Otani e Machado (2008, p. 4) apontam que “pelo seu próprio nome planejado, indica que tudo o que é planejado tende a ficar mais barato, mais seguro e mais rápido”.

Porém, Almeida (2000) ressalta que esse tipo de gerência de manutenção, apesar de simples, pode requerer custos altíssimos, associados a: estoque de peças sobressalentes, trabalho extra, custo com ociosidade de máquina e baixa disponibilidade de produção.

2.3.2 Manutenção preventiva

É uma manutenção realizada de acordo com intervalos pré-determinados e critérios específicos e tem como objetivo reduzir a probabilidade da falha ocorrer. Segundo Slack et al. (2002, p. 645), “visa eliminar ou reduzir as probabilidades de falhas por manutenção (limpeza, lubrificação, substituição e verificação) das instalações em intervalos de tempo pré-planejados”.

De acordo com Almeida (2000, p.3) “todos os programas de gerência de manutenção preventiva assumem que as máquinas degradam com um quadro típico de sua classificação em particular”. Ou seja, os reparos e recondiçõamentos de máquinas, na maioria das empresas, são planejados a partir de estatísticas, sendo a mais largamente usada a curva do tempo médio para falha (CTMF) (ALMEIDA, 2000).

Esse tipo de abordagem, no entanto, precisa ser individualizado para o tipo de equipamento com o qual se trabalha e em que meio está inserido. Almeida (2000, p.3) cita como exemplo que “o tempo médio entre as falhas (TMF) não será o mesmo para uma bomba que esteja trabalhando com água e bombeando polpas abrasivas de minério”. Tais generalizações são as principais responsáveis pelos dois problemas mais comuns ao se adotar a manutenção preventiva: reparos desnecessários ou bastante antecipados e falhas inesperadas (ALMEIDA, 2000).

Quando se realiza a manutenção preventiva, é necessário um planejamento para compra de sobressalentes, criação da equipe para o reparo e programar a parada na produção, pois quando realizada na hora errada pode ocasionar perdas de peças boas e prejuízos na produção pela parada da mão-de-obra. Já na segunda situação levantada, que são as falhas inesperadas, há um prejuízo maior, pois somam-se aos gastos preventivos aqueles relacionados aos gastos corretivos.

2.3.3 Manutenção preditiva

É a manutenção que realiza acompanhamento de variáveis e parâmetros de desempenho de máquinas e equipamentos, visando definir o instante correto da intervenção, com o máximo de aproveitamento do ativo (OTANI; MACHADO, 2008). Os dados coletados, como temperatura, pressão e vibração são confrontados com os parâmetros estabelecidos e conduz o equipamento ao seu rendimento máximo, reduzindo as manutenções e aumentando a produtividade.

Segundo Almeida (2000, p. 4) “[...] trata-se de um meio de se melhorar a produtividade, a qualidade do produto, o lucro, e a efetividade global de nossas plantas industriais de manufatura e de produção”.

Este tipo de manutenção consiste em inspeções instrumentadas nos equipamentos visando prever alguma falha. Contrastando com a preventiva, que reduz a probabilidade da falha acontecer, a manutenção preditiva monitora a falha ainda em estágio inicial e quantifica a severidade. Ou seja, o acompanhamento do equipamento é feito em pleno funcionamento, o que permite maior disponibilidade, já que o equipamento só vai sofrer intervenção quando estiver próximo do limite estabelecido previamente com base nos critérios de fabricação.

As condições básicas destacadas para este tipo de manutenção são as seguintes:

- O sistema, instalação ou equipamento permite o monitoramento;
- Para esse tipo de manutenção o equipamento, sistema ou instalação deve justificar a escolha de acordo com os custos envolvidos;
- As falhas devem ter causas que permitam o seu monitoramento e a progressão acompanhada.

2.3.4 Manutenção detectiva

O termo manutenção detectiva vem da palavra “detectar” e começou a ser utilizado a partir da década de 1990. O objetivo desta técnica é aumentar a confiabilidade dos equipamentos, sendo caracterizada pela intervenção em sistemas de proteção para detectar falhas ocultas e não perceptíveis ao pessoal da operação (SOUZA, 2008).

A manutenção detectiva consiste na identificação de falhas que estejam ocultas para a equipe de manutenção e operação; essa falha provavelmente não foi identificada pois nunca foi necessária a intervenção.

Desse modo, tarefas executadas para verificar se um sistema de proteção ainda está funcionando representam a Manutenção Detectiva. Um exemplo simples e objetivo é o botão de teste de lâmpadas de sinalização e alarme em painéis. A identificação de falhas ocultas é primordial para garantir a confiabilidade. Em sistemas complexos essas ações só devem ser levadas a efeito por pessoa da área de manutenção, com treinamento e habilitação para tal, assessorado pelo pessoal de operação (KARDEC; NASCIF, 2009).

2.4 ENGENHARIA DA MANUTENÇÃO

De acordo com Kardec e Nascif (2009, p. 50), a Engenharia de Manutenção significa “perseguir benchmarks, aplicar técnicas modernas, estar nivelado com a manutenção do Primeiro Mundo”. Para tanto, visa, dentre outros fatores, aumentar a confiabilidade, disponibilidade, segurança e manutenibilidade; eliminar problemas crônicos e solucionar problemas tecnológicos; melhorar gestão de pessoal, materiais e sobressalentes; participar de novos projetos e dar suporte à execução; fazer análise de falhas e estudos; elaborar planos de manutenção, fazer análise crítica e acompanhar indicadores, zelando sempre pela documentação técnica (KARDEC; NASCIF, 2009).

A empresa que pratica a Engenharia de Manutenção além de realizar o acompanhamento preditivo dos equipamentos e máquinas, também está otimizando o fluxo de informações sobre manutenção, permitindo um banco de dados para realizar as melhorias necessárias e possuir uma gestão de manutenção eficaz.

2.4.1 Gestão da manutenção na construção civil

A manutenção de uma edificação é tida como todo o conjunto de atividades que garantirá o seu desempenho satisfatório ao longo do tempo, ou seja, é o conjunto de rotinas que têm por finalidade o prolongamento da vida útil dessa edificação a um custo compensador. A presença do usuário ou proprietário é fundamental, pois estes são considerados os corresponsáveis pela manutenção, devendo estar sempre dispostos a suportar os custos com o sistema de manutenção concebido pelos projetistas, que deverão ser respeitados e viabilizados pelo construtor (SOUZA; RIPPER, 2009).

Quando se trata de manutenção em construção civil, as normas da International Organization of Standardization (ISO) são comumente aplicadas no sentido de estabelecer conceitos aplicáveis para tal objetivo. De modo geral, a manutenção aplicada à construção civil pode ser definida como o conjunto de atividades e recursos que garanta o melhor desempenho da edificação a fim de atender às necessidades dos usuários, com confiabilidade e disponibilidade, ao menor custo possível. Assim, a finalidade principal da manutenção predial consiste em reformar ou fazer modificações para o tratamento de avarias ou falhas, desde a fase de projeto até a utilização da obra (MAIA; SCHEER, 2016).

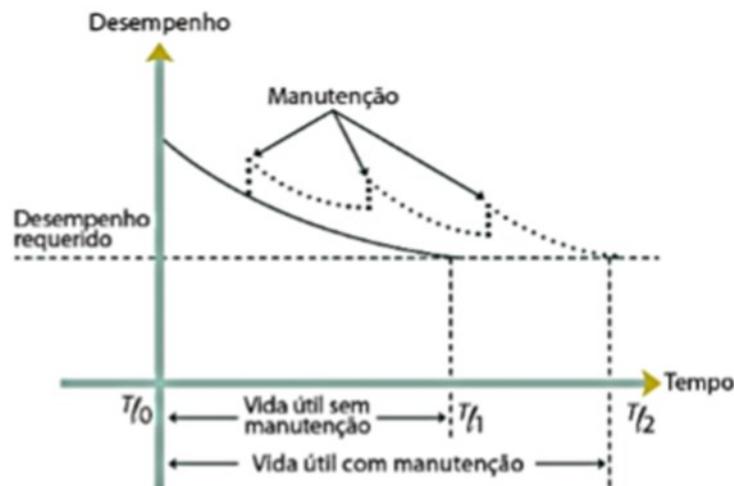
Almeida (2017) reforça que a manutenção de obras de construção civil engloba todas as atividades técnicas e procedimentos administrativos necessários para o perfeito e contínuo

funcionamento dos seus equipamentos e instalações, com segurança, higiene, conforto e baixo custo. No entanto, para que essas atividades sejam realizadas de modo satisfatório, é necessário o comprometimento de todos os profissionais envolvidos, desde a participação direta da equipe gestora, incentivando e inspecionando a rotina de trabalho, até os funcionários de campo.

A premissa principal para aplicação da gestão da manutenção em obras civis está voltada para o aumento da vida útil da edificação. A vida útil pode ser definida, de acordo com Lima (2017), como o período de tempo em que um sistema presta a atividade para a qual foi projetado ou construído. A vida útil sofre influência das manutenções periódicas, das condições do ambiente em que está inserido e pelo uso.

Com isso, a vida útil dos sistemas de edificações vai diminuindo e as manutenções surgem justamente com a finalidade de prolongar essa vida útil, como representado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Vida útil da edificação com e sem manutenção.



Fonte: Lima, 2017.

2.4.2 Manutenção predial

De acordo com Martins (2012), a manutenção conserva a capacidade funcional dos edifícios por meio de intervenções corretivas, sendo essas preferencialmente planejadas, integrando aspectos de desempenho, vida útil dos elementos e sistemas construtivos. Pontuando também que essas atividades de manutenção devem ser acompanhadas por análises de custos.

A manutenção predial se apresenta conforme o tipo de manutenção, estratégia, origem dos problemas e periodicidade da realização das atividades. Nesse contexto, Gomide, Pujadas e Fernandes Neto (2006) sugerem as seguintes tipologias de classificação de manutenção, não excluindo outras:

- Quanto à viabilidade dos serviços de manutenção: técnica, uso e operacional e administrativa ou de custos e responsabilidades;
- Quanto às falhas e anomalias existentes;
- Quanto à estratégia da manutenção adotada, ou seja, quais são as atividades que constituem o plano de manutenção;
- Quanto ao tipo de intervenção feita pela manutenção: conservação, reparação, restauração e modernização; e
- Quanto à periodicidade de realização das atividades ou rotinas estabelecidas no plano de manutenção.

2.4.3 Utilização do FMEA na construção civil

FMEA é a sigla de Failure Mode and Effects Analysis (Análise de Modo e Efeitos de Falha). Foi desenvolvida na década de 1950 pela Corporação Grumann para prevenir falhas na manufatura de aviões e constituiu um grande avanço na área. Quando a National Aeronautics and Space Administration (NASA) implementou o Projeto Apollo, esse método foi claramente requerido no contrato. Após isso, alguns acadêmicos sugeriram o uso na gestão de organizações (ALLBIEN *et al.*, 1998).

De acordo com Yan (2006), o FMEA é uma metodologia sistemática que permite identificar potenciais falhas de um sistema, projeto e/ou processo, com o objetivo de eliminar ou minimizar os riscos associados, antes que tais falhas aconteçam.

No ponto de vista de Allbien et al. (1998), essa ferramenta gerencial consiste em um procedimento para analisar os potenciais modos de falha de um sistema por meio da classificação pela severidade ou determinação do efeito das falhas no sistema. Yang e Bai (2009) complementam que a FMEA é um método de confiabilidade que pode identificar os modos de falha e seus efeitos. Ireson et al. (1995) destacam a sua eficácia na prevenção de problemas e a interface com muitos métodos de engenharia e confiabilidade.

Leal, Pinho e Almeida (2006) asseguram que o FMEA consiste basicamente de dois estágios. No primeiro estágio as falhas são identificadas, englobando atividades de inspeção

detalhadas que exigem uma experiência prévia do funcionário da obra designado a tal função. No segundo estágio, engenheiros que trabalharam com o FMEA determinam o nível crítico destas falhas e as ordenam, estabelecendo um ranking de criticidade, baseado em critérios previamente estabelecidos ou obtidos a partir de experiências com falhas de mesma natureza, registradas em relatórios de inspeções prediais.

De acordo com Souza *et al* (2017), o gerenciamento adequado de falhas em todos os estágios de uma obra civil favorece a execução de um projeto economicamente viável. Durante a utilização da edificação, tal gerenciamento é capaz de aumentar a sua vida útil, mantendo as condições das instalações conforme foram projetadas.

Palady (1997) destaca que existem dois tipos de FMEA:

- FMEA de Projeto: está relacionado com o projeto do produto. É o modo pelo qual um produto pode deixar de cumprir aos requisitos de projetos (exemplo: oxidação). Busca evitar que o produto seja liberado para a produção.
- FMEA de Processo: as causas de falha serão de erros decorrentes do processo de fabricação (exemplo: porosidade interna nas peças em um processo de fundição).

A seguir, o Quadro 2 ilustra a estrutura básica da análise dos modos de falhas e seus efeitos.

Quadro 2 - FMEA: Análise de efeitos e modos de falha.

FMEA- Análise de efeitos e modos de falha									
Cabeçalho									
Funções	Modos de falhas	Efeitos	Severidade	Causas	Ocorrências	Controles	Deteção	Ações recomendadas	Status

Fonte: Palady, 1997, p. 43.

Para Palady (1997), há vários formatos ou versões de formulários, porém eles tendem a seguir um padrão, com os tópicos abaixo apresentados e distribuídos de maneira sistêmica.

- Cabeçalho: mostra os envolvidos, especificações, atividades e datas.
- Funções: o que se deve fazer para satisfazer o cliente.
- Modos de falhas: mostra como as funções deixam de desempenhar o que lhes foi proposto.
- Os efeitos: mostra o impacto do modo de falha sobre o cliente.
- Severidade: mostra o grau da gravidade das consequências do modo de falha.

- As causas: mostra as razões que possibilitam a ocorrência do modo de falha. Ocorrência: mostra a probabilidade de a causa realmente ocorrer.
- Formas de controle: mostra as medidas tomadas para identificar e eliminar as falhas. Detecção: mostra as probabilidades de detecção da falha antes da mesma ocorrer.
- As ações recomendadas: mostra o que fazer para prevenir as falhas, reduzir o grau de severidade, e melhorar a detecção.
- Status: mostra o que está sendo feito para avaliar a viabilidade das ações recomendadas.

2.4.4 Efeito das falhas

Moubray (1997) define como efeito da falha o acontecimento gerado quando um modo de falha se apresenta, ao passo que Smith (1993) afirma que o efeito descreve a forma como o modo de falha afeta o sistema.

A identificação dos efeitos das falhas tem como objetivo guiar a análise das consequências das falhas para processo no qual o sistema analisado está inserido.

Assim, assegura a relação do modo de falha analisado com a falha funcional do sistema em questão e elimina os modos de falhas que não impactam ou prejudicam o sistema de forma significativa (SMITH; HINCHCLIFFE, 2004).

2.4.5 Classificação dos efeitos

A ferramenta FMEA analisa quantitativamente o risco através do uso de três índices: severidade (S); ocorrência (O); e detecção (D) (STAMATIS, 2003). A severidade (S) é a hierarquização que aponta a gravidade de uma falha potencial, medida de 1 a 10, que vai de consequências sem danos até danos trágicos ou irreparáveis. A detecção (D) quantifica a dificuldade de um possível cenário de falha ser identificado antes que a mesma ocorra, partindo da certeza de detecção, com índice 1, até a impossibilidade de detecção, com índice 10. Já a ocorrência (O) é a aproximação da frequência ou probabilidade do acontecimento do modo de falha (JORGE *et al.*, 2019).

Quadro 3 - Índice de severidade da falha.

Índice	Conceito
1	Falha de Menor Importância; Quase não são percebidos
2 - 3	Provoca redução de performance de instalação. O cliente perceberá a falha, mas não ficará insatisfeito com ela.
4 - 5 - 6	A instalação sofrerá uma degradação progressiva. O cliente perceberá a falha e ficará insatisfeito
7 - 8	Mais de 50 a 70% das vezes não se consegue manter o desempenho da edificação. O cliente perceberá a falha e ficará muito insatisfeito com ela.
9 - 10	Os problemas são catastróficos e podem gerar danos a bens ou pessoas. O cliente ficará muito insatisfeito.

Fonte: adaptado de Silva, 2015.

O índice de severidade é determinado conforme o Quadro 3 e reflete a severidade do efeito de falha sobre o cliente, assumindo-se que determinada falha ocorra. No caso de edificações, corresponde ao comprometimento do uso da edificação e suas instalações.

Quadro 4 - Índice de ocorrência da falha.

Índice	Probabilidade de ocorrência
1	Muito Remota
2	Muito pequena
3	Poucas vezes
4 - 5 - 6	Moderada; ocasional
7 - 8	Frequente
9 - 10	Inevitável, certamente ocorrerá a falha

Fonte: adaptado de Silva, 2015.

O Índice de Ocorrência das falhas representa uma estimativa das probabilidades combinadas de ocorrência de uma causa de falha. Tal índice, pode ser determinado conforme mostra a Quadro 4, com variações de 1 a 10; quanto maior for o número representativo, maior a probabilidade de ocorrência da falha.

Quadro 5 - Índice de detecção de falha.

Índice	Conceito
1	Muito alta probabilidade de detecção
2 – 3	Alta probabilidade de detecção
4 – 5 - 6	Moderada a probabilidade de detecção
7 – 8	Pequena probabilidade de detecção
9	Muito pequena probabilidade de detecção
10	Muito remota probabilidade de detecção

Fonte: adaptado de Silva, 2015

O Quadro 5 mostra o Índice de Detecção, que avalia a probabilidade de a falha ser detectada antes que ocorra. No caso de uma obra civil, se manifesta através da capacidade do inspetor ou avaliador identificar uma determinada patologia na obra antes da sua ocorrência.

2.5 ANÁLISE DE CRITICIDADE

Neste sentido, o Número de Prioridade de Risco (NPR), que de acordo com Oliveira, Paiva e Almeida (2007) indica o grau de risco e prioriza as contramedidas a serem adotadas contra as falhas, sendo calculado a partir da multiplicação entre as variáveis de acordo com a Equação (1).

$$RPN = O \times S \times D \quad (1)$$

Onde,

O - Probabilidade de Ocorrência

S - Severidade

D - Detecção

Avaliação do potencial de risco de cada modo de falha e definição de medidas de eliminação ou redução do risco de falha: nessa etapa avalia-se o potencial de risco de cada modo de falha, o método utilizado para medição descrito pelo autor, baseia-se na multiplicação dos índices de severidade, ocorrência e detecção já descrito nesse trabalho. Objetiva-se com isso, priorizar os índices que possuem os valores mais elevados, ou em alguns casos por indicação de algumas normas, priorizar todos os que atinjam um número de índice pré-estabelecido. E então, busca-se as medidas necessárias para redução ou eliminação desses riscos (FERNANDES, 2005).

3 METODOLOGIA

Nesta seção será apresentada a caracterização da pesquisa, levando em conta a classificação quanto à abordagem, objetivos, natureza e procedimentos de levantamento de dados. Ainda serão descritos as etapas do estudo, desde o levantamento bibliográfico, passando pela inspeção predial e identificação do modo de falhas, até a construção do quadro FMEA, visando sistematizar o plano de melhoria para o caso específico estudado.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Luna (1997) define que pesquisa é a produção de um novo conhecimento significativo dentro do contexto teórico e social, preenchendo uma lacuna importante em uma determinada área de conhecimento. Gil (2002) destaca que a pesquisa é uma atividade racional e sistemática, exigindo que as ações por ela produzidas sejam planejadas em todas as suas etapas.

Um método de pesquisa constitui-se de um conjunto de etapas ordenadas, que aliadas ao conhecimento, propiciam a investigação de um fenômeno científico. As etapas abrangem desde a escolha do tema, o planejamento da investigação, o desenvolvimento metodológico, a coleta e a tabulação de dados, a análise dos resultados, a elaboração das conclusões e finalizando a divulgação de resultados (SILVA; MENEZES, 2005). Nesse contexto, a metodologia da pesquisa pode ser definida quanto a sua abordagem, natureza, objetivos e procedimentos, como ilustra o Fluxograma 1.

Por seu turno, a pesquisa quantitativa é eminentemente objetiva, tratando os dados de forma matemática e produzindo resultados a partir da amostra que são extrapolados para a população, como sendo (os resultados) suficientemente representativos do todo (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). Richardson (1999) ainda destaca que esse tipo de abordagem caracteriza-se por empregar a quantificação como procedimento essencial. A associação entre a pesquisa quantitativa e qualitativa enriquece o universo de possibilidades de se abordar um objeto de estudo (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). Portanto, a pesquisa apresenta caráter quali-quantitativo, pois além de produzir informações aprofundadas e ilustrativas que se apresentam no quadro FMEA, o cálculo do (RPN) insere na pesquisa um tratamento matemático.

Quanto à natureza, trata-se de pesquisa aplicada, cujo principal interesse é realizar uma aplicação prática, numa realidade local, do conhecimento gerado (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). A pesquisa aplicada concentra-se em torno dos problemas presentes nas atividades das instituições, organizações, grupos ou atores sociais. Está empenhada na elaboração de diagnósticos, identificação de problemas e busca de soluções. Respondem a uma demanda formulada por “clientes, atores sociais ou instituições”. (THIOLLENT, p. 36, 2009). Assim, com a elaboração do quadro FMEA, identificando as falhas potenciais decorrentes das operações em uma obra de construção civil e posterior criação de um plano de melhoria para resolução das falhas encontradas, este estudo é de natureza aplicada.

Com relação aos objetivos, a pesquisa pode ser classificada como descritiva, explicativa e/ou exploratória. No caso ora analisado, trata-se de uma pesquisa exploratória. Nesse tipo, objetiva-se tornar um problema mais explícito através de uma investigação focada em um tema delimitado. Usa-se levantamento bibliográfico, entrevistas com conhecedores do assunto e exemplos reais que se assemelham ao caso estudado para ajudar na compreensão do objeto de estudo (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). Para Gil (2007), a pesquisa exploratória tem a finalidade de ampliar o conhecimento a respeito de um determinado fenômeno.

Por fim, quanto ao procedimento, a pesquisa pode ser caracterizada como estudo de campo, survey, levantamento bibliográfico, ex-post-facto, pesquisa-ação, pesquisa bibliográfica, estudo de caso, pesquisa documental, pesquisa participante e pesquisa experimental (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). O estudo de caso, segundo Borges, Hoppen e Luce (p. 886, 2009), consiste em “examinar, categorizar, tabular e recombinar os elementos de prova, mantendo o modelo conceitual e as proposições iniciais do estudo como referências”. A finalidade é encontrar no caso estudado traços/características essenciais que o expliquem (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). Esta pesquisa trata-se de um estudo de caso, por ter sido desenvolvida com base nas características e informações que o ambiente específico fornecia.

3.2 ETAPAS DO TRABALHO

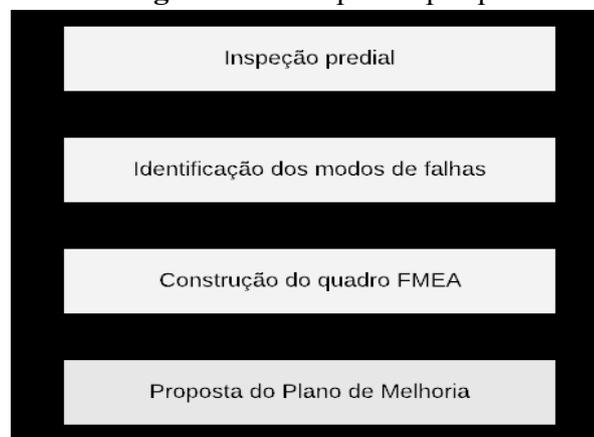
Neste contexto, o sequenciamento das etapas da pesquisa apresenta-se da seguinte forma: iniciou-se com a etapa de revisão bibliográfica, visando melhor exploração acerca da literatura produzida acerca da temática inicialmente escolhida, visando uma apropriação dos conhecimentos pertinentes ao estudo. Feito isto, estabeleceu-se o objetivo principal do estudo: desenvolvimento de um plano de gestão da manutenção com base na ferramenta Análise de Modo e Falha e Efeitos (FMEA), relacionadas à identificação das falhas na obra analisada.

Como forma de alcançar o objetivo estabelecido anteriormente, foi realizada uma inspeção predial no canteiro de obras para reconhecimento do ambiente e levantamento dos dados relevantes a respeito das falhas ocorridas. Após a coleta e tratamento dos dados, eles foram utilizados para a construção do quadro FMEA. Para caracterização do índice Número de Prioridade de Risco (NPR), foi feita uma análise juntamente com o mestre de obras e o engenheiro civil responsáveis pelo canteiro, profissionais que apresentam maior propriedade de conhecimento para avaliação do quadro.

Em seguida, após a conclusão do diagnóstico das falhas potenciais presentes no canteiro foram abordados os resultados obtidos com a utilização do FMEA e com isso proposto um plano de melhoria para minimizar as falhas. Seguindo o sequenciamento das etapas, por fim foi abordada as considerações finais com a discussão dos resultados e análise da efetividade do método implantado.

O Fluxograma 2, a seguir, apresenta um fluxograma das etapas da pesquisa

Fluxograma 2 - Etapas da pesquisa.



Fonte: autoria própria, 2019.

4 ESTUDO DO CASO

4.1 AMBIENTE ESTUDADO

O ambiente estudado é referente a um canteiro de obras de uma empresa de empreendimentos imobiliários e de construção civil. O canteiro alvo possui 2 andares e utiliza-se de estruturas pré-moldadas. A obra está localizado na cidade de São José do Egito- PE e trata-se da construção de uma instalação bancária. No momento da inspeção no local, a obra contava com 14 colaboradores, 1 mestre de obra e 1 engenheiro civil que comanda as operações realizadas na construção.

Fotografia 1 - Fachada do empreendimento estudado.



Fonte: autoria própria, 2019.

	Estrutural	Estrutura Pré Moldado	Deterioração das vigas	Baixo desempenho estrutural	9	Insuficiência ou mau posicionamento dos espaçadores na armação de ferro	6	8	432	Padronizar atividade	Mestre de obra
Adensamento incorreto do concreto						5	7	315	Padronizar atividade		
Material de baixa qualidade						3	5	135	Avaliação de Fornecedor e Inspeção de Qualidade	Engenheiro Civil	
	Instalações Hidráulicas	Impermeabilização	Infiltrações	Danifica gesso e pintura; morfo das placas de drywall; insatisfação na estética da edificação	8	Perfuração na manta durante atividade de impermeabilização	3	5	120	Retirada de objetos perfurantes do local	Encanador
						Execução da atividade de cobertura incorreta	5	5	200	Qualificar a mão de obra	Empresa
	Instalações Hidráulicas	Tubulações	Erro de conexões	Entupimento na tubulação; retrabalho; impedia o fechamento da placa de drywall	7	Falta do material adequado	4	2	56	Gerenciamento de material de acordo com a necessidade do projeto	Gerente de Projeto
						Execução da atividade incorreta	5	5	175	Padronizar atividade	Líder da equipe de hidráulica
	Instalações Hidráulicas	Hidrossanitárias	Quantidade inadequada das hidrossanitárias	Cliente insatisfeito; desperdício de material comprado	3	Falta de detalhamento no projeto hidráulico	5	2	30	Encaminhar os projetos com medidas e legendas atualizadas	Engenheiro Eletricista
	Instalações Hidráulicas	Tubulações do Teto	Vazamentos em tubos de PVC roscável	Umidade excessiva; deterioração das peças estruturais; bolor e eflorescências	5	Aplicação do vedante incorreta	5	3	75	Inspeção da atividade	Encanador
						Abertura insuficiente de fios de rosca no tubo	3	6	90	Padronização da atividade	Encanador
						Encaixe incorreto das roscas	3	4	60	Qualificar mão de obra	Empresa
	Instalações Elétricas	Infraestrutura do Teto	Queda da estrutura metálica	Danifica o forro do teto; transtorno; retrabalho	5	Quantidade de suspensão do perfilado insuficiente	4	6	120	Verificar projeto e inspeção visual	Líder da equipe de instalações elétricas
	Instalações Elétricas	Cabeamento	Caixa de Piso Inadequada	Dificuldade na passagem dos cabos ; retrabalho; desempenho elétrico afetado	5	Caixa com altura e largura incompatível com as especificações	5	2	50	Revisão de projeto e inspeção da atividade	Líder da equipe de instalações elétricas
	Projeto	Execução	Posicionamento de Vigas inadequada	Retrabalho; Desempenho estrutural da viga insatisfatório para o que foi especificado	9	Projeto civil incompatível com o projeto da escada e elevador	8	2	144	Estabelecer um método de integração entre os projetos	Empresa

Fonte: autoria própria, 2019.

Após a construção do FMEA, foi possível elencar as falhas que possuíam os maiores índices de risco, e com o intuito de minimizar a ocorrência dessas falhas potenciais foi elaborado um plano de manutenção centralizando os modos de falha de maior impacto sobre a empresa. A seguir o Quadro 7 mostra quais falhas foram escolhidas.

Quadro 7 - Maiores Índices de NPR.

ETAPA	MODO DE FALHA	NPR
Estrutural	Deterioração das vigas	432
Hidráulica	Infiltrações	200
Projeto	Posicionamento de vigas inadequado	144
Estrutural	Compartimentos de placas de drywall inadequadas	140
Estrutural	Quebra da pedra cerâmica	120

Fonte: Autoria própria, 2019.

Como pode ser observado no Quadro, houve a priorização de 5 modos de falhas que obtiveram os maiores NPR's, causados por uma ou mais causas. Evidenciou-se também que a maior incidência das falhas encontra-se na área estrutural e hidráulica, caracterizando-as assim como as etapas mais críticas do processo no ambiente estudado. A partir do formulário FMEA o plano de melhoria foi proposto.

5 RESULTADOS

Nesta seção, será apresentada a proposta de plano de melhoria para o ambiente estudado, levando em conta os aspectos priorizados pelo cálculo do NPR. O NPR foi obtido a partir da aplicação do formulário FMEA, conforme exposto no Quadro 6. O Quadro 7, por sua vez, elenca os modos de falha com maior NPR, os quais foram 3 da etapa estrutural, 1 de instalações hidráulicas e 1 de projeto. A etapa elétrica, com duas seções, foi a única que não figurou entre os 5 maiores NPR, ficando, assim, de fora do quadro de melhorias proposto.

5.1 PROPOSTA DE PLANO DE MELHORIA

As propostas de melhorias foram destinadas às falhas apresentadas no Quadro 6 e estão resumidas no Quadro 8 e explicadas após a ilustração.

Quadro 8 - Modos de falha, causas e ações recomendadas.

Modo De Falha	Causa	Ação recomendada
Deterioração das vigas	Insuficiência ou mau posicionamento dos espaçadores na armação de ferro	Padronização da atividade (Apêndice A)
Infiltrações	Execução incorreta da atividade de cobertura	Qualificação da mão de obra usando a ferramenta Radar Chart (Apêndice B)
Posicionamento de vigas inadequado	Projeto civil incompatível com o projeto da escada e elevador	Compatibilização dos projetos utilizando o software BIM (Building Information Modeling)
Compartimento de placas de drywall inadequado	Atividade realizada sem consulta às recomendações do projeto	Padronização da atividade (Apêndice C)
Quebra de pedra cerâmica	Quantidade de argamassa incorreta	Padronização da atividade (Apêndice D)

Fonte: autoria própria, 2019.

- 1) Deterioração das vigas: o modo de falha de deterioração das vigas submete a edificação ao aparecimento de rachaduras e baixo desempenho estrutural, comprometendo a segurança e estética do espaço. Com isso, a recomendação é a padronização da atividade, estabelecendo todas as especificações antecipadamente para os operários da obra, a fim de que essa falha seja minimizada – desde que o procedimento seja feito corretamente. O procedimento padrão (Apêndice A) foi elaborado com base na norma

NBR 6118:2014, versão corrigida 2014 – *Projeto de estruturas de concreto – Procedimento* e apresenta as recomendações que dizem respeito à mão de obra e de conhecimento técnico, como padronização de espaçamentos na armação, padronização do adensamento do concreto, que são etapas importantes na concretagem das vigas (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014).

- 2) Infiltrações: modo de falha recorrente e de grande impacto na satisfação do cliente, tanto pelo efeito deletério à estrutura quanto pelo aspecto estético, causando transtorno e incômodo. A causa encontrada foi delineada pela execução da atividade, sendo assim recomendada a qualificação da mão de obra com treinamentos e a utilização da ferramenta Radar Chart (Apêndice B) para nivelamento de conhecimento e capacitação do líderes de equipe do setor civil, elétrico e hidráulico. Essa ferramenta permite que a empresa direcione os treinamentos e capacite sua equipe de acordo com a sua necessidade de qualificação.
- 3) Posicionamento das vigas inadequado: apesar de planejamentos prévios de projetos, a falha se dá a partir da incompatibilidade do projeto civil com o projeto de escada e elevador. Caso a falha ocorresse no empreendimento, as consequências seriam significativas para empresa e usuários, com altos custos de retrabalho e danos físicos aos usuários. Como ação preventiva dessa falha, o plano de manutenção sugere uma integração entre os projetos, implantando um sistema de gestão da informação e a utilização do software BIM (Building Information Modeling), que permite a integração de projetos arquitetônicos, estruturais e complementares, otimizando, assim, o gerenciamento.
- 4) Compartimentos de placas de drywall: as placas de forro de drywall são classificadas em 3 tipos principais de acordo com a sua cor, o modo de falha apresentado no FMEA se caracteriza pela colocação de placa da cor branca (ST) nos compartimentos onde exigia a necessidade da placa de cor verde (RU) por ser resistente a umidade é a mais ideal para compartimentos com ambiente úmido como copa, cozinha, banheiros e vestiários. Para isso, o plano de manutenção propõe a padronização da atividade (Apêndice C), especificando a finalidade de cada placa. O procedimento foi baseado nas normas NBR 15758-1:2009 – Sistemas construtivos em chapas de gesso para drywall – Projeto e procedimentos executivos para montagem – Requisitos para sistemas usados como paredes e NBR 15758-3:2009 – Sistemas construtivos em chapas de gesso para drywall – Projeto e procedimentos executivos para montagem

Requisitos para sistemas usados como paredes – Requisitos para sistemas usados como revestimentos

- 5) Quebra da pedra cerâmica: a manifestação dessa falha tem como causa de maior índice a quantidade de argamassa utilizada na atividade, considerando assim a mão de obra como principal fator. Com isso, o plano de manutenção sugere a padronização da atividade (Apêndice D) como ação preventiva, pois detalha o passo a passo do processo e contém as informações necessárias para que a atividade seja exercida de forma correta. O procedimento padrão foi elaborado com base nas normas NBR 13753:1996, que aborda o procedimento do revestimento de piso cerâmico (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1996).

6 CONCLUSÃO

Após o término desse trabalho, evidenciou-se a importância do setor da construção civil para o crescimento econômico do país e o papel na sociedade com a geração de empregos, explicitando assim a relevância do tema estudado. Ainda foi possível inferir que o problema com as falhas em obras de construção civil ainda persiste no cenário que estamos inseridos. Vale ressaltar que ao longo dos últimos anos houve uma maior preocupação das partes envolvidas sobre as patologias que ocorrem nas obras, devido à grande movimentação econômica gerada pelo setor.

Sendo assim, evidencia-se uma tendência de que cada vez mais ações preventivas sejam utilizadas para prever e evitar as falhas potenciais, ao invés de ações meramente corretivas. Vale ressaltar que há diversos fatores em diferentes níveis da organização que contribuem para que a falha ocorra. Em obras que apresentam tais falhas, podem ser identificados erros técnicos, erro de projeto, erro de gestão, entre outros. Por isso, se faz necessária uma análise e gestão adequadas do processo como um todo.

Como evidenciado no estudo de caso, é de fundamental importância que todas as etapas da obra sejam avaliadas e ações preventivas sejam estabelecidas. Tendo como foco principal a obtenção da qualidade utilizando-se de um plano de manutenção adequado e assim evitar o comprometimento do uso do produto e condicionar o nível de satisfação do cliente.

No decorrer do estudo, o método empregado foi desenvolvido com base na ferramenta de gestão da manutenção FMEA (Análise do Modo de Falhas e Efeitos). Essa ferramenta permitiu identificar a variedade na tipologia das falhas, as quais podem surgir em diversas etapas construtivas e serem causadas por uma série de fatores. A ferramenta também permitiu a definição da criticidade das manifestações pela ótica das suas causas básicas e os efeitos de maior relevância. Tornando-a, desse modo, uma ferramenta ideal para uma análise sistêmica das falhas prediais.

A ação da empresa deve ser tal que procure o bloqueio tanto das manifestações quanto das suas causas, estudando a potencialidade da ocorrência da falha e prevenindo seu aparecimento.

Outro fator que deve ser considerado no estudo é a importância da determinação do índice de criticidade da falha, pois quando avaliado isoladamente traz informações importantes sobre os efeitos das falhas para o sistema e os usuários, como também da sua periculosidade, probabilidade de identificação e ocorrência. O índice atua como um norte para as ações recomendadas sejam elas corretivas ou preventivas, em seguida os maiores índices são

priorizados pela equipe e as intervenções acontecem de imediato enquanto a de riscos menores se mantem em avaliação para uma intervenção em momento mais oportuno.

Adiante, os resultados obtidos a partir do FMEA possibilitou a elaboração de uma proposta de plano de melhoria direcionado às falhas com maior índice de risco para a construtora, propondo uma melhor abordagem para intervenção e ferramentas da gestão de manutenção que podem dar suporte necessário para cessar tais falhas.

Portanto, resta evidente a importância de que a empresa planeje a manutenção desde a fase de concepção dos projetos, quando se define a vida útil de diversos componentes e sistemas. Raciocínio também válido para a de construção, quando se faz a escolha dos materiais e processos construtivos utilizados e, por fim, na fase de uso, quando devem ser realizadas as atividades de manutenção com periodicidade.

Para trabalhos futuros, sugere-se que seja feito um desdobramento de custos relacionados ao reparo das falhas de acordo com a sua causa, mapeando as falhas que acarretam maiores custos, assim como a incidência em cada etapa construtiva. É válido obter dados da maior e menor frequência de determinadas falhas dentro de um intervalo de tempo maior, com intuito de avaliar se tal falha está em progressão ou sendo extinta dentro da empresa.

REFERÊNCIAS

- ALLBIEN, E.; GROT, U.; SCHNEIDERREIT, U. The new method of the quality system. **Industrial Engineering and Management**, Los Angeles, vol. 5, s/n, 1998.
- ALMEIDA, G. M. **Gestão da qualidade aplicada ao processo de manutenção, reforma e Retrofit de edificações**: estudo de caso em uma empresa holding de educação básica. 2017. 106 f. Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.
- ALMEIDA, M. T. **Manutenção Preditiva**: Confiabilidade e Qualidade. Itajubá: 2000. 5 p. Disponível em: <http://www.mtaev.com.br/download/mnt1.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2019.
- AMBERKAR, S. *et al.* **A Comprehensive Hazard Analysis Technique for Safety-Critical Automotive Systems**. In: SAE 2001 World Congress, 2001, Michigan.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13753**: Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento. Rio de Janeiro, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674**: Manutenção de edificações: requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- BORGES, M. HOPPEN, N.; LUCE, F. B. Information technology impact on market orientation in e-business. **Journal of Business Research**, v. 62, 2009.
- CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Guia nacional para a elaboração do manual de uso, operação e manutenção das edificações**. Fortaleza: Gadioli Cipolla Branding e Comunicação, 2014.
- CARVALHO, J.; A. N.; ANDERY, P. R. P. **Aplicação de ferramentas de análise de falhas à melhoria de processos de execução em obras prediais**. Rio de Janeiro: Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP, 1999.
- CUPERTINO, D.; BRANDSTETTER, M. C. G. O. Proposição de ferramenta de gestão pós-obra a partir dos registros de solicitação de assistência técnica. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 4, 2015.
- FERNANDES, J. M. R. **Proposição de abordagem integrada de métodos da qualidade baseada no FMEA**. 118p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2005.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (Org.). **Métodos de pesquisa**. 1. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2009.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- GOMIDE, T. L. F.; PUJADAS, F. Z. A.; FAGUNDES NETO, F. C. P. F. **Técnicas de inspeção e manutenção predial**. São Paulo: PINI, 2006.
- GUTIÉRREZ, A. M. **Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios**: enfoque sistémico kantiano. Colômbia: AMG, 2005.

- HELMAN, H.; ANDREY, P. R. P. **Análise de falhas** - Aplicação dos métodos de FMEA e FTA. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni/Escola de Engenharia da UFMG, 1995.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA – SÃO PAULO. **Inspeção predial**: “a saúde dos edifícios”. 2. ed. São Paulo: IBAPE, 2015.
- JORGE, G. P. N.; SOUSA, M. J. A.; CAVAIGNAC, A. L. O. Priorização de risco em obra de médio porte por meio da utilização do FMEA: uma ferramenta de melhoria para segurança do trabalho em altura. **Brazilian Journal of Production Engineering**, São Mateus, vol. 5, n. 3, 2019.
- KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção**: função estratégica. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção**: função estratégica. 4. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012.
- LEAL, F.; PINHO, A. F.; ALMEIDA, D. A. Análise de falha através da aplicação do FMEA e da Teoria de Grey. **Revista Gestão Industrial**, Curitiba, vol. 2, n. 1, 2006.
- LESSA, A. K. M. C; SOUZA, H. L. **Gestão da manutenção predial**: uma aplicação pática. Rio de Janeiro, Qualitymark, 2010.
- LIMA, M. V. T. **Análise de ordens de serviço em manutenção de um edifício residencial multifamiliar**. 2017. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- LUNA, S. V. **Planejamento de Pesquisa**: uma introdução. 1ª. ed. São Paulo: EDUC, 1997.
- MAIA, B. L.; SCHEER, S. Análise do fluxo de informações no processo de manutenção predial apoiada em BIM: estudo de caso em coberturas. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, Florianópolis, vol. 8, n. 16, 2016.
- MARTINS, A. S. M. (Ed.). **Inspeção Predial**: check-up predial: guia da boa manutenção. 3. ed. São Paulo: LEUD, 2012.
- MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance**. 2. ed. Nova Iorque: Industrial Press Inc., 1997.
- OTANI, M.; MACHADO, W. V. A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. **Revista Gestão Industrial**, Curitiba, vol.4, n.2, 2008.
- ORTIZ, J. F. B. **A importância de Inspeção Predial Periódica**. 2015. Online. Disponível em: <https://www.crea-mt.org.br/portal/a-importancia-de-inspecao-predial-periodica-5/>. Acesso em: 02 dez. 2019.
- PALADY, P. **FMEA análise dos modos de falhas e efeitos**. Prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram. 4.ed. São Paulo: IMAN, 2007.
- RAPOSO, J. L. O. **Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada a Sistemas Elétricos**: uma proposta para uso de análise de risco no diagrama de decisão. 2004. 149 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.
- REVISTA CONSTRUÇÃO MERCADO. **Conheça as oportunidades de manutenção predial**. São Paulo, n. 107, mai. 2010.

- RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999.
- ROMAN H.; BONIN L. C. (Ed.). **Normalização e certificação na construção habitacional**. Porto Alegre: ANTAC, 2003.
- SANT'ANNA, A. P.; PINTO JUNIOR, R. P. S. Composição Probabilística no Cálculo das Prioridades na FMEA. **Revista Sistemas & Gestão**. v. 5, n. 3, 2010.
- SANTOS, C. O.; PIRES, G.; HERZOG, L. P. **Aplicação da FMEA no Processo de Produção da Usina presidente Médici**: melhoria no Sistema de Vedação do Britador da Fase B. XXVI Congresso Regional de Iniciação Científica & Tecnologia em Engenharia (CRICTE), Alegrete, Rio Grande do Sul, Brasil. 2014.
- SANTOS FILHO, J. C. Pesquisa quantitativa versus pesquisa qualitativa: o desafio paradigmático. In: SANTOS FILHO, J. C.; GAMBOA, S. S. (Org.). **Pesquisa educacional: quantidade e qualidade**. São Paulo: Cortez, 1995.
- SHENOY, D.; BHADURY, B. **Maintenance resources management: adapting MRP**. 1. ed. Londres: Taylor & Francis Ltd, 2005.
- SILVA, E. L. & MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração da Dissertação**. 4ª. ed. Florianópolis: UFSC, 2005.
- SILVA, A. B. **Ferramentas de gestão da qualidade FMEA e FTA na detecção e controle de patologias prediais**. 2015. 134 f. Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
- SIQUEIRA, Y. P. D. S. **Manutenção centrada na confiabilidade**: manual de implantação. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- SMITH, A. M.; HINCHCLIFFE, G. R. **Reliability-Centered Maintenance: gateway to world class maintenance**. Vol. 1. 2. ed. Burlington: Elsevier Butterworth–Heinemann, 2004.
- SOUZA, D. P. B. et al. A influência da gestão de projetos no gerenciamento e controle da qualidade de obras do programa social “minha casa minha vida”. **Brazilian Journal of Production Engineering**, vol. 3, n. 2, São Mateus, 2017.
- SOUZA, J. B. **Alinhamento das estratégias do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) com as finalidades e função do Planejamento e Controle da Produção (PCP)**: Uma abordagem Analítica. 2008. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2008.
- SOUZA, V. C. M; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 2009.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000.
- THIOLLENT, M. **Metodologia de Pesquisa-ação**. São Paulo: Saraiva, 2009.
- VIANA, H. R. G. **Planejamento e controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.
- WYREBSK, J. **Manutenção Produtiva Total - um modelo adaptado**. 1997. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

XENOS, H. G. **Gerenciando a manutenção produtiva**. Nova Lima: Falconi, 2014.

YANG, C. et al. A study on applying FMEA to improving ERP introduction an example of semiconductor related industries in Taiwan. **International Journal of Quality & Reliability Management**, s/l, vol. 23, n. 3, 2006.

YAMAGUCHI, C. T. **TPM – Manutenção produtiva total**. São João Del Rei: ICAP Del-Rei, 2005.

APÊNDICE A – Deterioração das vigas.

SMP- Procedimento de Manutenção Padrão			
Atividade realizada: Concretagem		Gestão visual da atividade	
Professional: Armador			
Nº	Descrição da atividade		
1	Lavar as formas antes da concretagem		
2	Verificar se os espaçamentos na armadura estão de acordo com o projeto		
3	Lançar o concreto o mais próximo da sua posição final para evitar o acúmulo em um único ponto		
4	Verificar, no momento do lançamento, se ocorre deslocamento da ferragem		
5	Concretar em camadas com espessura de 3/4 da agulha do vibrador entre 5 a 30 seg.		
6	Não vibrar a armadura para garantir a aderência entre o aço e o concreto		
7	Evitar vibrar as formas para garantir integridade e reaproveitamento		
8	Executar o acabamento final de acordo com o especificado no projeto		
9	Realizar a cura úmida, molhando por um período mínimo de 3 dias		
Pontos de Atenção		Material	Instrumentos
Garantir a utilização dos espaçadores na armação		Concreto	Vibrador de imersão
EPIs utilizados		Moldes para corpos	Régua metálica
Luva de borracha		Espaçadores de alumínio, plástico etc.	Régua vibratória
Bota de borracha			
Capacete			

APÊNDICE B – Radar Chart.

Ferramentas e Conhecimentos Requeridos	Nível Requerido	Nível Atual	Auto avaliação quanto aos conhecimentos e ferramentas , utilize a escala para a pontuação
			Não conheço 1 Conheço pouco 2 Conheço, mas não aplico 3 Conheço e aplico 4 Sou capaz de ensinar 5
Atividades de segurança	5		Nome:
Plano emergencial e equipe de proteção contra acidente	5		<p>Atividades de Segurança</p> <p>Aplicação de ferramentas de plano de ação</p> <p>Plano emergencial e equipe de proteção contra acidentes</p> <p>Conhecer normas que regulamentam a profissão</p> <p>Elaborar orçamentos</p> <p>Saber usar ferramentas de gestão</p> <p>Leitura de projeto</p> <p>Sistema motivador para registrar acidentes</p> <p>Conhecimento de ferramentas da manutenção</p> <p>Elaborar orçamentos</p> <p>Leitura de projeto</p> <p>Saber usar ferramentas de gestão</p> <p> ■ Nível Requerido ■ Nível Atual </p>
Conhecer as normas que regulamentam a profissão	5		
Elaborar orçamentos	5		
Saber usar ferramentas de gestão	5		
Leitura de projeto	5		
Conhecimento de ferramentas da manutenção	5		
Sistema motivador para registrar acidentes	5		
Aplicação de ferramentas de plano de ação	5		

APÊNDICE C – Compartimento das placas da drywall.

SMP- Procedimento de Manutenção Padrão		
Atividade realizada: Fechamento dos compartimentos com as placas drywall		Gestão visual da atividade
Profissional: Montador		
Nº	Descrição da atividade	
1	Marcação das paredes: devem ser marcadas preferencialmente com um nível a laser ou trena.	
2	Instalação das Guias de piso, parede e teto: as guias devem ser marcadas no piso e no teto com espaçamento de 60cm entre os parafusos.	
3	Instalação dos Montantes: a distância é de 40cm a 60cm entre os eixos.	
4	Confecção das aberturas (janelas, portas)	
5	Instalação das Chapas de Drywall em um dos lados da parede: consultar paginação no projeto; no canto da placa está a 5 cm do bordo	
6	Passagem de instalações hidráulicas, elétricas e outras: colocar caixas elétricas 4x2 e 4x4	
7	Colocação do isolamento acústico	
8	Instalação das Chapas de Drywall no outro lado	
9	Rejunte de chapas e cantos	
Pontos de Atenção		Material
Ambiente úmido: Placa verde (RU); Forro de paredes e teto: Placa branca (ST); Rota de Fuga: Placa rosa (RF)		Parafusos de 25mm, 35mm e 45mm
EPIs utilizados		Instrumentos
Luvas		Desempenadeira
Botas		Espátula metálica
Capacete		Furadeira
		Caixas elétricas
		Guias
		Pistola finca-pino

APÊNDICE D – Quebra da pedra cerâmica.

SMP- Procedimento de Manutenção Padrão			
Atividade realizada: Assentamento do piso cerâmico		Gestão visual da atividade	
Profissional: Pedreiro			
Nº	Descrição da atividade		
1	Certifique-se que a superfície não está irregular		
2	De acordo com o ambiente, defina o tipo da argamassa		
3	Verificar no projeto a paginação do piso e o ponto de início da aplicação		
4	Mistura da argamassa		
5	Aplicação da argamassa no piso com o lado liso da desempenadeira, atingindo uma espessura de 4mm a 5mm		
6	No piso, forme sulcos paralelos com o lado dentado da desempenadeira		
7	Aplicação da argamassa na pedra cerâmica		
8	Forme sulcos paralelos na direção contrario dos sulcos do piso		
9	Aplique a peça sobre a argamassa ajustando levemente até a posição correta		
10	Bater com o martelo de borracha até assentar a peça completamente, amassando os sulcos criados.		
11	Colocar os espaçadores entre uma peça e outra		
12	Verificar se as peças estão alinhadas		
Pontos de Atenção		Material	
Procedimento Padrão para as peças cerâmicas a partir de 30cmx30cm		Instrumentos	
EPIs utilizados		Argamassa	
Luvas de Borracha			Desempenadeira
Botas de borracha			Espaçadores
		Martelo de Borracha	