

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI  
JOÃO RODRIGO CALANTONE MONTEIRO DE ASSIS

**ANÁLISE DE RISCOS EM PROJETOS COMPLEXOS ASSOCIADOS AO PRAZO**

São Paulo

2023

JOÃO RODRIGO CALANTONE MONTEIRO DE ASSIS

**ANÁLISE DE RISCOS EM PROJETOS COMPLEXOS ASSOCIADOS AO PRAZO**

Dissertação apresentada ao Centro Universitário FEI, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Administração. Orientado pela Profa. Claudia Aparecida de Mattos.

São Paulo

2023

Assis, João Rodrigo Calantone Monteiro de.  
Análise de riscos em projetos complexos associados ao prazo / João  
Rodrigo Calantone Monteiro de Assis. São Paulo, 2023.  
58 f. : il.

Dissertação - Centro Universitário FEI.  
Orientadora: Prof.ª Dra. Claudia Aparecida de Mattos.

1. Gerenciamento de Riscos. 2. Simulação de Monte Carlo. 3.  
Cronograma. 4. Projeto Complexo. I. Mattos, Claudia Aparecida de,  
orient. II. Título.

Elaborada pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da FEI com os  
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**Aluno:** João Rodrigo Calantone Monteiro de Assis

**Matrícula:** 312108-4

**Título do Trabalho:** Análise de Riscos em Projetos Complexos

**Área de Concentração:** Gestão da Inovação

**Orientador:** Prof<sup>a</sup>. Dra. Claudia Aparecida de Mattos

**Data da realização da defesa:** 28 / 02 / 2023

**Avaliação da Banca Examinadora:**

O aluno foi aprovado pela banca examinadora. Foi solicitado pela banca para a versão final ajustes no texto

( revisão Ortográfica) e uma revisão na análise dos resultados.

São Paulo, 28/02/2023.

**ORIGINAL ASSINADA**

**MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA**

**Prof<sup>a</sup>. Dra.** Claudia Aparecida de Mattos Ass.: \_\_\_\_\_

**Prof<sup>a</sup>. Dra.** Veridiana Rotondaro Ass.: \_\_\_\_\_

**Prof. Dr.** Edmilson Alves de Moraes Ass.: \_\_\_\_\_

A Banca Julgadora acima-assinada atribuiu ao aluno o seguinte resultado:

APROVADO

REPROVADO

Aprovação do Coordenador do Programa de Pós-graduação

Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Tereza Saraiva de Souza

Dedico este trabalho aos meus avós, que sempre fizeram questão de estarem presentes em todos os momentos importantes da minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, pela perseverança e pela força espiritual que me concedeu nesta caminhada, e por ter me mostrado sempre que era possível nas horas difíceis que tive durante a realização desta pesquisa; Aos meus pais e ao meu irmão, por toda dedicação e apoio e por terem sempre me guiado para o melhor caminho da vida; A minha esposa, que sempre esteve ao meu lado nas horas de estudos e dedicação a este trabalho; A Professora Claudia Mattos, por ter sido uma grande orientadora, pela contribuição concedida no aprimoramento deste trabalho, por ter aceitado o grande desafio de me orientar e por compartilhar com muita humildade seus conhecimentos; Aos membros examinadores da banca, pelo tempo dedicado às contribuições que permitiram o aprimoramento deste trabalho; À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro de fundamental importância para o alcance desta realização; Ao Centro Universitário FEI, por ser esta grande e renomada instituição; À empresa que trabalho Schneider Electric que me proporcionou ferramentas e aprendizado diretamente aplicados neste trabalho; Aos meus colegas de trabalho pelo incentivo e pelo companheirismo no decorrer desta caminhada.

“A persistência é o caminho do êxito”

Charles Chaplin

## RESUMO

A indústria da construção é uma das mais dinâmicas, arriscada e desafiadora. Com isso, o setor apresenta muitos problemas de gerenciamento alinhado a uma exigência cada vez maior em relação ao desempenho tanto nos aspectos de qualidade e custos, quanto nos aspectos associados aos riscos do empreendimento não terminar no prazo contratado. Neste cenário, as organizações precisam ser mais competitivas para sobreviverem às condições impostas pelas partes interessadas e, neste contexto, a análise dos riscos que impactam no prazo do projeto tem-se tornado um fator crítico de sucesso. No entanto, a maioria dos modelos de gestão de riscos avaliam os riscos como eventos independentes, desconsiderando as inter-relações existentes entre as atividades críticas e os riscos. A fim de vencer esta limitação o objetivo deste trabalho foi analisar os riscos com foco no cronograma em um projeto complexo do setor de mineração contemplando informações aleatórias de diferentes situações relacionadas às atividades e não somente a duração da atividade, assim com a interação entre as variáveis. E, por meio de simulação de Monte Carlo na análise dos riscos foi possível identificar e definir planos de mitigação com os resultados alcançados. O gerenciamento adequado dos riscos durante a implementação de um projeto complexo torna possível identificar, quantificar e abordar eventos de riscos potenciais antes que eles ocorram. Assim surge a análise do risco, a qual se torna uma aplicação de técnicas tanto qualitativas quanto quantitativas. Em relação à análise quantitativa, a simulação de Monte Carlo foi utilizada neste trabalho. E, por meio da simulação de Monte Carlo na análise de risco no cronograma, seja possível destacar atividades que impactam diretamente no prazo final deste projeto e possibilitando a equipe a execução de ações mitigatórias. A simulação foi realizada com a correlação entre as variáveis e sem a correlação entre as variáveis, considerando 1000 iterações no software cristal ball. Como resultado, em uma análise sem correlação entre as atividades foi identificado que existe a probabilidade de 41,81% das atividades do caminho crítico estarem entre a duração planejada e a média, e com correlação esta probabilidade é de 25,33%. Isto é, com a análise e seus resultados auxilia um gestor de projeto a desenvolver estratégias de mitigação, bem como a monitoramento dos riscos identificados, melhorando o processo de tomada de decisão e, conseqüentemente, aumentando a taxa de sucesso do projeto.

**Palavras-chave:** Gerenciamento de Riscos. Simulação de Monte Carlo. Cronograma. Projeto Complexo.

## ABSTRACT

The construction industry is one of the most dynamic, risky, and challenging. With this, the sector presents many management problems aligned with an increasing demand in relation to performance both in the aspects of quality and costs, as well as aspects associated with the risks of the project not finishing within the contracted deadline. In this scenario, organizations need to be more competitive to survive the conditions imposed by stakeholders and, in this context, the analysis of risks that impact the project deadline has become a critical success factor. However, most risk management models evaluate risks as independent events, disregarding the existing interrelationships between critical activities and risks. In order to overcome this limitation, the objective of this work was to analyze the risks focused on the schedule in a complex mining project contemplating random information from different situations related to the activities and not only the duration of the activity, as well as the interaction among the variables. And, by means of Monte Carlo simulation in the risk analysis it was possible to identify and define mitigation plans with the results achieved. Proper risk management during the implementation of a complex project makes it possible to identify, quantify, and address potential risk events before they occur. Thus comes risk analysis, which becomes an application of both qualitative and quantitative techniques. Regarding quantitative analysis, Monte Carlo simulation was used in this work. And, by means of Monte Carlo simulation in the schedule risk analysis, it is possible to highlight activities that directly impact the project's deadline and enabling the team to perform mitigating actions. The simulation was performed with and without correlation between the variables, considering 1000 iterations in the crystal ball software. As a result, in an analysis without correlation between the activities it was identified that there is a probability of 41.81% of the critical path activities being between the planned and average duration, and with correlation this probability is 25.33%. That is, with the analysis and its results it helps a project manager to develop mitigation strategies, as well as to monitor the identified risks, improving the decision making process and, consequently, increasing the project's success rate.

**Keywords:** Risk Management. Monte Carlo simulation. Schedule. Complex Project.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Incerteza x Complexidade.....	17
Figura 2 – Processo Gestão de Riscos.....	19
Figura 3 – Matriz de Risco.....	26
Figura 4 - Etapas para elaboração do trabalho.....	30
Figura 5 – Tipos de Distribuições de probabilidade.....	37
Figura 6 – Simulação de Monte Carlo.....	41
Figura 7 – Distribuição de Probabilidade (s/ correlação) - Comparativo Planejado vs média.....	42
Figura 8 - Análise de Sensibilidade.....	43
Figura 9 – Distribuição de Probabilidade (c/ correlação) – Comparativo Planejado vs média.....	44

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Aplicabilidade das ferramentas utilizadas para o processo de avaliação de riscos.....	27
Quadro 2 – Experiência dos Profissionais .....	31
Quadro 3 – Lista de Atividades Críticas.....	33
Quadro 4 – Riscos Identificados.....	33
Quadro 5 – Escala de Probabilidade de Ocorrência dos Risco.....	33
Quadro 6 – Riscos e Probabilidades.....	34
Quadro 7 - Quadro de Avaliação dos Riscos nas atividades críticas.....	38
Quadro 8 – Correlação entre atividades críticas.....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Riscos e Probabilidades .....	34
Tabela 2 – Riscos, Probabilidades e Impactos .....	35
Tabela 3 – Matriz de Probabilidade vs Impacto .....	36
Tabela 4 – Resumo da Análise .....	44
Tabela 5 – Resumo Teste Hipótese .....	45

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>122</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>155</b>
2.1 PROJETOS COMPLEXOS.....	155
2.2 GESTÃO DE RISCO .....	177
<b>2.2.1 Identificação dos Riscos .....</b>	<b>199</b>
<b>2.2.2 Respostas aos Riscos.....</b>	<b>211</b>
<i>2.2.2.1 Evitar o Risco.....</i>	<i>21</i>
<i>2.2.2.2 Transferir o Risco.....</i>	<i>22</i>
<i>2.2.2.3 Mitigar o Risco.....</i>	<i>22</i>
<i>2.2.2.4 Aceitar o Risco.....</i>	<i>22</i>
2.3 ANÁLISE DE RISCO EM PROJETOS COMPLEXOS.....	222
<b>2.3.1 Análise Quantitativa de Riscos.....</b>	<b>255</b>
<b>2.3.2 Análise Qualitativa de Riscos .....</b>	<b>266</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>277</b>
3.1 SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO .....	288
3.2 ETAPAS DO TRABALHO .....	299
<b>3.2.1 Escolha do Projeto.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.2 Coleta dos Dados.....</b>	<b>311</b>
<b>3.2.3 Tratamento dos Dados .....</b>	<b>399</b>
<b>3.2.4 Simulação de Monte Carlo .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.5 Análise dos Resultados .....</b>	<b>421</b>
<i>3.2.5.1 Simulação sem Correlação entre as atividades críticas.....</i>	<i>42</i>
<i>3.2.5.2 Simulação com Correlação entre as atividades críticas.....</i>	<i>43</i>
<i>3.2.5.3 Intervalo de Confiança.....</i>	<i>44</i>
<b>4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>477</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>50</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO

À medida que a construção entra em sua terceira década do século 21, os eventos e mudanças dos últimos 10 anos na indústria e no mundo que atende têm sido extremamente dramáticos, gerando desafios que ainda precisam ser enfrentados ou entendidos, mas também para fornecer inovação criticamente necessária na prática de design e construção, tecnologia e negócios (RUBIN; RUBENSTONE, 2020). Como a economia mundial continua a se desenvolver rapidamente, uma parte substancial dos recursos financeiros e de trabalho é gasta em projetos de construção todos os anos. De acordo com Callistus e Clinton (2018), alcançar a qualidade desejada e os objetivos do cronograma são dois indicadores importantes de um projeto bem-sucedido. No entanto, notáveis diferenças entre a previsão e a realidade podem surgir na qualidade e no cronograma ao longo do projeto (LARSEN et al., 2016). Por um lado, como os riscos de qualidade e as incertezas são inerentes e inevitáveis a um projeto, e, com o aumento da complexidade e dinamismo de um projeto de construção, a quantidade de eventos de risco de qualidade relacionados também aumenta, dando origem a atrasos e baixa qualidade do projeto (BAUDRIT et al., 2019). Por outro lado, o desenvolvimento de um cronograma de projeto pode ser restringido por vários fatores internos e externos. A falha em identificar a relação entre o cronograma do projeto e o risco de qualidade do projeto causa uma incompatibilidade que também resulta em atrasos e menor qualidade do projeto (TAMBE; KULKARNI, 2016).

Um projeto é complexo quando possui características dinâmicas, pouco estáveis e que podem sofrer influências tanto internas quanto externas. Além disso, engloba diversas etapas, assuntos e stakeholders. O projeto complexo deve possuir uma Gestão do Risco bem elaborada, para prever e controlar problemas ao decorrer de sua execução. Geralmente esses projetos dependem de um número maior de pessoas e por isso deve ser realizado um planejamento preciso e alinhado (CARVALHO, 2020, p. 1).

Projetos de construção complexos costumam ser afetados por atrasos, o que causa escassez de benefícios e aumento de custos. A literatura e a prática de gerenciamento de projetos anteriores adotaram principalmente uma abordagem tradicional com foco no controle, mas pesquisas recentes sugerem que projetos complexos precisam de práticas mais flexíveis para gerenciar mudanças inevitáveis no projeto (ERIKSSON; LARSSON; PESÄMAA, 2017).

De acordo com Tepeli, Taillandier e Breysse (2019), um projeto de construção complexo pode ter um ciclo de vida muito longo e em várias fases, um grande número de

stakeholders dentro de um plano organizacional complexo, uma gestão de recursos complexa, complexidades técnicas, complexidades contratuais e fatores macro ambientais. Por outro lado, projetos complexos significam uma importância estratégica para os stakeholders do projeto em termos de estratégia comercial, imagem de marca, oportunidades financeiras e econômicas.

O tempo é um indicador de desempenho especialmente crítico neste contexto porque, conforme observado por Flyvbjerg (2014, p. 11) “atrasos são um problema crítico para projetos complexos, pois causam derrapagens de custos e redução de benefícios”.

Com a melhoria contínua do nível de informação dentro da indústria da construção, os dados heterogêneos de várias fontes criados durante o desenvolvimento do projeto cresceram rapidamente (TAN, 2015). A maioria dos dados está em estado ocioso, faltando uma utilização profunda sob a perspectiva de risco de qualidade e controle de cronograma. Por exemplo, a maioria dos métodos de avaliação de risco depende da experiência dos especialistas. A precisão e estabilidade de tal julgamento especializado é altamente significativa para a validade dos resultados (LEE; KIM, 2017). Entretanto, o conteúdo de numerosos registros históricos de projetos, tais como desenhos de engenharia, documentos contratuais, relatórios de engenharia, dados meteorológicos e registros diários de construção e código, raramente é usado para otimizar o desempenho dos julgamentos dos especialistas.

Todos os projetos são arriscados porque, por definição, resultam da realização de uma atividade única com algum grau de complexidade e incerteza (DESHMUKH; MUKERJEE; PRASAD, 2020) e de acordo com Cerezo-Narváez et al. (2021) as organizações tendem a associar riscos com aspectos financeiros, principalmente em termos de custos e tomada de decisões de investimento. Como resultado, os fatores de risco não econômicos são frequentemente negligenciados, especialmente em projetos complexos.

Com base na lacuna mencionada, o objetivo deste trabalho é efetuar uma análise de risco em projetos complexos, com foco no cronograma, contemplando informações aleatórias de diferentes situações relacionadas às atividades e não somente a duração da atividade, assim com a interação entre as variáveis. Isto é, utilizar a análise quantitativa de riscos como um método de decisão em projetos complexos, considerando incertezas aleatórias e inerentes às atividades.

A partir do objetivo geral, foram desdobrados os objetivos específicos descritos a seguir:

- a) Caracterizar projetos complexos para desenvolvimento do estudo envolvendo a parte de riscos;

- b) Mapear as condições de risco associadas ao cronograma de projetos complexos e identificar a interação entre as variáveis;
- c) Realizar a análise por meio da Simulação de Monte Carlo das condições de riscos relacionados a cronograma.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seção de fundamentação teórica tem o propósito de contextualizar a análise de riscos juntamente com a gestão de projetos complexos. Iniciando pela definição (item 2.1) de projetos complexos, onde é explicado e caracterizado um projeto complexo e suas particularidades de gerenciamento. Em seguida (item 2.2) é definida a gestão de riscos com seus métodos de identificação, avaliação e respostas aos mesmos. E no item 2.3 é apresentado a teoria e métodos de análise de riscos em projetos complexos passando pela análise qualitativa e quantitativa de riscos em projetos.

### 2.1 PROJETOS COMPLEXOS

A Gestão de Projetos é um assunto cada vez mais importante em todas as indústrias e todos os tipos de organização. Não é mais apenas a competência de engenheiros e outros estudantes do método científico que representam sua base intelectual. Hoje, organizações de todos os tipos contam com a gestão de projetos para entregar os serviços e resultados que representam suas respectivas áreas de foco.

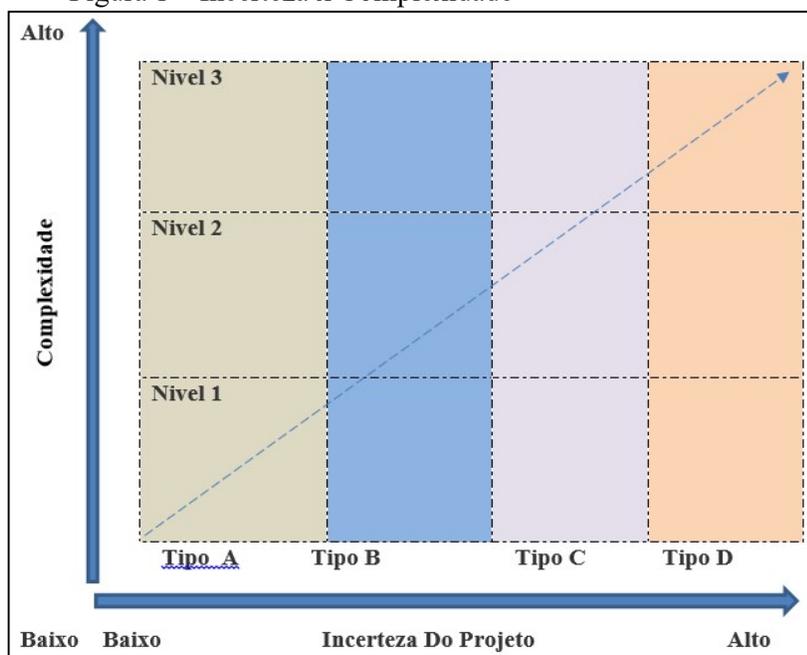
Os projetos têm vários tamanhos, variam em duração e acabam cobrindo todo o tipo de complexidade e, de acordo com Cristóbal et al. (2018) um projeto complexo é aquele que demonstra uma série de características em um grau de nível de gravidade que torna extremamente difícil prever resultados do projeto, controlar ou gerenciar o projeto. Isto é, um projeto complexo possui características dinâmicas, pouco estáveis e que podem sofrer influências tanto internas quando externas, além disso, engloba diversas etapas, assuntos e stakeholders. De acordo com o fórum Designing Buildings (2022), um projeto poder ser complexo pelos seguintes motivos:

- a) Tipo de projeto: uma universidade será intrinsecamente mais complexa do que uma casa;
- b) Tamanho do projeto: uma fábrica de carros, por exemplo, tende a ser mais complexa do que outros projetos, devido aos seus requisitos de planejamento, segurança e tecnologia. Além disso, projetos maiores, por sua própria natureza, exigirão mais pessoas para trabalhar neles e podem exigir mais gerenciamento de projetos, mais sequenciamento, coordenação, organização e assim por diante;
- c) Localização do projeto: projetos em lugares remotos podem ter que superar um intenso planejamento e restrições ambientais;

- d) Influência política: Projetos de alta sensibilidade, como usinas nucleares e estradas, podem ser contestados por terceiros, pois o projeto passa por uma série de consultas públicas. Isso pode acrescentar muitos anos à duração de um projeto;
- e) Método de financiamento: por exemplo, uma parceria pública privada (PPP) normalmente envolve um grande empenho colaborativo complexo entre os setores público e privado;
- f) Requisitos regulamentares: as regulamentações podem variar de um país para outro, e geralmente estão se tornando mais rígidas, impondo demandas de projetos mais complexas.

Whitty e Maylor (2009) mencionam que projetos são classificados como sistemas complexos porque neles estão envolvidos amplos fatores organizacionais, os quais se encontram fora do controle do gerente de projetos. Perminova, Gustafsson e Wikström (2008) apontam que grande parte dos projetos possuem restrições de tempo, custos, escopo e qualidade. Nesse sentido, os projetos são complexos e incertos, fato que gera a necessidade de maior flexibilidade e reflexão em como gerenciá-los. Segundo Maximiano (2008), o número de variáveis de um projeto pode indicar a sua complexidade, como: multidisciplinaridade, localização física, diversidade e volume de informações no processo, condições do ambiente envolvido, volume de pessoas e organizações envolvidas. De acordo com Wideman (1991), projetos complexos possuem características específicas de raridade, restrições, multidisciplinaridade, complexidade tecnológica, administrativa e de objetivos das partes interessadas. Dessa forma, o projeto necessita ser gerenciado de forma integrada, o que facilita seu monitoramento e o processo de tomada de decisão dos gestores. Segundo Hertogh e Westerveld (2010), um projeto complexo é aquele que combina seis dimensões de complexidade: tecnológica, social, financeira, legal, organizacional e temporal Shenhar e Wideman (2000), propõem uma matriz que demonstra o relacionamento das variáveis complexidade e incerteza. Para os autores, as dimensões são divididas na tipologia tecnológica do projeto, dimensão que impacta na incerteza do projeto, e a outra é a dimensão da complexidade do projeto, o enfoque que é dado à incerteza é aquele que a relaciona com a tecnologia, ou seja, se refere à medida do grau de incerteza tecnológica que pode ser ilustrado na figura 1:

Figura 1 – Incerteza x Complexidade



Fonte: Autor “adaptado de” Shenhar e Wideman, 2000, p. 5

Em relação aos tipos de Projetos Shenhar e Wideman (2000) descrevem conforme a seguir:

- a) Tipo A – são projetos com baixa-tecnologia;
- b) Tipo B – são os projetos com tecnologia mediana - tecnologia da maior parte do projeto já estabelecida, estes são semelhantes ao tipo A, porém, de modo geral o projeto usa de alguma tecnologia nova;
- c) Tipo C – são projetos de alta tecnologia (high-tech) - utilizam tecnologias que foram desenvolvidas antes da fase de iniciação de projeto (tecnologia avançada), mas que são utilizadas pela primeira vez;
- d) Tipo D – são projetos de tecnologia altamente avançada - utilizam tecnologias novas.

## 2.2 GESTÃO DE RISCO

À medida que a construção de infraestruturas se torna cada vez mais complexa, tem sido frequentemente desafiada pelo atraso na construção ocasionando enormes perdas. A entrega de empreendimentos complexos fornece uma rica fonte de dados para novas oportunidades de entender e abordar questões de riscos no cronograma do projeto. A

organizações devem desenvolver um plano de gestão de riscos que aumente a probabilidade de sucesso, concentrando a atenção do gerenciamento de projetos nos fatores de alto risco identificados durante a avaliação de riscos (TRIPATHI; JHA, 2018). De acordo com Aziz (2013), os processos de construção também estão expostos a diversos tipos de riscos. Vários estudos identificaram e classificaram fatores de risco vivenciados nas indústrias da construção. Entre todos os fatores, cumprir os objetivos do cronograma é o mais proeminente.

Neste contexto, Park et al. (2019) indicam que uma gestão sistemática de risco começa com a identificação dos riscos que podem ocorrer durante a execução do projeto. E ainda de acordo com Park et al. (2019), os principais tópicos de pesquisa relacionados a gestão de riscos se concentram em: (1) avaliação de risco por projeto e melhoria do desempenho funcional do gerenciamento de projeto, (2) medidas de reconhecimento de resposta de risco e (3) estratégia para gestão de riscos de projeto no exterior.

De uma forma geral, a gestão de riscos contém a identificação dos riscos, análise dos riscos, plano de mitigação dos riscos, e o monitoramento dos riscos que pode surgir durante a execução do projeto. A gestão de riscos também examina a relação entre os riscos e o impacto que eles podem ter nos objetivos estratégicos de uma organização e, o objetivo de uma gestão de riscos não é eliminar todos os riscos, mas preservar e agregar valor a empresa, tomando decisões inteligentes sobre riscos. É possível identificar este princípio na ISO 31000, onde de acordo com a norma, “Gestão de Riscos cria e protege valores” (ISO, 2018).

Outro ponto importante da gestão de riscos é a eficácia, pois se não for possível medir a eficácia da gestão de risco durante o andamento do projeto, pode causar o fracasso do projeto, ou seja, sem uma avaliação adequada da gestão de riscos, uma organização não consegue acompanhar o progresso da mitigação de riscos. Assim, é muito importante identificar os riscos de uma forma que possam ser gerenciados e, por fim, medir adequadamente desempenho da gestão de riscos.

O risco está totalmente ligado ao objetivo do projeto, isto é, se não for conhecido o objetivo do projeto, não é possível identificar os riscos inerentes. Então, uma vez que já possui uma consciência que o risco existe, é necessário de um processo para identificá-lo e tratá-lo de forma a aumentar as chances do projeto alcançar seus objetivos. De acordo com o PMBOK® Guide (PMI, 2021, p. 395), a definição da gestão de riscos é “O processo sistemático de identificar, analisar e responder ao risco do projeto. Isso inclui maximizar a probabilidade e consequências de eventos positivos e minimizar a probabilidade e consequências de eventos negativos para os objetivos do projeto”. Neste contexto, a gestão de riscos é o processo de: Identificação dos riscos, avaliações de sua magnitude, tratamento dos

riscos e se necessário, dependendo da magnitude do risco, criar um plano de contingência, conforme ilustrado na Figura 2:



Fonte: Autor

### 2.2.1 Identificação dos Riscos

O primeiro passo da gestão de riscos é a Identificação dos Riscos que é o momento de determinar quais riscos podem afetar o projeto e documentar suas características. Isto é, o objetivo desta etapa é identificar todos os possíveis riscos que podem afetar positivamente ou negativamente o projeto. Esta etapa também habilita a companhia a desenvolver planos para minimizar eventos que pode prejudicar o projeto antes deles ocorrerem.

Um grande esforço é aplicado na etapa de identificação de riscos e, para ser eficaz, a identificação dos riscos requer um planejamento e pesquisas iniciais consideráveis. O gerente do projeto precisa determinar a técnica que deverá usar para a identificação dos riscos ou até uma combinação de técnicas. De acordo com o PMBOK® Guide (PMI, 2021), existem cinco principais técnicas de identificação de riscos:

- Entrevistas:** Selecionar as partes interessadas. Planejar as entrevistas. Definir as perguntas. Documentar os resultados da entrevista;
- Brainstorming:** Segundo o dicionário Oxford (OXFORD UNIVERSITY, 2003, p. 45), é uma técnica de discussão em grupo que se vale da contribuição espontânea de

ideias por parte de todos os participantes, com o conceito básico de que os participantes possam propor ideias sem medo de críticas ou julgamentos. O PMBOK® Guide (PMI, 2021) diz que, existem duas principais abordagens para o brainstorming: **abordagem puramente verbal (abordagem clássica)**. Nesse caso, o facilitador anota cada uma das sugestões – normalmente em um flipchart ou similar. O facilitador garante que não haja análise ou crítica de quaisquer ideias. A única discussão permitida é para esclarecimento. O facilitador consolida a lista assim que a sessão termina. O sucesso desta técnica depende da habilidade do facilitador em garantir que todos tenham uma chance justa de se expressar. Também existe a **abordagem parcialmente escrita**; nesse caso, os participantes começam por escrever as suas ideias em post-its, uma ideia por nota. O facilitador então faz com que cada participante leia uma ideia e então a nota é então colada na parede. Mais uma vez, o facilitador garante que não há análise ou crítica de nenhuma das ideias. Os participantes podem criar notas adicionais à medida que as ideias vão surgindo durante o processo e lê-las à medida que voltam a sua vez. Essa técnica é mais estruturada do que a abordagem clássica e permite que as pessoas tenham mais tempo para preparar seus pensamentos e também garante que cada participante possa se expressar;

c) Análise de suposições: De acordo com o PMBOK® Guide (PMI, 2021), várias decisões de projeto são baseadas em suposições (conscientes ou inconscientes). Como cada suposição pode estar errada, cada uma é um risco potencial. Um desafio na análise de suposições é tentar tornar visíveis as suposições inconscientes. Por exemplo, em um projeto A, uma suposição é que o cliente realmente deseja comprar o produto ou serviço descrito na requisição de proposta. Isso pode ser falso (eles podem ter decidido criá-lo e estão apenas procurando informações adicionais ou justificativas para isso). Isso é claramente uma ameaça. As suposições são fontes de riscos e o gerente do projeto deve documentá-las;

d) Técnica Delphi: De acordo com o PMBOK® Guide (PMI, 2021), a Técnica Delphi é uma técnica não interativa (em que o grupo não se reúne) mas que funciona por ciclos. Vários especialistas, individualmente e geralmente de forma anônima, apresentam ideias e justificações sobre determinado assunto. Até que se chegue à solução final a Técnica Delphi funciona por ciclos. Em cada ciclo um facilitador recolhe as opiniões e fornece a todos um sumário das ideias e razões apresentadas; Com base nessa informação os especialistas reveem a sua posição, alteram-na ou apresentam novos argumentos. Ao fim de um determinado número de ciclos dever-se-

á ter chegado a uma solução ou conjunto de soluções que é reconhecido pela generalidade dos participantes como a melhor solução. Ou seja, a técnica Delphi é uma técnica de procura de consenso em que o facto de as respostas serem dadas de forma anónima facilita a liberdade de expressão e limita as inibições. Por exemplo, em um projeto A, foi solicitado aos líderes funcionais visões sobre os riscos de um aditivo de mais de 10% (dez por cento) do projeto. Vendas viram como uma grande oportunidade e a fábrica viu como uma ameaça aos prazos acordados com outros clientes devido a limitações de capacidade;

e) Revisão de documentação: Todos os documentos do projeto fornecem detalhes que podem indicar áreas de risco. Alguns riscos podem vir de processos de projeto defeituosos, enquanto outros podem ser inerentes à abordagem do projeto ou restrições. Por exemplo, em um projeto A, a requisição de proposta afirma que, em caso de entrega satisfatória pelo contratado escolhido, o contratado poderá ser solicitado a fornecer suporte e operações contínuas para o serviço. Esta é uma oportunidade a ser considerada.

## **2.2.2 Respostas aos Riscos**

Existem várias estratégias bem conhecidas e comprovadas para responder ao risco, deve ter certeza de escolher os corretos para confrontar o risco com base no tipo desse risco e nas circunstâncias que cercam o projeto. As mais importantes dessas estratégias comuns para enfrentar os riscos são: Evitar o risco, Transferir o risco, Mitigar o risco e Aceitar o risco (KESHK; MAAROUF; ANNANY, 2018).

### ***2.2.2.1 Evitar o Risco***

“Evitar o risco é uma estratégia de resposta a riscos pela qual a equipe do projeto atua para eliminar a ameaça ou proteger o projeto de seu impacto” (PMI, 2021, p. 443). De acordo com Keshk, Maarouf e Annany (2018), esta estratégia baseia-se na alteração do plano do projeto para eliminar o risco, a circunstância indesejada ou para proteger os objetivos do projeto de seus efeitos. É claro que nem todos os riscos podem ser evitados ou removidos, mas alguns riscos comprovados pela experiência em muitos projetos podem ser evitados.

### **2.2.2.2 Transferir o Risco**

“A transferência de risco é uma estratégia de resposta ao risco pela qual a equipe do projeto transfere o impacto de uma ameaça para um terceiro, juntamente com a propriedade da resposta” (PMI, 2021, p. 443). Transferir o risco significa transformar as consequências do risco para um terceiro, isto é, transformar a responsabilidade da gestão do risco para outros sem eliminá-lo ou evitá-lo.

### **2.2.2.3 Mitigar o Risco**

“A mitigação de riscos é uma estratégia de resposta a riscos pela qual a equipe do projeto atua para reduzir a probabilidade de ocorrência ou impacto de um risco” (PMI, 2021, p. 443). A estratégia de mitigação consiste em tentar minimizar a probabilidade do risco ocorrer ou o seu impacto.

### **2.2.2.4 Aceitar o Risco**

“A aceitação do risco é uma estratégia de resposta ao risco pela qual a equipe do projeto decide reconhecer o risco e não tomar nenhuma ação a menos que o risco ocorra” (PMI, 2021, p. 443). A estratégia de aceitação do risco, não é realizada nenhuma ação, a não ser reconhecer o risco. Neste caso, é usada para riscos não críticos ou se o esforço envolvido não supera o benefício. A aceitação efetiva do risco inclui o desenvolvimento de plano “plano de contingência”, enquanto “aceitação passiva” significa não tomar nenhuma ação e deixar a equipe no projeto lidando com o risco por si mesmos. O desenvolvimento do plano de contingência leva aos diagnósticos de riscos, pois tem um bom efeito na redução do custo das ações a serem tomadas se o risco acontecer. Quando o risco acontece e tem efeitos significativos, o “plano de retorno” está sendo desenvolvido para enfrentar esse grande risco (KESHK; MAAROUF; ANNANY, 2018).

## **2.3 ANÁLISE DE RISCO EM PROJETOS COMPLEXOS**

Segundo Williams (2017), as empresas estão se tornando cada vez mais projetizadas ou orientadas a projetos, com muitos bilhões de dólares sendo gastos anualmente em projetos em todo o mundo. A construção de novos ativos de capita, a realização de empreendimentos

únicos de grande escala exige a realização de grandes projetos. Os benefícios da projetização e uma boa gestão de projetos podem ser vistos claramente de várias maneiras, estas incluem motivação, satisfação e dar sentido ao trabalho de indivíduos e equipes. Quando se concentra em projetos complexos os efeitos dos riscos são difíceis de serem compreendidos sem uma análise. Sendo assim, a análise de risco envolve examinar como os resultados e objetivos do projeto podem mudar devido ao impacto do evento de risco. Uma vez que os riscos são identificados, eles são analisados para identificar o impacto qualitativo e quantitativo do risco no projeto para que as medidas apropriadas possam ser tomadas para mitigá-los.

Thamhain (2013) afirma que apesar dos desafios e das inevitáveis incertezas associadas a projetos complexos, o sucesso não é aleatório e que os riscos podem ser gerenciados. No entanto, para ser eficaz, especialmente em ambientes de projetos complexos, o gerenciamento de riscos deve ir além dos métodos analíticos. Embora os métodos analíticos forneçam a espinha dorsal para a maioria das abordagens de gerenciamento de risco e tenham o benefício de produzir uma avaliação de uma situação de risco conhecida de forma relativamente rápida, incluindo medidas econômicas de ganhos ou perdas, eles também têm muitas limitações. As limitações mais óbvias estão na identificação de situações de risco potenciais e desconhecidas e na redução do impacto do risco envolvendo pessoas em toda a empresa. Devido a essas limitações e às crescentes pressões sobre os gerentes para reduzir o risco, muitas empresas mudaram seu foco de “investigar o impacto de fatores de risco conhecidos” para “gerenciar cenários de risco” com o objetivo de eliminar riscos potenciais antes que eles afetem as atividades organizacionais. Como resultado, essas empresas aumentaram os métodos analíticos convencionais com métodos mais adaptáveis, baseados em equipe, que dependem em grande parte de (1) ampla coleta de dados em um amplo espectro de fatores e (2) tomada de decisão com julgamento.

Muitos estudos publicados apontaram que os fatores de risco de projetos complexos são interativos e não independentes uns dos outros (TELLER; KOCK, 2013; XIE et al., 2019; YANG et al., 2020). Assim, uma estratégia eficaz de resposta a riscos seria baseada na associação de riscos para identificar os riscos críticos que resultam no desvio dos objetivos iniciais do projeto.

Distinguir e diminuir os riscos nos projetos de hoje são cruciais para o sucesso do projeto. Quase todos os projetos estão enfrentando vários riscos ao longo do cronograma do projeto e, para minimizar o impacto dos riscos, uma abordagem eficaz de gerenciamento de riscos deve ser incorporada em cada projeto. Todos os projetos estão expostos a riscos que podem afetar seus custos e prazos planejados. Isso é muito mais para projetos de alta

complexidade, onde há níveis mais altos de risco, ou seja, a complexidade de um projeto é um fator que impacta e afeta o desenvolvimento do projeto. A gestão adequada do risco permite passar de um estado de incerteza para uma avaliação mensurável da probabilidade de ocorrência de eventos de risco o que permite a tomada de decisão prévia ao evento de risco (URGILÉS; CLAVER; SEBASTIÁN, 2019). Segundo Dengsheng et al. (2018), o objetivo do gerenciamento de riscos do projeto são identificar e gerenciar riscos que não são considerados em outros processos de gerenciamento de projetos. A falta de gerenciamento de riscos leva a possíveis desvios do plano original e há uma correlação direta entre gerenciamento de riscos e sucesso do projeto.

Antes do processo de identificação de riscos, deve-se entender quais tipos de riscos seriam pesquisados, exigidos e identificados. À medida que a escala de projetos complexos está aumentando, mais participantes, como o governo, desenvolvedores, empreiteiros, construtores e moradores próximos são envolvidos e considerados como organizações do projeto. Além de enormes estruturas e funções organizacionais, as estruturas de inter-relacionamento entre elas estão se tornando cada vez mais complexas e diversas em vários tipos de projetos, que evoluiriam para riscos associados à organização e influenciariam o desempenho de projetos complexos (YANG; ZHAO, 2021).

A análise dos riscos é inerentemente relacionada com a modelagem do risco. O Modelo de risco Probabilidade por Impacto (Pxi) é a mais comum e o risco é usualmente avaliado através da apreciação da sua probabilidade de ocorrência e impacto. Para a análise dos riscos os métodos qualitativos e quantitativos vêm sendo melhorados de acordo com o aumento da complexidade dos projetos e a necessidade de refletir aspectos como as interdependências entre os riscos e as interações entre eles e com o ambiente do projeto (TAROUN, 2014).

De uma forma geral, na análise dos riscos, o gerente do projeto converte os dados coletados durante a identificação dos riscos em informações usando a técnica escolhida. Existem duas categorias na análise dos riscos: quantitativa e qualitativa. As técnicas quantitativas dependem muito de abordagens estatísticas, como a simulação de Monte Carlo. As técnicas qualitativas dependem mais do julgamento do que de cálculos estatísticos, como heurísticas.

A análise quantitativa de risco (QRA) é frequentemente utilizada para avaliar o nível de risco e a medição em questão é acompanhada por um grau de incerteza (CALIENDO; GUGLIELMO, 2017). Junto com o desenvolvimento do método, a QRA demonstra ser capaz de imitar o julgamento dos especialistas com base em seu desempenho em cenários

artificialmente projetados (ZHENG; ZIO, 2017). Um processo típico de QRA geralmente segue as etapas de identificação de resultados perigosos, construção de modelos, estimativa de risco e tomada de decisão (ZHENG; ZIO, 2017).

A avaliação probabilística de risco (PRA) é uma ferramenta comum para a QRA, especialmente para o tratamento da incerteza (PAN et al., 2019). As fontes de incerteza são frequentemente classificadas em duas categorias: (1) variação natural, ou fenômeno estocástico, que é inerente e irreduzível e menos controlável; (2) falta de conhecimento, que pode ser controlado com o avanço do conhecimento atual (WANG et al., 2019). De acordo com Zhang, Wang e Wu (2021), existem debates de que o primeiro é o desconhecimento da falta de conhecimento, e estes fatores incertos podem ser bem controlados com o esclarecimento científico futuro.

### **2.3.1 Análise Quantitativa de Riscos**

Uma boa gestão de risco requer um processo de análise de risco que seja cientificamente sólido e que seja apoiado por técnicas quantitativas. Um amplo corpo de conhecimento sobre técnicas quantitativas foi acumulado nas últimas duas décadas. A simulação de Monte Carlo é a técnica de avaliação quantitativa de risco predominante na prática e na literatura (CREEMERS; DEMEULEMEESTER; VAN DE VONDER, 2014).

Técnicas quantitativas de risco, tal como Simulação de Monte Carlo, tem sido empregada extensivamente para estimar o risco do projeto. A simulação de Monte Carlo é adequada para a análise quantitativa porque apresenta um alcance de possíveis resultados, bem como a probabilidade destes resultados serem atingidos (ACEBES et al., 2021).

De acordo com o PMBOK® Guide (PMI, 2021), a análise quantitativa de riscos é um processo de análise matemática do impacto do risco identificado nos objetivos gerais do projeto. A análise quantitativa de riscos é realizada em riscos que foram priorizados usando o processo de análise qualitativa de riscos, pois são potencialmente os que estão afetando substancialmente os projetos. Neste contexto, Nabawy e Khodeir (2020) afirmam que quando é considerado um projeto complexo, a dependência do julgamento de especialistas não é suficiente para a avaliação dos riscos devido a erros que podem contar a partir de habilidades de julgamento e experiência do pessoal. A análise quantitativa dos riscos é mais confiável e requer dados mais acurados e uma análise eficiente.

### 2.3.2 Análise Qualitativa de Riscos

De acordo com Acebes et al. (2021), os gerentes de projeto têm bastante clareza sobre como avaliar cada risco individual, principalmente por meio de análises qualitativas em que as matrizes probabilidade-impacto permitem atribuir um valor a cada risco identificado. Esse tipo de análise atribui a cada risco certo grau de relevância, o que permite priorizar os riscos identificados de acordo com sua relevância.

De acordo com o PMBOK® Guide (PMI, 2021), a análise qualitativa é muito importante para determinar a importância dos riscos e saber qual precisa de tratamento antes de outro, e, a matriz de probabilidade-impacto pode ser estruturada com a estimativa das probabilidades dos riscos variando como muito baixo até muito alto e outros, podendo a probabilidade de ocorrência de um risco variar de 0% a 100%, sendo qualquer valor aceitável desde que não seja nem 0 (zero), pois nesse caso o risco nunca ocorreria, ou 100% (cem por cento), nesse caso a incerteza torna-se uma certeza, não sendo mais um risco ao projeto. As escalas podem ser definidas a critério do gerente do projeto.

Para o impacto também pode ser determinado variando como muito baixo até muito alto e outros, geralmente sugere a importância relativa que refletem o impacto. Após identificar os indicadores de probabilidade e impacto, é possível construir a matriz de risco (probabilidade x impacto) conforme figura 3 a seguir:

Figura 3 – Matriz de Risco

PROBABILIDADE	80%	Amarelo	Amarelo	Vermelho	Vermelho
	60%	Verde	Amarelo	Vermelho	Vermelho
	40%	Verde	Verde	Amarelo	Vermelho
	20%	Verde	Verde	Amarelo	Amarelo
		Muito Baixo	Baixo	Alto	Muito Alto
		IMPACTO			

Fonte: Autor “adaptado de” PMI, 2021, p. 252

De acordo com Keshk, Maarouf e Annany (2018), é muito importante saber o significado das três cores na matriz; Verde indica que o risco tem pouca importância; Amarelo indica que existe riscos importantes e vermelho indica que teria um maior impacto nos objetivos do projeto.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada no estudo foi a modelagem, sendo aplicada a Simulação de Monte Carlo como ferramenta de análise. O Brainstorming foi a técnica aplicada para a coleta de dados.

A norma NBR ISO 31010 (ABNT, 2012) por meio do Quadro 1 destaca um comparativo da aplicabilidade de oito metodologias sendo classificadas de acordo com os seguintes critérios: identificação dos riscos, consequência, probabilidade, nível de risco e avaliação de risco.

Quadro 1 - Aplicabilidade das ferramentas utilizadas para o processo de avaliação de riscos

FERRAMENTAS E TÉCNICAS	PROCESSO DE AVALIAÇÃO DE RISCOS					VER ANEXO DA NORMA
	ID. DOS RISCOS	ANÁLISE DOS RISCOS			AVALIAÇÃO DE RISCOS	
		CONS.	PROB.	NÍVEL DE RISCO		
BRAINSTORMING	FA	NA	NA	NA	NA	B01
ANÁLISE PRELIMINAR DE PERIGO (APP)	FA	NA	NA	NA	NA	B05
ANÁLISE DE CAUSA-RAÍZ	NA	FA	FA	FA	FA	B12
ANÁLISE DE MODOS DE FALHA E EFEITO (FMEA)	FA	FA	FA	FA	FA	B13
ANÁLISE DE CAUSA E EFEITO	FA	FA	NA	NA	NA	B17
SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO	NA	NA	NA	NA	FA	B25
REDE DE BAYES	NA	FA	NA	NA	FA	B26
MATRIZ DE PROBABILIDADE E CONSEQUÊNCIA	FA	FA	FA	FA	A	B29
Legenda: FA - Fortemente aplicável. NA - Não aplicável. A - Aplicável.						

Fonte: ABNT, 2012, p. 19

O estudo tem natureza aplicada e adota uma abordagem quantitativa e modelagem por meio da simulação de Monte Carlo, visando entender o fenômeno da importância do gerenciamento de risco em um projeto complexo. A aplicação da Simulação de Monte Carlo apresenta-se como uma técnica eficaz em análises envolvendo riscos. Ela consiste em um experimento de amostragem que tem como objetivo estimar a distribuição de variáveis de saída e entrada, fornecendo soluções através de testes de amostragens estatísticas. É incorporada aos modelos de finanças, gestão de projetos e operações fornecendo como resultado aproximações para as distribuições de probabilidade dos parâmetros que estão sendo estudados, permitindo a identificação dos riscos mais significativos que implicam em um estudo de mitigação (WANHUA; RUIYU, 2008).

### 3.1 SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

A Simulação de Monte Carlo (SMC) é o termo dado aos modelos de simulação que tem uma ou mais variáveis estocásticas. A técnica Monte Carlo permite gerar aleatoriamente centenas de valores amostrais dessas distribuições para calcular os impactos de diferentes valores para as variáveis de risco em uma análise de sistema simulado. Este procedimento é reforçado por Cheali et al. (2016) que propuseram utilizar a técnica Monte Carlo para a caracterização das incertezas de entrada, amostragem, avaliações de modelos e análise das incertezas.

Samanez (2009), define a SMC como um método de ensaios estatísticos, em que os valores são estabelecidos por meio de uma seleção aleatória, na qual a probabilidade de escolher determinado resultado entre todos os possíveis é obtida a partir de uma amostragem aleatória de identificação de eventos. São chamados de variáveis aleatórias os fatores não conhecidos como certeza, onde o comportamento é apresentado por uma distribuição de probabilidades. Este modelo econômico permite calcular valores ajustados ao risco para os grupos de fluxo de caixa e projetar o valor presente líquido esperado através da simulação estocástica.

Acebes et al. (2021) diz que técnicas quantitativas, tal como a Simulação de Monte Carlo, tem sido empregada extensivamente para estimar os riscos do projeto, sendo adequada devido ao fato de apresentar uma gama de possíveis resultados, bem como a probabilidade destes resultados serem atingidos.

Neste contexto, Brealey e Myers (2000) dizem que a simulação de Monte Carlo consiste em combinar valores das variáveis principais, de forma automática e aleatória,

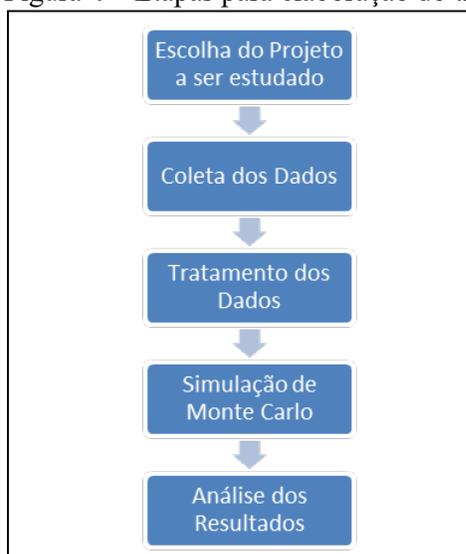
geralmente com o auxílio de ferramentas de software que, por conseguinte, geram uma grande quantidade de cenários, automaticamente. Neste processo, ao invés de estimar cenários, o analista do projeto prevê a variação de cada fonte de incerteza, na forma de sua distribuição de probabilidades. A partir daí, o software se encarrega de gerar amostras das variáveis, com base em suas distribuições, e calcula o resultado do modelo (o Valor Presente Líquido de um projeto, por exemplo) baseado nestas amostras. Este processo de amostragem aleatória e cálculo do resultado é repetido automaticamente por centenas ou milhares de vezes, de modo a simular o comportamento da variabilidade do resultado do projeto, com base nas distribuições de probabilidades das variáveis – onde, na verdade, estão implícitas as incertezas do projeto.

A simulação de Monte Carlo é uma técnica útil para modelar e analisar sistemas e situações do mundo real. Os benefícios da simulação de Monte Carlo estão usando dados quantificados, permitindo que os gerentes de projeto justifiquem e comuniquem melhor seus argumentos quando a alta administração está pressionando por expectativas irreais do projeto. A educação adequada em gerenciamento de risco, treinamento e avanços na tecnologia de computação combinados com o software de simulação Monte Carlo permitem que os gerentes de projeto implementem o método facilmente. No campo do gerenciamento de projetos, a simulação de Monte Carlo pode quantificar os efeitos do risco e da incerteza nos cronogramas e orçamentos do projeto, fornecendo ao gerente de projeto um indicador estatístico do desempenho do projeto, como data de conclusão do projeto e orçamento (KWAK; INGALL, 2007).

### 3.2 ETAPAS DO TRABALHO

Visando a estruturação do projeto de pesquisa, alguns passos devem ser determinados. São eles: escolha do projeto, coleta de dados, tratamento dos dados, simulação de monte carlo e análise dos resultados conforme figura 4:

Figura 4 – Etapas para elaboração do trabalho



Fonte: Autor

### 3.2.1 Escolha do Projeto

O empreendimento escolhido para auxiliar no estudo de gerenciamento de riscos proposto nesse trabalho foi o fornecimento de 3 (três) subestações de energia para alimentação de máquinas e motores essenciais para o funcionamento de uma planta de filtragem de rejeitos de uma barragem em uma mineradora localizada em Itabira/MG. Tal projeto de grande porte é composto por vários projetos complementares desenvolvidos independentes uns dos outros. Este projeto é caracterizado pela sua importância na prevenção de rompimento de barragem, onde a cidade que está localizado pode ser extremamente afetada caso um acidente ocorra. Por isso, o prazo para implementação deste projeto acaba por ser priorizado na análise de risco. O projeto escolhido diferencia de projetos não complexos devido a atender aos requisitos de complexidade informados no capítulo 2.1, isto é, suas características são dinâmicas por possuir um índice elevado de mudanças durante o projeto e por sofrer grande influência de partes interessadas, por exemplo da sociedade em torno do empreendimento. Isso deve-se ao histórico de acidentes com barragens no estado de Minas Gerais/Brasil.

### 3.2.2 Coleta dos Dados

Tendo em vista que para este trabalho foi adotado o cronograma de um projeto complexo, com suas respectivas durações estimadas e executadas, para análise dos riscos, foi necessário a obtenção de durações mínimas, mais provável e máximas para cada atividade do cronograma estudado, que por sua vez, foram obtidas através de técnicas de identificação de riscos já apresentadas anteriormente neste trabalho e, sendo o brainstorming como técnica utilizada neste trabalho. Perrenoud et al. (2016), diz que a identificação de riscos é um processo pelo qual uma série de riscos potenciais são identificados de acordo com sua frequência de ocorrência e possível influência, positiva ou negativa, nos principais objetivos do projeto. Perrenoud et al. (2016) também destaca que as partes interessadas (stakeholders) do projeto são mais capazes de reconhecer os riscos antes e durante a construção se já trabalharam em projetos semelhantes. Por isso, para a coleta de dados, foi utilizada a técnica de brainstorming em reuniões com as partes interessadas, sendo um profissional especialista representante das seguintes áreas: gestão de projetos, engenharia, suprimentos, logística, jurídico, financeiro, qualidade e comércio exterior. Para a escolha dos profissionais, foi realizada uma análise curricular em que a experiência em projetos complexos semelhantes ao estudado neste trabalho foi o fator impreterível para ser considerado nas reuniões de identificação dos riscos. A experiência dos profissionais pode-se resumir conforme quadro 2.

Quadro 2 – Experiência dos Profissionais

ÁREA	EXPERIÊNCIA
Gestão De Projetos	Profissional formado em engenharia elétrica, MBA Internacional em Gestão de Projetos e com mais de 10 anos de experiência em gestão de projetos complexos. Com passagem em empresas de fornecimento de equipamentos elétricos para mineração e siderúrgica. Também atuando em escritório de projetos na elaboração de normas e procedimentos de gestão de projetos.
Engenharia	Profissional formado em engenharia elétrica, Pós-graduação em Engenharia de Comissionamento, com mais de 20 anos de experiência em liderança técnica de projetos de subestações. Com passagem em empresas dos ramos de mineração, óleo e gás e Papel e Celulose.
Suprimentos	Profissional formado em tecnologia mecânica, Pós-graduação em Administração de Empresas, com mais de 17 anos de experiência em compras estratégicas de equipamentos e serviços. Com passagem em empresas dos ramos de siderurgia, alimentação, metal mecânica e fornecedora de equipamentos elétricos.
Logística	Profissional formado em tecnologia logística, com mais de 10 anos de experiência em transportes de cargas nacionais e internacionais, tendo destaque na operação logística de grandes cargas (heavy duty). Responsável pelo desenvolvimento de sistema de automação de identificação de fornecedores para transporte de cargas. Desde estagiário atuando na mesma empresa no fornecimento de equipamentos elétricos.

Continua...

Conclusão	
Jurídico	Profissional formada em direito, especialização em análise de riscos, com mais de 08 anos de experiência em análises de contratos de fornecimento de equipamentos para os ramos de mineração e data centers. Atualmente como gerente de contratos para projetos complexos e responsável pela elaboração do treinamento de análise de riscos da empresa. Profissional com passagem em empresas do setor de distribuição elétrica.
Financeiro	Profissional formada em administração de empresas, com mais de 15 anos de experiência em controles de projetos de fornecimento de equipamentos para os ramos de mineração, óleo e gás, siderurgia e papel e celulose. Atualmente como controle de projetos complexos na América do Sul.
Qualidade	Profissional formado em tecnologia do gerenciamento da qualidade com MBA em Administração de empresas. Com mais de 12 anos de experiência em qualidade de projetos, sempre atuando na área de qualidade em projetos complexos de fornecimento de equipamentos, atualmente é líder nível América do Sul na área de qualidade e satisfação do cliente
Comércio Exterior	Profissional formado em Administração de Empresas, pós-graduado em Marketing Internacional e com MBA em Gerenciamento Estratégico de Empresas. Com mais de 27 anos de experiência em suprimentos internacionais e na liderança de equipes de comércio exterior, assegurando a completa logística de equipamentos oriundos da América do Norte, Ásia e Europa.

Fonte: Autor

Foi elaborado uma EAP (Estrutura Analítica do Projeto) conforme Anexo 1 para a melhor organização dos dados coletados. De acordo com o PMBOK® Guide (PMI, 2021) EAP, ou em inglês WBS (Work Breakdown Structure), é um recurso para dividir o projeto em pacotes de tarefas, grupo de atividades ou, como definido no Guia PMBOK®, Pacotes de Trabalho. Foi elaborado uma EAP para a melhor organização dos dados coletados. Com a padronização do projeto a partir da EAP criada, a próxima etapa contempla-se na escolha dos itens com maior impacto no cronograma, sendo considerado aqueles itens que estão contemplados no caminho crítico do projeto. O PMBOK® Guide (PMI, 2021) define o caminho crítico como a sequência de atividades que representa o caminho mais longo de um projeto, dessa forma, se alguma atividade do caminho crítico sofrer atraso, o projeto poderá sofrer atraso também, pois qualquer atividade que esteja no caminho crítico do cronograma do projeto não possui folgas, e por isso é considerada crítica. Vale ressaltar que o cronograma do projeto considerado neste trabalho foi elaborado através do software MS Project, onde através do software já é identificado e fornecido o caminho crítico do projeto.

Após a identificação, por meio de software, das atividades no caminho crítico (Quadro 3), foram agendadas as reuniões de brainstorming com os especialistas supracitados a fim de identificar os riscos associados a cada atividade crítica (Quadro 4), a escala de probabilidade e impacto para cada fator de risco selecionado e definir as durações mínima, mais provável e máxima.

Quadro 3 – Lista de atividades críticas

	WBS	Subestação	Tag	Task Name	Duration	Critical
1	1			▾ FILTRAGEM DE REJEITOS	401 days	Yes
5	1.2			▾ PARTE TÉCNICA	398 days	Yes
10	1.2.2			▾ SERVIÇOS DE ENGENHARIA	396 days	Yes
1043	1.2.2.2			▾ SERVIÇOS DE ENGENHARIA	331 days	Yes
1060	1.2.2.2.2	GERAL		▾ SERVIÇOS DE CAMPO	278 days	Yes
1061	1.2.2.2.2.1	GERAL		Supervisão de Montagem	150 edays	Yes
1062	1.2.2.2.2.2	GERAL		Comissionamento	190 edays	Yes
1064	1.2.2.2.2.4	GERAL		Término da Operação Assistida e Apoio de Campo	150 edays	Yes
1065	1.2.3			▾ FABRICAÇÃO E MONTAGEM	151 days	No
1066	1.2.3.1	SE-1875CC-02		▾ Fabricação dos Equipamentos SE-1875CC-02	132 days	No
1187	1.2.3.1.21	SE-1875CC-02	MC-1875CC-21	▾ Painel CCM MT	111 days	No
1189	1.2.3.1.21.2	SE-1875CC-02	MC-1875CC-21	Compra Material Crítico	62 days	Yes
1191	1.2.3.1.21.4	SE-1875CC-02	MC-1875CC-21	Inspeção / Testes com a Vale	7 edays	Yes
1192	1.2.3.1.21.5	SE-1875CC-02	MC-1875CC-21	Embalagem e Expedição para o Cliente	4 edays	Yes
1814	1.2.3.1.136	SE-1875CC-02	SE-1875CC-02	▾ Entrega dos Equipamentos	17 days	Yes
1815	1.2.3.1.136.1	SE-1875CC-02	SE-1875CC-02	Transporte entrega no cliente - QD's e CCM's	5 edays	Yes
2151	1.3	Geral		ENCERRAMENTO DO PROJETO	0 days	Yes

Fonte: Autor

Quadro 4 – Riscos Identificados

Identificação do risco	Descrição do Risco	Categoria do Risco
CR_01	Risco de atraso na compra de material crítico devido a atraso na engenharia	Compras
CR_02	Risco de falta de material na fábrica devido a escassez de matéria prima	Compras
CR_03	Risco devido a burocracia na alfândega brasileira	Político e Econômico
CR_04	Risco do cliente atrasar a aprovação da compra de materiais críticos	Técnico - performance
CR_05	Risco da engenharia atrasar na especificação de material	Técnico - performance
CR_06	Risco de não conseguir transporte na origem conforme planejado. Exemplo: falta de container na data planejada	Parceiros, recursos & capacidade
CR_07	Risco do equipamento não ser aceite durante os testes de fábrica	Qualidade, relacionamento com o
CR_08	Risco de atraso na embalagem e carregamento devido a pandemia	Entrega
CR_09	Risco do equipamento apresentar problemas durante o comissionamento	Técnico - performance
CR_10	Risco de falta de recursos para executar o comissionamento	Parceiros, recursos & capacidade
CR_11	Risco de atraso na entrega do equipamento durante o transporte	Contratual, penalidades
CR_12	Risco de falta de container na EUROPA e na ÁSIA	Entrega
CR_13	Risco da necessidade de reforços no sistema de HVAC	Técnico - performance
CR_14	Risco da necessidade de ter que armazenar os equipamentos após a entrega	Campo, segurança
CR_15	Risco de alteração nos layouts da subestação durante a fase de execução	Técnico - performance
CR_16	Risco de danos no equipamento durante o transporte	Entrega

Fonte: Autor

Conforme explicado anteriormente, para garantir a qualidade e credibilidade do processo de análise qualitativa dos riscos, é fundamental definir diferentes níveis de probabilidades e impactos para os riscos. Para este trabalho, foram considerados as escalas de probabilidade desde “muito baixa” a “muito alta” como se pode verificar na Quadro 5 abaixo:

Quadro 5 - Escala de Probabilidade de Ocorrência do Risco

Escala de Probabilidade de ocorrência do Risco	
Frequência da Ocorrência	Valor de Probabilidade
Muito Alta	0,8
Alta	0,6
Baixa	0,4
Muito Baixa	0,2

Fonte: Autor

O valor de probabilidade irá variar entre 0,2 e 0,8, pois segundo o PMBOK® Guide (PMI, 2021) a probabilidade de um evento de risco não pode ser 100% ou 0% porque sempre

há algum grau de incerteza envolvido em qualquer situação. Mesmo que um evento pareça muito provável ou muito improvável de ocorrer, sempre há algum nível de incerteza sobre os fatores que podem influenciar o evento. Ainda no âmbito das reuniões de brainstorming, foi possível distribuir as probabilidades referentes aos respectivos riscos conforme tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Riscos e Probabilidades

Identificação do risco	Descrição do Risco	Categoria do Risco	Probabilidade
CR_01	Risco de atraso na compra de material crítico devido a atraso na engenharia	Compras	40%
CR_02	Risco de falta de material na fábrica devido a escassez de matéria prima	Compras	80%
CR_03	Risco devido a burocracia na alfândega brasileira	Político e Econômico	20%
CR_04	Risco do cliente atrasar a aprovação da compra de materiais críticos	Técnico - performance	20%
CR_05	Risco da engenharia atrasar na especificação de material	Técnico - performance	20%
CR_06	Risco de não conseguir transporte na origem conforme planejado. Exemplo: falta de container na data planejada	Parceiros, recursos & capacidade	60%
CR_07	Risco do equipamento não ser aceite durante os testes de fábrica	Qualidade, relacionamento com o	20%
CR_08	Risco de atraso na embalagem e carregamento devido a pandemia	Entrega	20%
CR_09	Risco do equipamento apresentar problemas durante o comissionamento	Técnico - performance	40%
CR_10	Risco de falta de recursos para executar o comissionamento	Parceiros, recursos & capacidade	20%
CR_11	Risco de atraso na entrega do equipamento durante o transporte	Contratual, penalidades	20%
CR_12	Risco de falta de container na EUROPA e na ÁSIA	Entrega	40%
CR_13	Risco da necessidade de reforços no sistema de HVAC	Técnico - performance	20%
CR_14	Risco da necessidade de ter que armazenar os equipamentos após a entrega	Campo, segurança	40%
CR_15	Risco de alteração nos layouts da subestação durante a fase de execução	Técnico - performance	60%
CR_16	Risco de danos no equipamento durante o transporte	Entrega	40%

Fonte: Autor

Além da escala de probabilidade de ocorrência é necessária a criação de uma escala de impacto. Uma escala de impacto reflete a importância do impacto, negativo para as ameaças e positivo para as oportunidades. Estas devem ser ajustadas ao objetivo potencialmente atingido, ao tipo e à dimensão do projeto. Assim como nas probabilidades, foi definido as escalas de impacto desde “muito baixo” a “muito alto” como se pode verificar no Quadro 6 abaixo:

Quadro 6 – Índice de Impacto do Risco

Índice de Impacto do Risco	
Avaliação	Valor do Impacto
Muito Alto	4
Alto	3
Baixo	2
Muito Baixo	1

Fonte: Autor

Com a definição do valor do impacto, os profissionais especialistas também definiram o impacto conforme tabela 2 abaixo. O impacto se refere às consequências do risco caso ele vier a ocorrer, ou seja, quais serão os prejuízos ou danos causados caso o risco incida de fato.

Tabela 2 – Riscos, Probabilidades e Impactos

Identificação do risco	Descrição do Risco	Categoria do Risco	Probabilidade	Impacto
CR_01	Risco de atraso na compra de material crítico devido a atraso na engenharia	Compras	40%	2
CR_02	Risco de falta de material na fábrica devido a escassez de matéria prima	Compras	80%	4
CR_03	Risco devido a burocracia na alfândega brasileira	Político e Econômico	20%	3
CR_04	Risco do cliente atrasar a aprovação da compra de materiais críticos	Técnico - performance	20%	1
CR_05	Risco da engenharia atrasar na especificação de material	Técnico - performance	20%	1
CR_06	Risco de não conseguir transporte na origem conforme planejado. Exemplo: falta de container na data planejada	Parceiros, recursos & capacidade	60%	4
CR_07	Risco do equipamento não ser aceite durante os testes de fábrica	Qualidade, relacionamento com o	20%	2
CR_08	Risco de atraso na embalagem e carregamento devido a pandemia	Entrega	20%	3
CR_09	Risco do equipamento apresentar problemas durante o comissionamento	Técnico - performance	40%	4
CR_10	Risco de falta de recursos para executar o comissionamento	Parceiros, recursos & capacidade	20%	4
CR_11	Risco de atraso na entrega do equipamento durante o transporte	Contratual, penalidades	20%	4
CR_12	Risco de falta de container na EUROPA e na ÁSIA	Entrega	40%	4
CR_13	Risco da necessidade de reforços no sistema de HVAC	Técnico - performance	20%	1
CR_14	Risco da necessidade de ter que armazenar os equipamentos após a entrega	Campo, segurança	40%	1
CR_15	Risco de alteração nos layouts da subestação durante a fase de execução	Técnico - performance	60%	4
CR_16	Risco de danos no equipamento durante o transporte	Entrega	40%	3

Fonte: Autor

Com os riscos identificados, suas respectivas probabilidades e impactos identificados, a próxima etapa é a criação da planilha que integraria todos os dados pertinentes para a simulação. Foram considerados 2 parâmetros, a “Probabilidade” e o “Impacto”, sendo esta matriz de probabilidade e impacto uma ferramenta de gerenciamento de riscos que permite de forma visual identificar quais são os riscos que devem receber mais atenção.

De acordo com Napoleão (2019), o grande diferencial da Matriz de Probabilidade e Impacto de Riscos é a facilidade que ela proporciona para visualizar informações sobre um determinado conjunto de riscos. Por se tratar de uma ferramenta gráfica, se torna fácil identificar quais riscos irão afetar menos ou mais a organização, possibilitando a tomada de decisões e a realização de medidas preventivas para tratar esses riscos. Além disso, por ser uma ferramenta de fácil entendimento e por dispor informações de forma clara e precisa, colabora com engajamento da equipe no processo de gestão de riscos.

Ao determinar a probabilidade e impacto do risco, esses valores devem ser inseridos na linha e coluna correspondente ao resultado obtido, gerando assim a classificação do risco. De acordo com a classificação do risco será possível definir se ele deve ser tratado ou não como prioridade, conforme distribuído na tabela 3 a seguir:

Tabela 3 – Matriz de Probabilidade vs Impacto

<b>PROBABILIDADE</b>	<b>80%</b>				CR_02
	<b>60%</b>			CR_06	CR_15
	<b>40%</b>	CR_14		CR_01 / CR_09 / CR_12 CR_16	CR_09
	<b>20%</b>	CR_04 / CR_05 / CR_13	CR_07	CR_03 / CR_08	CR_10 / CR_11
		<b>Muito Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Alto</b>	<b>Muito Alto</b>
		<b>IMPACTO</b>			

Fonte: Autor

Conforme já mencionado anteriormente no capítulo de análise qualitativa dos riscos também de acordo com Kassem (2019), três zonas são apresentadas na Matriz de Probabilidade e Impacto:

- a) Zona Vermelha: Os riscos nesta zona são de importância crítica e devem ser evitados ou transferidos; estes são as principais prioridades e deve ser dada muita atenção a eles;
- b) Zona Amarela: Os riscos nesta zona são de importância moderada e devem ser controlados;
- c) Zona Verde: Os riscos nesta zona têm o nível muito baixo de impacto que pode ser monitorado, controlado ou ignorado.

Para a execução deste trabalho foram considerados os riscos somente presentes na zona vermelha, pois são riscos com alto grau de probabilidade e impacto.

De acordo com Nabawy e Khodeir (2020), uma análise de risco de projetos deve selecionar uma distribuição de probabilidade adequada. Distribuições de probabilidade comumente usadas incluem Triangular, Distribuições normal, beta e uniforme. A distribuição triangular ajuda um analista de risco a ilustrar e facilitar o processo. Esta distribuição é fácil de entender e prática de usar na construção projetos. A distribuição triangular foi adotada neste estudo na variável de tempo, incluindo mínimo, máximo e mais provável.

A distribuição triangular é uma escolha razoável quando o objetivo é expressar a incerteza contínua de uma forma prática, uma vez que precisa de uma estimativa de valor mais provável, frequentemente correspondendo ao cenário de caso base, e um valor mínimo e máximo como limites inferior e superior, respectivamente. A distribuição é empregada para

explicar os conceitos gerais de incerteza para os quais não há muita informação histórica disponível, mas existe experiência para estimar o valor mais provável (KOULINAS et al., 2020).

As distribuições de probabilidades resumem diversos valores possíveis de ocorrer. Segundo Assaf Neto (2003), a atribuição de uma distribuição de probabilidades aos estados futuros associados a uma variável pode ser objetiva ou subjetiva. Distribuições de probabilidades objetivas baseiam-se normalmente em dados históricos sobre a qual há uma expectativa de que se repetirá no futuro, e as distribuições de probabilidades subjetivas decorrem de eventos novos, sobre os quais não se tem nenhuma experiência passada. A atribuição de distribuições de probabilidades subjetivas pode-se basear em pesquisas de mercado e projeções de demanda, intuição do administrador, experiência profissional etc, em geral baseiam-se em estimativas que embutem “riscos aceitáveis”. Abaixo tem-se exemplos de distribuições de probabilidades que estas variáveis podem ter:

Figura 5 - Tipos de distribuições de probabilidades



Fonte: Assaf Neto, 2003, p. 205

Conforme mencionado anteriormente, no presente trabalho considerou-se uma distribuição triangular, pois é frequentemente usada para modelar o risco do negócio. Então, neste modelo todas as atividades foram identificadas pela distribuição triangular por dispor apenas dos valores otimista (Mínimo), Mais Provável (mais provável) e Pessimista (Máximo). Estes valores foram definidos também pelos especialistas levando em consideração para cada atividade os riscos mapeados (tabela 3).

Todos os valores foram sumarizados no quadro 7 abaixo:

Quadro 7 - Quadro de Avaliação dos riscos nas atividades críticas

ATIVIDADE CRÍTICA	DURAÇÃO PLANEJADA	DURAÇÃO OTIMISTA	DURAÇÃO PROVÁVEL	DURAÇÃO PESSIMISTA	RISCO ASSOCIADO
Supervisão de Montagem	150	135	150	180	CR_02; CR_06
Comissionamento	190	160	190	210	CR_09; CR_15
Término da Operação Assistida e Apoio de Campo	150	140	150	180	CR_09
Compra de Material Crítico	62	50	62	92	CR_02
Inspeção / Testes	7	5	7	22	CR_02
Embalagem / Expedição para o Cliente	4	3	4	19	CR_02
Transporte entrega no Cliente	5	4	5	15	CR_02

Fonte: Autor

Após a identificação dos riscos dentro da zona vermelha, e associado o risco as atividades críticas, também foi realizada uma análise de correlação entre estas atividades a fim de demonstrar que em projetos complexos as atividades críticas tendem a se correlacionar e, conseqüentemente influenciar no prazo total do projeto.

A correlação refere-se à relação estatística entre duas variáveis, que indica até que ponto duas ou mais variáveis flutuam juntas. No contexto de atividades críticas, uma correlação positiva significa que o aumento da duração de uma atividade tende a estar associado ao aumento da duração de outra atividade. Por outro lado, uma correlação negativa significa que um aumento da duração de uma atividade está associado a uma diminuição da duração de outra atividade. Compreender a correlação pode ser útil no gerenciamento de riscos, pois ajuda a identificar riscos potenciais e alocar recursos de forma eficaz para mitigá-los.

Novamente através do brainstorming com os especialistas, foi identificada os seguintes índices de correlação conforme quadro 8 a seguir:

Quadro 8 – Correlação entre as atividades críticas

	1	2	3	4	5	6	7
	Comissionamento	Compra de Material Crítico	Embalagem / Expedição para o Cliente	Inspeção / Testes	Supervisão de Montagem	Término da Operação Assistida e Apoio de Campo	Transporte entrega no Cliente
a Comissionamento	1						
b Compra de Material Crítico	0,4531	1					
c Embalagem / Expedição para o Cliente	0,1	0,1	1				
d Inspeção / Testes	0,9	0,5	0,0908	1			
e Supervisão de Montagem	0,8	0,1	0,0813	0,7224	1		
f Término da Operação Assistida e Apoio de Campo	0,9	0,4	0,0908	0,8115	0,7224	1	
g Transporte entrega no Cliente	0,5	0,2	0,0517	0,4531	0,4051	0,4531	1

Fonte: Autor

Os índices acima foram definidos analisando a influência que uma atividade tem sobre a outra, dentro de uma faixa de -1 a 1. Nota-se que a correlação existe sempre de maneira positiva, ou seja, quando aumenta uma duração da atividade, sua correlacionada ou aumenta a duração ou inicia mais tarde, isto é, se tratando de atividades críticas este aumento ou deslocamento no tempo aumenta o prazo do projeto total. Portanto, será utilizada na análise.

### 3.2.3 Tratamento dos Dados

Para a elaboração do cronograma foi analisado o escopo do projeto, que está presente na EAP anexa, de forma a definir todas as etapas que consumiriam tempo no projeto. Para cada atividade crítica deve-se definir um valor mínimo, mais provável e máximo de duração, a partir das reuniões com as áreas. Foi definido que os valores de tempo desse projeto seriam em dias, sendo assim o “dia” a unidade de medida do cronograma. Além, dos prazos foi definido uma disposição lógica de dependência entre as atividades. Com as informações coletadas, a próxima etapa foi a exportação desses dados para um software adequado para a análise dos prazos e dependências de um projeto. Nesse caso, foi utilizada a ferramenta MSproject, na qual as atividades foram dispostas de forma ordenada e com dependência a dependência entre elas representadas. Para a o projeto foi utilizada a data de início de 03 de agosto de 2020.

Para os riscos, a prospecção de fatores de risco foi a partir das reuniões de brainstorming com os especialistas conforme já mencionado anteriormente. Os riscos escolhidos foram os com maior índice de probabilidade vs impacto que podem causar mais atraso no projeto.

Serão realizadas mil iterações no software Cristal Ball seguindo a distribuição triangular, pois esse número de iterações se mostrou adequado em função da simplicidade da distribuição e do número de atividades do cronograma. A distribuição triangular é uma distribuição contínua, além disso, a distribuição triangular é limitada, ou seja, ela define limites mínimos e máximos. Dessa forma, é razoável considerar que há um limite máximo para cada atividade, pois o projeto trabalha com indicadores e metas a serem cumpridos mensalmente.

Outro aspecto da distribuição triangular é a não parametrização, ou seja, não é definida por parâmetros, apenas pelas durações estimadas, máximas e mínimas. Como o trabalho é baseado em dados limitados, a distribuição triangular é uma escolha razoável para aplicação na avaliação de riscos deste trabalho.

É importante ressaltar que o cronograma apresentado para elaboração da EAP não foi atualizado durante a execução do projeto. Logo, ele representa apenas o planejamento inicial do empreendimento.

### **3.2.4 Simulação de Monte Carlo**

A análise de risco do projeto é reconhecida como um dos aspectos mais críticos da programação e gerenciamento do projeto. Inúmeros estudos foram desenvolvidos para prever as durações de execução das tarefas analisando os riscos com o processo de simulação de Monte Carlo (KOULINAS et al., 2020).

Neste contexto, essa etapa compreendeu a simulação dos dados que irão auxiliar no desenvolvimento do modelo, ou seja, o processo de experimentar um sistema físico através de um modelo matemático computadorizado. Nessa etapa um conjunto de componentes que se interagem receberam entradas e ofereceram os resultados como saída.

Para o objetivo proposto nesse trabalho, as variáveis consideradas foi a duração de cada tarefa identificada no caminho crítico para execução do projeto conforme o escopo definido pela EAP do projeto selecionado e os impactos traduzidos em tempo dos riscos potenciais selecionados pela lista de riscos elaborada na etapa de coleta de dados. Esses dados foram ajustados a partir de distribuições probabilísticas, dentre elas foi usado a triangular.

Para transformar essa etapa viável, foi utilizado um software computacional que se apropria dos conceitos probabilísticos do método de Monte Carlo.

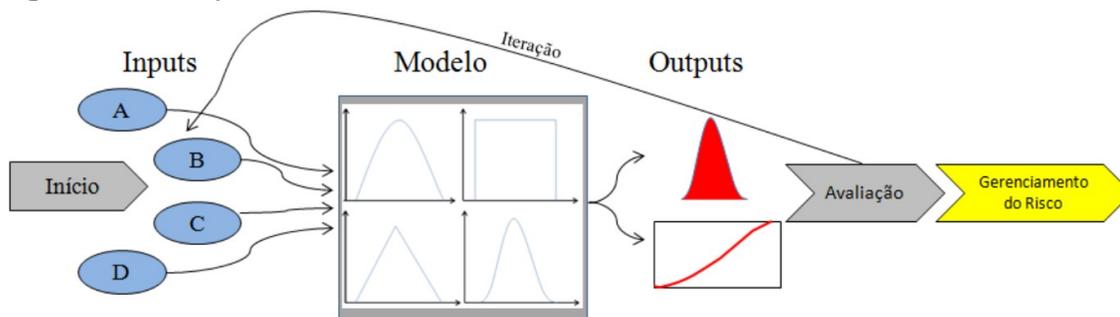
Ao simular o cronograma (sem correlação entre os riscos), foram efetuadas milhares de iterações em cima do modelo, fazendo amostragens da distribuição dos erros de previsão, calculando as possíveis variações de valores resultantes para cada atividade, e registrando-os. Quanto maior o número de interações, mais a distribuição dos valores de saída deve aproximar-se de uma distribuição de probabilidade normal. No caso do modelo proposto, utilizou-se um número de 1000 iterações. Os riscos foram simulados com a distribuição triangular nas atividades consideradas com riscos potenciais e para isso foi utilizado o software Cristal Ball que apropria dos conceitos probabilísticos do método de Monte Carlo. Isto é, no nosso caso, o risco é caracterizado pela sua probabilidade de ocorrência que ditará quando o risco ocorrerá. E com a determinação dos valores de impacto em caso de ocorrência.

Após a simulação do cronograma foi efetuada a simulação com o mesmo número de iterações, considerando as correlações entre os riscos.

Finalmente, quando todas as iterações forem completadas o modelo cria um banco de dados para análise dos valores.

A Figura 6 representa como funciona a Simulação de Monte Carlo, no qual os números aleatórios são gerados e a simulação é realizada. A sua principal característica é a numerosa quantidade de iterações, que leva a resultados próximos à realidade. Com a análise e a avaliação dos riscos, a probabilidade de ocorrência é estimada.

Figura 6 - Simulação de Monte Carlo



Fonte: Autor “adaptado de” Hojjati e Noudehi, 2015, p. 2618

### 3.2.5 Análise dos Resultados

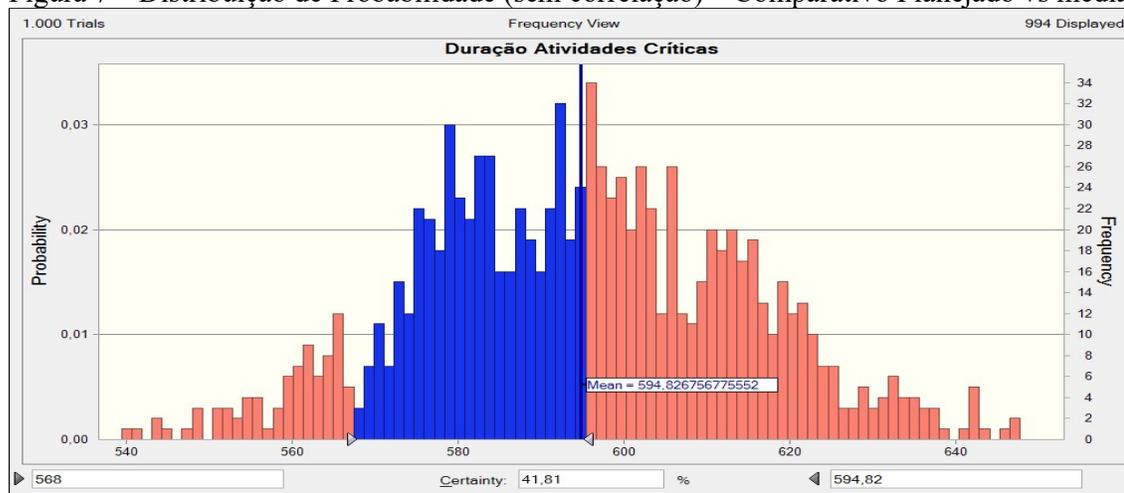
Os resultados da aplicação do método proposto a partir dos dados coletados foram demonstrados nos capítulos abaixo.

#### 3.2.5.1 Simulação sem Correlação entre as atividades críticas

A figura 7 mostra a distribuição de probabilidade gerada a partir da simulação, a qual mostra que existe a probabilidade de **41,81%** das atividades do caminho crítico possuírem a duração entre 568 dias (duração planejada) e 594,82 dias (média).

Obs.: Duração planejada = somatória da coluna DURAÇÃO PROVÁVEL do quadro 7.

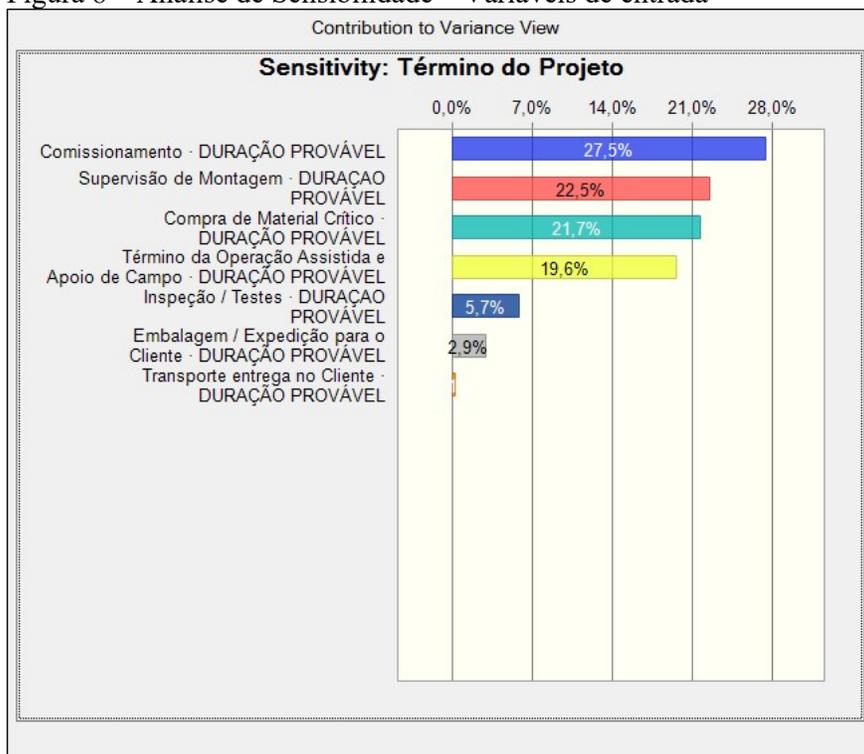
Figura 7 – Distribuição de Probabilidade (sem correlação) – Comparativo Planejado vs média



Fonte: Autor

A figura 8 demonstra que a atividade de Comissionamento é a que mais contribui para a previsão da duração total. Ou seja, a análise de sensibilidade abaixo demonstra que a variação na atividade de Comissionamento é a que mais pode contribuir para a previsão da duração total das atividades críticas. Com isso, demonstra ao gerente do projeto que na atividade de Comissionamento pode ser considerado um estudo com maior profundidade em, por exemplo, uma situação de estipulação de contingência.

Figura 8 – Análise de Sensibilidade – Variáveis de entrada



Fonte: Autor

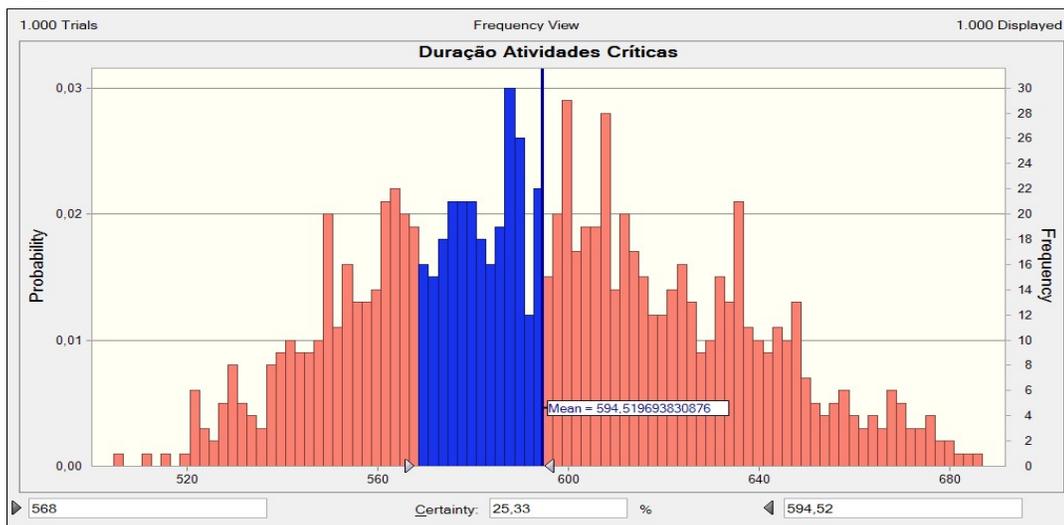
De acordo com o PMBOK® Guide (PMI, 2021), se alguma atividade crítica sofrer atraso, ou aumentar sua duração, o projeto poderá sofrer atraso também, ou seja, a partir dos dados extraídos da simulação é possível avaliar que, com a consideração dos riscos mapeados sem correlação entre eles, o projeto complexo estudado neste trabalho pode sofrer aumento na duração final.

### 3.2.5.2 Simulação com Correlação entre as atividades críticas

A figura 9 mostra a distribuição de probabilidade gerada a partir da simulação, em um primeiro momento, já se nota a aumento da distribuição para um máximo aproximado de 687 dias, ou seja, em torno de 31 dias a mais comparado com a simulação sem correlação.

A simulação também mostra que existe a probabilidade de **25,33%** das atividades do caminho crítico possuírem a duração entre 568 dias (duração planejada) e 594,52 dias (média).

Figura 09 - Distribuição de Probabilidade (com correlação) – Comparativo Planejado vs média



Fonte: Autor

Com isso, pode-se resumir a análise conforme tabela 12 abaixo:

Tabela 4 – Resumo da Análise

	Sem Correlação entre as variáveis	Com Correlação entre as variáveis	$\Delta$
Duração Máxima	656	687	5% ↑
% Entre duração planejada e média	41,81	25,33	35% ↓

Fonte: Autor

Com as informações simuladas e descritas na tabela acima, permite que o gerente do projeto determine contingências para que este projeto seja realizado dentro do prazo, pois em projetos complexos foi identificado que existe correlação entre as atividades críticas e a sua influência no prazo do projeto.

Os resultados indicam que a abordagem desenvolvida é capaz de (i) sintetizar informações de várias fontes na tomada de decisão e lidar com a incerteza em ambientes de projetos complexos.

### 3.2.5.3 Intervalo de Confiança

De acordo com Bevans (2020), quando se faz uma estimativa em estatística, seja uma estatística resumida ou uma estatística de teste, sempre há incerteza em torno dessa estimativa porque o número é baseado em uma amostra da população que você está estudando. O **intervalo de confiança** é o intervalo de valores que você espera que sua

estimativa caia entre uma certa porcentagem do tempo se você executar seu experimento novamente ou amostrar novamente a população da mesma maneira.

O **nível de confiança** é a porcentagem de vezes que você espera reproduzir uma estimativa entre os limites superior e inferior do intervalo de confiança e é definido pelo valor alfa. Um intervalo de confiança é a média de sua estimativa mais e menos a variação dessa estimativa. Este é o intervalo de valores que você espera que sua estimativa caia se você refazer seu teste, dentro de um certo nível de confiança.

Bevans (2020) ressalta ainda que a confiança, em estatística, é outra maneira de descrever a probabilidade. Por exemplo, se for construído um intervalo de confiança com um nível de confiança de 95%, terá certeza de que 95 de 100 vezes a estimativa cairá entre os valores superior e inferior especificados pelo intervalo de confiança. Seu nível de confiança desejado geralmente é um menos o valor alfa ( $\alpha$ ) usado em seu teste estatístico:

$$\text{Nível de confiança} = 1 - \alpha$$

Portanto, se for utilizado um valor alfa de  $p < 0,05$  para significância estatística, seu nível de confiança será  $1 - 0,05 = 0,95$  ou 95%.

Neste contexto, para determinar se a diferença entre a duração máxima com correlação e sem correlação é estatisticamente significativa foi realizado um teste de hipótese. Com base nos dados simulados, a hipótese de igualdade entre as médias foi rejeitada, pois o valor  $p$  é menor que o nível de significância de 0,05 conforme tabela 5 abaixo.

Tabela 5 – Resumo teste hipótese

	<i>sem correlação</i>	<i>com correlação</i>
Duração máxima	656	687
Variância conhecida	386	401
Observações	1000	1000
Hipótese da diferença de média	0	
P(Z<=z) bi-caudal	1,49617E-09	
z crítico bi-caudal	1,959963985	

Fonte: Autor

Definindo o Intervalo de confiança como a porcentagem entre duração planejada e média, através dos dados simulados observou-se que o Intervalo de confiança para os respectivos cenários sem correlação e com correlação são:

$$IC \text{ sem correlação} = (\mu, 95\%) = [540,640]$$

$$IC \text{ com correlação} = (\mu, 95\%) = [520,680]$$

Quanto maior a margem de erro, maior é o intervalo, e menos certeza você pode ter sobre o valor da estimativa do ponto. Assim, explica-se o fato do cenário sem correlação apresentar um nível de certeza maior (41,81%) comparado com cenário com correlação (25,33%).

Com as informações simuladas e descritas nas tabelas acima, permite que o gerente do projeto determine contingências para que este projeto seja realizado dentro do prazo, pois em projetos complexos foi identificado que existe correlação entre as atividades críticas e a sua influência no prazo do projeto.

Os resultados indicam que a abordagem desenvolvida é capaz de (i) sintetizar informações de várias fontes na tomada de decisão e lidar com a incerteza em ambientes de projetos complexos.

## 4 CONCLUSÃO

O presente trabalho discutiu uma metodologia para identificação e avaliação de riscos de atraso por atividade crítica bem como sua correlação em um projeto de fornecimento de 3 (três) subestações de energia para alimentação de máquinas e motores essenciais para o funcionamento de uma planta de filtragem de rejeitos de uma barragem em uma mineradora localizada em Itabira/MG.

Considerando a complexidade e sua função estratégica o projeto necessita de uma análise de riscos adequada, pois o atraso reflete em grandes impactos para os stakeholders internos e externos ao projeto.

O resultado da análise quantitativa dos riscos, que informa as probabilidades e impacto dos riscos identificados, foram cruciais para a conclusão deste trabalho, representando assim ganhos para a gestão de riscos na medida em que demonstram em quais atividades os eventos de riscos são mais prováveis e impactantes.

Talvez a principal limitação no processo de identificação dos riscos, esteja no caráter qualitativo da identificação, priorização e tratamento das incertezas. Como o processo começa e termina na análise qualitativa, não há instrumentos - além da intuição e experiência dos profissionais - que permitam avaliar quantitativamente as chances de ocorrência, os impactos dos riscos e, conseqüentemente, qual deve ser a sua influência no prazo requerido do projeto.

Uma prática que contribui para diminuir tal limitação é o brainstorming com todas as áreas envolvidas no projeto através de pessoas com um nível elevado de conhecimento neste tipo de projeto. Tal técnica é aplicada com o intuito de gerar ideias e promover criatividade e colaboração, sendo estes essenciais para uma identificação de riscos assertiva.

O objetivo principal deste trabalho é verificar e analisar os riscos no prazo de um projeto complexo, visto que a análise de riscos nos prazos é extremamente importante em projetos complexos porque ajudam a garantir que o projeto seja concluído dentro de um prazo razoável e que todas as partes interessadas fiquem satisfeitas com o resultado. Por isso, os resultados obtidos neste trabalho sugerem que os riscos identificados bem como as atividades críticas sejam analisados de uma maneira mais correlacionada, porque assim pode ajudar a empresa e/ou dono do projeto a tomada de decisões onde o prazo seja o principal na ordem de prioridades.

Inicialmente foram identificados os riscos através do brainstorming com os especialistas, bem como sua hierarquização levando em consideração sua probabilidade e impacto. Após isso foram separados os riscos com maiores índices de criticidade, isto é, maior

valor de probabilidade vs impacto. A construção do índice de criticidade de risco permite ao gestor do projeto priorizar o controle das atividades com o maior risco de atraso, e a simulação de Monte Carlo fornece uma probabilidade de término do projeto para que o gestor possa planejar e controlar o avanço físico e a entrega do projeto.

Já com as atividades críticas identificadas a partir do cronograma do projeto, foram aplicados os riscos com maiores índices e que tenham influência nas atividades críticas e então realizada a Simulação de Monte Carlo nas atividades críticas a fim de demonstrar resultados para a tomada de decisão do gestor do projeto complexo onde o prazo é o principal fator de decisão.

Com isso, este trabalho tenta preencher a lacuna identificada de estudos onde o prazo é o principal fator para tomada de decisão e gestão de riscos nos projetos complexos, apresentando um método para permitir que os gerentes de projeto selecionem o cronograma do projeto com a maior probabilidade de cumprir o prazo. Para isso, foi integrado o risco do projeto no cronograma, quantificando o risco associado a todas as atividades críticas.

A simulação de Monte Carlo nas atividades críticas sem e com correlação entre elas foram essenciais porque foi possível identificar que correlação entre as atividades críticas, o projeto tende a piorar a certeza de que estas atividades não sofrerão alteração em sua duração, conseqüentemente aumentando a probabilidade de o projeto não terminar no prazo. Portanto, a simulação de Monte Carlo pode auxiliar os gerentes de projeto a estimar o valor de contingência a ser alocado ao seu projeto para mitigar o risco de estouro de prazo do projeto, pois são realizadas de forma ágil e os gráficos gerados contribuem para comunicar o resultado probabilístico à diretoria e aos clientes da empresa. A metodologia proposta forneceu respostas para as seguintes perguntas: (1) Qual é o prazo mais provável? (2) Qual a probabilidade da baseline ser excedida? (3) Quanta contingência é necessária para o projeto garantir que prazo do projeto não seja excedido em um determinado nível de confiança?

Quanto aos resultados obtidos pela simulação, vale destacar que quando a simulação leva em consideração a correlação entre as variáveis de atividades críticas, percebe-se uma grande diminuição (35%) da certeza de que as durações destas atividades terminarão no prazo planejado. Vale ressaltar que quando falamos de atividades críticas em projetos complexos, qualquer alteração no prazo final pode ser de grande impacto para os stakeholders. Deixando assim, uma melhor informação para que o gerente do projeto estime suas contingências de forma mais assertiva.

Dentre as limitações deste trabalho pode-se destacar que a Simulação de Monte Carlo provavelmente não constitui um processo trivial, principalmente em uma empresa sem

familiaridade com métodos desta natureza, em especial nos detalhes estatísticos. Neste trabalho se procurou conduzir tanto a modelagem, quanto a análise dos resultados, sob o ponto de vista de um profissional inserido no dia a dia de uma empresa, portanto o rigor teórico refletido nas modelagens é, certamente, mais limitado.

Outro ponto importante, para um profissional sem conhecimento profundo de teoria das probabilidades, é o processo de estimativa das distribuições. Tal estimativa exige a disponibilidade de dados históricos sobre a variável ou experiência sobre o comportamento do fenômeno analisado, mesmo quando o profissional dispõe de tal conhecimento ou habilidade, nem sempre ele está apto a traduzir tal experiência em um conjunto de tipos e parâmetros de distribuições de probabilidade. Além disso, tanto o profissional mais experiente, quanto o cientista, estão sujeitos a desvios nas estimativas, tal como excesso de confiança. Por isso, um mínimo de conhecimento estatístico é necessário para a interpretação dos resultados da simulação de Monte Carlo. Noções de amostragem aleatória, intervalos de confiança, correlação, estatística descritiva, inferência estatística e testes estatísticos são necessárias para uma correta compreensão dos resultados e, principalmente, de suas limitações. A simulação de Monte Carlo é um experimento de geração de cenários, com base na amostragem aleatória de variáveis que, presumivelmente, refletem os riscos do projeto. Mesmo que as variáveis modeladas constituam um retrato fiel das incertezas, a natureza probabilística da simulação não implica que seus resultados sejam, necessariamente, um reflexo do que realmente acontecerá no projeto (mesmo porque várias simulações de um mesmo modelo fornecem resultados distintos, apesar de próximos, em geral).

Outra limitação deste trabalho é que pelo próprio conceito de projeto, são únicos. Ou seja, este trabalho é um recorte de um projeto com um comportamento específico, mesmo assim, com grande relevância para os futuros projetos de mesma natureza.

Para pesquisas futuras, destaca-se a necessidade de um estudo de como o resultado da análise de riscos e simulações realizadas podem refletir não somente em um contexto de prazo do projeto, mas também o impacto (físico e financeiro) avalizando as externalidades, por exemplo, impacto social, reputação da empresa e posicionamento da mesma perante ao mercado

Contudo, o estudo apresentou-se como uma boa alternativa para auxiliar os gestores na tomada de decisão em projetos que o prazo é a prioridade, pois o mesmo permite averiguar a probabilidade dos riscos afetarem um projeto complexo, e ainda permite a verificação dos riscos presentes nessas supostas variações.

## REFERÊNCIAS

- ACEBES, F. et al. On the project risk baseline: Integrating aleatory uncertainty into project scheduling. **Computers & Industrial Engineering**, v. 160, p. 1-11, Oct. 2021.
- ASSAF NETO, A. **Finanças corporativas e valor**. São Paulo: Atlas, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 31010: **Gestão de Riscos – Técnicas para o processo de Avaliação de riscos**. Rio de Janeiro, p. 19. 2012.
- AZIZ, K. K.; JHA, K. N. Ranking of delay factors in construction projects after Egyptian revolution. **Alexandria Engineering Journal**, v. 52, p. 387-406, 2013.
- BAUDRIT, C. et al. Uncertainty processing and risk monitoring in construction projects using hierarchical probabilistic relational models. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, v. 34, n. 2, p. 97- 115, 2019.
- BEVANS, R. Understanding Confidence Intervals | Easy Examples & Formulas, 2020. **Disponível em:** <<https://www.scribbr.com/statistics/confidence-interval/>>. **Acesso em:** 02 dez. 2022. 21:44.
- BOUAYED, Z. **Using Monte Carlo simulation to mitigate the risk of project cost overruns**. International Journal of Safety and Security Engineering, v. 6, p. 293–300, 2016.
- BREALEY, R.; MYERS, S. **Principles of corporate finance**. 6th ed. Irwin: McGraw-Hill, 2000.
- CALIENDO, C.; GUGLIELMO, M. Quantitative risk analysis on the transport of dangerous goods through a bi-directional road tunnel. **Risk Analysis**, v. 37, p. 116-1129, 2017.
- CALLISTUS, T.; CLINTON, A. The role of monitoring and evaluation in construction project management. **Intelligent Human Systems Integration**, v. 722, 2018.
- CARVALHO, T. **Você sabe o que é um projeto complexo? Aprenda a identificar e gerenciar!** 2020. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/projetos-complexos>>. Acesso em: 12 mar. 2022. 23:37.
- CEREZO-NARVÁEZ, A. et al. Knowledge as an Organizational Asset for Managing Complex Projects: The Case of Naval Platforms. **MDPI and ACS Style**, v. 13, 2021.
- CHEALI, P. et al. Economic risk analysis and critical comparison of optimal biorefinery concepts. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 10, n. 4, p. 435-445, 2016.
- CHENG, M. et al. Fuzzy Bayesian schedule risk network for offshore wind turbine installation. **Ocean Engineering**, v. 188, p. 1-19, sep. 2019.
- CREEMERS, S.; DEMEULEMEESTER, E.; VAN DE VONDER, S. A new approach for quantitative risk analysis. **Annals of Operations Research**, v. 213, p. 27–65, 2014.

- CRISTÓBAL, J. et al. Complexity and Project Management: A General Overview. **Complexity**, v. 2018, p. 1-11, 10 Oct. 2018.
- DENGSHENG, W. et al. A multiobjective optimization method considering process risk correlation for project risk response planning. **Information Sciences**, v. 467, p. 282-295, 2018.
- DESHMUKH, G. K.; MUKERJEE, H. S.; PRASAD, U. D. Risk management in global CRM IT projects. **Business Perspectives and Research**, v. 8, n. 1, p. 156-172, jul. 2020.
- DESIGNING BUILDINGS. **Complex Projects**. 2022. Disponível em: <[https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Complex\\_project](https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Complex_project)>. Acesso em: 13 nov. 2022. 22:43:11.
- ERIKSSON, E.; LARSSON, J.; PESAMAA, O. Managing complex projects in the infrastructure sector — A structural equation model for flexibility-focused project management. **International Journal of Project Management**, v. 35, p. 1512-1523, 2017.
- FLYVBJERG, B. What you should know about megaprojects and why. **Project Management Journal**, v. 45, p. 6–19, 2014.
- HERTOGH, M.; WESTERVELD, E. Playing with Complexity. Management and organization of large infrastructure projects. **Erasmus University Rotterdam**, 2010.
- HOJJATI, S.; NOUDEHI, N. The use of Monte Carlo simulation in quantitative risk assessment of IT projects. **Int. J. Advanced Networking and Applications**, 2015.
- ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 31000:2018**. Risk management - Principles and Guidelines. Geneva, fev. 2018.
- KASSEM, M.; HAMZAH, M. Using probability impact matrix (PIM) in analyzing risk factors affecting the success of oil and gas construction projects in Yemen. **International Journal of Energy Sector Management**, v. 14, n. 3, p. 527-546, 2020.
- KESHK, A.; MAAROUF, I.; ANNANY, Y. Special studies in management of construction project risks, risk concept, plan building, risk quantitative and qualitative analysis, risk response strategies. **Alexandria Engineering Journal**, v. 57, n. 4, p. 3179-3187, Dec. 2018.
- KOULINAS, G. et al. Schedule Delay Risk Analysis in Construction Projects with a Simulation-Based Expert System. **Buildings**, v. 10, n. 134, p. 1-19, 23 Jul. 2020.
- KWAK, Y.; INGALL, L. Exploring Monte Carlo Simulation Applications for Project Management. **Risk Management**, v. 9, n. 1, p. 44-57, 2007.
- LARSEN, J. K. et al. Factors affecting schedule delay, cost overrun, and quality level in public construction projects. **Journal of Management in Engineering**, v. 32, n. 1, p. 1-10, 2016.
- LEE, J.; KIM, Y. Analysis of cost-increasing risk factors in modular construction in Korea using FMEA. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 21, n. 6, p. 1999-2010, 2017.

MAXIMIANO, A. **Introdução administração**. São Paulo: Atlas, 2008.

MOGRE, R.; TALLURI, T.; D'AMICO, F. A Decision Framework to Mitigate Supply Chain Risks: an Application in the Offshore-Wind Industry. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 63, n. 3, p. 316-325, 2016.

MUNEESWARAN, G. et al. A statistical approach to assess the schedule delays and risks in Indian construction industry. **International Journal of Construction Management**, v. 20, n. 5, p. 450-461, 2018.

NABAWY, M.; KHODEIR, L. Achieving efficiency in quantitative risk analysis process – Application on infrastructure projects. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 12, n. 2, p. 2303-2311, 2020.

NAPOLEÃO, B. **Matriz de Riscos (Matriz de Probabilidade e Impacto)**. 2019. Disponível em: <<https://ferramentasdaqualidade.org/>>. Acesso em: 22 jan. 2023. 21:58:19.

PAN, Y. et al. Modeling risks in dependent systems: A Copula-Bayesian approach. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 188, p. 416-431, Aug. 2019.

PARK, K. et al. Project Risk factors facing construction management firms. **International Journal of Civil Engineering**, v. 17, n. 3, p. 305–321, 2019.

PERRENOUD, A. et al. Project risk distribution during the construction phase of small building projects. *Journal of Management in Engineering*, v. 32, n. 3, p. 1-7, 2016.

PMI – PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **PMBOK - Um Guia do Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos**. 7. ed. Pennsylvania, USA: Newton Square, 2021.

PERMINOVA, O.; GUSTAFSSON, M.; WIKSTROM, K. Defining Uncertainty in Projects – A New Perspective. **International Journal of Project Management**, v. 26, n.1, p. 73-79, Jan. 2008.

RUBIN, D.; RUBENSTONE, J. **2020 Vision: Biggest Construction Stories of the Last Decade** 16 jan. 2020. Disponível em: < <https://www.enr.com/articles/48416-vision-biggest-construction-stories-of-the-last-decade>>. Acesso em: 13 nov. 2021. 21:26.

SAMANEZ, Carlos Patrício. **Engenharia Econômica**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

SOBIERAJ, J.; METELSKI, D.; NOWAK, P. The View of Construction Companies' Managers on the Impact of Economic, Environmental and Legal Policies on Investment Process Management. **Archives of Civil Engineering**, v. 67, n. 1, p. 111–129, 2021.

SHENHAR, J.; WIDEMAN, M. Optimizing success by matching management style to project type. **PM World Journal**, v. 9, n. 11, p. 1-21, Nov. 2000.

SOBIERAJ, J. **Investment project management on the housing construction market.** Spain: Aurum Universitas Grupo Hespérides, 2020.

SOBIERAJ, J.; METELSKI, D. Project risk in the context of construction schedules - combined Monte Carlo simulation and Time at Risk (TaR) approach: insights from the fort bema housing estate complex. **Applied. Sciences**, v. 12, n. 3, p. 1044, 2022.

TAMBE, P. P.; KULKARNI, M. S. Selective maintenance optimization under schedule and quality constraints. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 33, n. 7, p. 1030-1059, 2016.

TAN, W. Knowledge management in the construction industry: the strategy of Singapore. **International Journal of Construction Management**, v. 15, n. 1, p. 10-16, 2015.

TAROUN, A. Towards a better modelling and assessment of construction risk: Insights from a literature review. **International Journal of Project Management**, v. 32, n. 1, p. 101-115, 2014.

TELLER, J.; KOCK, A. An empirical investigation on how portfolio risk management influences project portfolio success. **International Journal of Project Management**, v. 31, n. 6, p. 817-829, 2013.

TEPELI, E.; TAILLANDER, F.; BREYSSE, D. Multidimensional modelling of complex and strategic construction projects for a more effective risk management. **International Journal of Construction Management**, v. 21, n. 12, p. 1218-1239, 2019.

THAMHAIN, H. Managing Risks in Complex Projects. **Project Management Journal**, v. 44, p. 20-35, 2013.

TRIPATHI, K.; JHA, K. An empirical study on factors leading to the success of construction organizations in India. **International Journal of Construction Management**, v. 19, n. 3, p. 222-239, 2018.

URGILÉS, P.; CLAVER, J.; SEBASTIÁN, M. Methods for quantitative risks analysis of cost and deadline overruns in complex projects. **Procedia Manufacturing** v. 41, 2019.

WANG, F. et al. Knowledge representation using nonparametric Bayesian networks for tunneling risk analysis. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 191, p. 1-16, Nov. 2019.

WANHUA, Z.; RUIYU, L. Study on Engineering Project Investment Risk Measure Based on Monte Carlo Method. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION MANAGEMENT, INNOVATION MANAGEMENT, AND INDUSTRIAL ENGINEERING, 2008, Taiwan. **Anais eletrônicos...** Canada: IEEE Explore, 2009. p. 407-411. Doi: 10.1109/ICIM.2008.312. Acesso em: 12 nov 2022.

WHITTY, J.; MAYLOR, H. And then came Complex Project Management (revised). **International Journal of Project Management**, v. 27, n. 3, p. 304-310, 2009.

WIDEMAN, M. **A Framework for Project and Program Management Integration.** Newtown Square, PA: Project Management Institute: III-1, 1991.

WILLIAMS, T. The nature of risk in complex projects. **Project Management Journal**, v. 48, n. 4, p. 55–66, 2017.

XIE, L.; HAN, T.; SKITMORE, M. Governance of relationship risks in megaprojects: A social network analysis. **Advances in Civil Engineering**, v. 2, p. 1-13, Sep. 2019.

YANG, L.; LOU, J.; ZHAO, X. Risk response of complex projects: risk association network method. **Journal of Management in Engineering**, v. 37, n. 4, p. 1-15, Jul. 2021.

ZHENG, Z.; ZIO, E. A classification-based framework for trustworthiness assessment of quantitative risk analysis. **Safety Science**, v. 99, part B, p. 215–226, Nov. 2017.

ZHANG, L.; WANG, Y.; WU, X. Cluster-based information fusion for probabilistic risk analysis in complex projects under uncertainty. **Applied Soft Computing Journal**, v. 104, p. 1-14, Jun. 2021.

## **APÊNDICE A - EAP do projeto**

WBS	Subestação	Tag	Task Name
1			4 FILTRAGEM DE REJEITOS
1.1			4 PARTE COMERCIAL
1.1.1	GERAL		Assinatura do Contrato
1.1.2	GERAL		Kick-Off Meeting
1.2			4 PARTE TÉCNICA
1.2.1			4 PLANEJAMENTO E CONTROLE
1.2.1.1	GERAL		Emissão de Cronograma Geral
1.2.1.2	GERAL		Emissão EAP
1.2.1.3	GERAL		Emissão Lista de documentos (LDP)
1.2.2			4 SERVIÇOS DE ENGENHARIA
1.2.2.1			4 PROJETOS
1.2.2.1.1			▾ PROJETOS DETALHADOS DE ELÉTRICA
1.2.2.1.2			▾ ENGENHARIA DETALHADA MULTIDISCIPLINAR
1.2.2.2			4 SERVIÇOS DE ENGENHARIA
1.2.2.2.1			▾ SERVIÇOS DE ENGENHARIA DE DESENVOLVIMENTO, CONFIGURAÇÃO E PARAMETRIZAÇÃO DE SISTEMAS
1.2.2.2.2	GERAL		▾ SERVIÇOS DE CAMPO
1.2.3			4 FABRICAÇÃO E MONTAGEM
1.2.3.1	SE-1875CC-02		4 Fabricação dos Equipamentos SE-1875CC-02
1.2.3.1.1	SE-1875CC-02	MC-1875CC-26	▾ Painel CCM BT
1.2.3.1.2	SE-1875CC-02	MC-1875CC-27	▾ Painel CCM BT
1.2.3.1.3	SE-1875CC-02	MC-1875CC-28	▾ Painel CCM BT
1.2.3.1.4	SE-1875CC-02	MC-1875CC-29	▾ Painel CCM BT
1.2.3.1.5	SE-1875CC-02	MC-1875CC-30	▾ Painel CCM BT
1.2.3.1.6	SE-1875CC-02	MC-1875CC-31	▾ Painel CCM BT
1.2.3.1.7	SE-1875CC-02	MC-1875CC-32	▾ Painel CCM BT
1.2.3.1.8	SE-1875CC-02	MC-1875CC-33	▾ Painel CCM BT
1.2.3.1.9	SE-1875CC-02	MC-1875CC-34	▾ Painel CCM BT
1.2.3.1.10	SE-1875CC-02	MC-1875CC-35	▾ Painel CCM BT
1.2.3.1.11	SE-1875CC-02	MC-1875CC-36	▾ Painel CCM BT
1.2.3.1.12	SE-1875CC-02	MC-1875CC-37	▾ Painel CCM BT
1.2.3.1.13	SE-1875CC-02	MC-1875CC-38	▾ Painel CCM BT
1.2.3.1.14	SE-1875CC-02	MC-1875CC-39	▾ Painel CCM BT
1.2.3.1.15	SE-1875CC-02	MC-1875CC-40	▾ Painel CCM BT
1.2.3.1.16	SE-1875CC-02	MC-1875CC-41	▾ Painel CCM BT
1.2.3.1.17	SE-1875CC-02	MC-1875CC-42	▾ Painel CCM BT
1.2.3.1.18	SE-1875CC-02	MC-1875CC-43	▾ Painel CCM BT

WBS	Subestação	Tag	Task Name
1.2.3.1.19	SE-1875CC-02	MC-1875CC-44	▾ Painel CCM BT
1.2.3.1.20	SE-1875CC-02	MC-1875CC-45	▾ Painel CCM BT
1.2.3.1.21	SE-1875CC-02	MC-1875CC-21	▾ Painel CCM MT
1.2.3.1.22	SE-1875CC-02	MC-1875CC-22	▾ Painel CCM MT
1.2.3.1.23	SE-1875CC-02	MC-1875CC-23	▾ Painel CCM MT
1.2.3.1.24	SE-1875CC-02	MC-1875CC-24	▾ Painel CCM MT
1.2.3.1.25	SE-1875CC-02	MC-1875CC-25	▾ Painel CCM MT
1.2.3.1.26	SE-1875CC-02	MC-1875CC-46	▾ Painel CCM MT
1.2.3.1.27	SE-1875CC-02	QD-1875CC-22	▾ Quadro de Distribuição BT
1.2.3.1.28	SE-1875CC-02	QD-1875CC-23	▾ Quadro de Distribuição BT
1.2.3.1.29	SE-1875CC-02	QD-1875CC-24	▾ Quadro de Distribuição BT
1.2.3.1.30	SE-1875CC-02	QD-1875CC-21	▾ Quadro de Distribuição MT
1.2.3.1.31	SE-1875CC-02	QD-1875CC-25	▾ Quadro de Distribuição MT
1.2.3.1.32	SE-1875CC-02	QD-1875CC-26	▾ Quadro de Distribuição MT
1.2.3.1.33	SE-1875CC-02	QL-1875CC-21	▾ Quadro de iluminação
1.2.3.1.34	SE-1875CC-02	PL-1875CC-21	▾ Painel de iluminação
1.2.3.1.35	SE-1875CC-02	RS-1875CC-21	▾ Resistor de Aterramento, 4,16/2,4kV
1.2.3.1.36	SE-1875CC-02	RS-1875CC-22	▾ Resistor de Aterramento, 4,16/2,4kV
1.2.3.1.37	SE-1875CC-02	RS-1875CC-23	▾ Resistor de Aterramento, 4,16/2,4kV
1.2.3.1.38	SE-1875CC-02	RS-1875CC-24	▾ Resistor de Aterramento, 480/277V
1.2.3.1.39	SE-1875CC-02	RS-1875CC-25	▾ Resistor de Aterramento, 480/277V
1.2.3.1.40	SE-1875CC-02	RS-1875CC-26	▾ Resistor de Aterramento, 480/277V
1.2.3.1.41	SE-1875CC-02	RS-1875CC-27	▾ Resistor de Aterramento, 480/277V
1.2.3.1.42	SE-1875CC-02	RS-1875CC-28	▾ Resistor de Aterramento, 480/277V
1.2.3.1.43	SE-1875CC-02	RS-1875CC-29	▾ Resistor de Aterramento, 480/277V
1.2.3.1.44	SE-1875CC-02	RS-1875CC-30	▾ Resistor de Aterramento, 480/277V
1.2.3.1.45	SE-1875CC-02	NB-1875CC-25	▾ Nobreak 480-220Vca, 30kVA + BB
1.2.3.1.46	SE-1875CC-02	NB-1875CC-26	▾ Nobreak 480-220Vca, 30kVA + BB
1.2.3.1.47	SE-1875CC-02	NB-1875CC-21	▾ Nobreak 480-220Vca, (100+20)kVA + BB
1.2.3.1.48	SE-1875CC-02	OR-1875CC-21	▾ Retificador / Carregador de baterias
1.2.3.1.49	SE-1875CC-02	BT-1875CC-21	▾ Banco de Baterias 125Vcc, 150Ah
1.2.3.1.50	SE-1875CC-02	PI-1875CC-31	▾ Painel de inversor de frequência BT
1.2.3.1.51	SE-1875CC-02	PI-1875CC-32	▾ Painel de inversor de frequência BT
1.2.3.1.52	SE-1875CC-02	PI-1875CC-33	▾ Painel de inversor de frequência BT
1.2.3.1.53	SE-1875CC-02	PI-1875CC-34	▾ Painel de inversor de frequência BT
1.2.3.1.54	SE-1875CC-02	PI-1875CC-35	▾ Painel de inversor de frequência BT



WBS	Subestação	Tag	Task Name
1.2.3.1.127	SE-1875CC-02	TL-1875CC-21	Transformador de Iluminação à Seco (Verificar prazo)
1.2.3.1.128	SE-1875CC-02	GE-1875CC-21	Gerador de emergência - GE-1875CC
1.2.3.1.129	SE-1875CC-02	GE-1875CC-22	Gerador de emergência - GE-1875CC
1.2.3.1.130	SE-1875CC-02	PB-1875CC-22	Painel de automação de subestação – PB-1875CC
1.2.3.1.131	SE-1875CC-02	PO-1875CC-21	Estação de operação – PO-1875CC
1.2.3.1.132	SE-1875CC-02	PB-1875CC-41	Sistema de Controle de Acesso
1.2.3.1.133	SE-1875CC-02	CFTV-SE-1875CC	Sistema de CFTV
1.2.3.1.134	SE-1875CC-02	QA-1875CC-01	Sistema de detecção e alarme de incêndio (SDAI)
1.2.3.1.135	SE-1875CC-02	HVAC-SE-1875CC	Sistema de Climatização
1.2.3.1.136	SE-1875CC-02	SE-1875CC-02	Entrega dos Equipamentos
1.2.3.2	SE-1865CC-01		Fabricação dos Equipamentos SE-1865CC-01
1.2.3.2.1	SE-1865CC-01	MC-1865CC-02	Painel CCM BT
1.2.3.2.2	SE-1865CC-01	MC-1865CC-01	Painel CCM MT
1.2.3.2.3	SE-1865CC-01	QD-1865CC-02	Quadro de Distribuição BT
1.2.3.2.4	SE-1865CC-01	QD-1865CC-01	Quadro de Distribuição MT
1.2.3.2.5	SE-1865CC-01	QL-1865CC-01	Quadro de Iluminação
1.2.3.2.6	SE-1865CC-01	RS-1865CC-01	Resistor de Aterramento, 4,16/2,4kV
1.2.3.2.7	SE-1865CC-01	RS-1865CC-02	Resistor de Aterramento, 480/277V
1.2.3.2.8	SE-1865CC-01	NB-1865CC-01	Nobreak 480-220Vca, 5kVA
1.2.3.2.9	SE-1865CC-01	NB-1865CC-11	Nobreak 480-220Vca, (10+10) kVA + BB
1.2.3.2.10	SE-1865CC-01	PA-1865CC-11	Painel de distribuição de tensão de controle
1.2.3.2.11	SE-1865CC-01	TF-1865CC-01	Transformador de Força à Óleo 3 MVA
1.2.3.2.12	SE-1865CC-01	TF-1865CC-02	Transformador de Força à Óleo 112,5 KVA
1.2.3.2.13	SE-1865CC-01	TL-1865CC-01	Transformador de Iluminação à Seco
1.2.3.2.14	SE-1865CC-01	PB-1865CC-21	Painel de automação de subestação
1.2.3.2.15	SE-1865CC-01	PO-1865CC-21	Estação de operação
1.2.3.2.16	SE-1865CC-01	PB-1865CC-41	Sistema de Controle de Acesso
1.2.3.2.17	SE-1865CC-01	QA-1865CC-01/	Sistema de detecção e alarme de incêndio (SDAI)
1.2.3.2.18	SE-1865CC-01	ST-1875CC-40	Sistema de Climatização
1.2.3.2.19	SE-1865CC-01	CFTV-SE-1865CC	Sistema de CFTV
1.2.3.2.20	SE-1865CC-01	SE-1865CC-01	Fabricação Eletrocentro
1.2.3.2.21	SE-1865CC-01	SE-1865CC-01	Sistema de Integração do Eletrocentro
1.2.3.2.22	SE-1865CC-01	SE-1865CC-01	Entrega do Eletrocentro
1.2.3.3	SE-1875CC-03		Fabricação dos Equipamentos SE-1875CC-03
1.2.3.3.1	SE-1875CC-03	MC-1875CC-61	Painel CCM BT
1.2.3.3.2	SE-1875CC-03	MC-1875CC-62	Painel CCM BT
1.2.3.3.3	SE-1875CC-03	MC-1875CC-60	Painel CCM MT
1.2.3.3.4	SE-1875CC-03	QD-1875CC-40	Quadro de Distribuição MT
1.2.3.3.5	SE-1875CC-03	QD-1875CC-41	Quadro de Distribuição BT
1.2.3.3.6	SE-1875CC-03	QL-1875CC-40	Quadro de Iluminação
1.2.3.3.7	SE-1875CC-03	PL-1875CC-40	Painel de Iluminação
1.2.3.3.8	SE-1875CC-03	RS-1875CC-40	Resistor de Aterramento, 4,16/2,4kV
1.2.3.3.9	SE-1875CC-03	NB-1875CC-40 /	Nobreak 480-220Vca, 20kVA
1.2.3.3.10	SE-1875CC-03	NB-1875CC-51	Nobreak 480-220Vca, (20+20)kVA
1.2.3.3.11	SE-1875CC-03	PI-1875CC-106	Painel de inversor de frequência BT
1.2.3.3.12	SE-1875CC-03	PI-1875CC-107	Painel de inversor de frequência BT
1.2.3.3.13	SE-1875CC-03	PI-1875CC-108	Painel de inversor de frequência BT
1.2.3.3.14	SE-1875CC-03	PI-1875CC-109	Painel de inversor de frequência BT
1.2.3.3.15	SE-1875CC-03	PI-1875CC-110	Painel de inversor de frequência BT
1.2.3.3.16	SE-1875CC-03	PI-1875CC-100	Painel de inversor de frequência MT
1.2.3.3.17	SE-1875CC-03	PI-1875CC-101	Painel de inversor de frequência MT
1.2.3.3.18	SE-1875CC-03	PI-1875CC-102	Painel de inversor de frequência MT
1.2.3.3.19	SE-1875CC-03	PI-1875CC-103	Painel de inversor de frequência MT
1.2.3.3.20	SE-1875CC-03	PI-1875CC-104	Painel de inversor de frequência MT
1.2.3.3.21	SE-1875CC-03	PI-1875CC-105	Painel de inversor de frequência MT
1.2.3.3.22	SE-1875CC-03	PA-1875CC-40	Painel de distribuição de tensão de controle
1.2.3.3.23	SE-1875CC-03	QD-1870CC-01	Quadro de transferência automática do Gerador (Incorporado ao MC-1875-CC-62)
1.2.3.3.24	SE-1875CC-03	PA-1875CC-51	Quadro de distribuição de controle
1.2.3.3.25	SE-1875CC-03	TF-1875CC-41	Trafo de Força à Óleo 2MVA
1.2.3.3.26	SE-1875CC-03	TF-1875CC-40	Transformador de Força à Óleo 10/12 MVA
1.2.3.3.27	SE-1875CC-03	TL-1875CC-40	Transformador de Iluminação à Seco
1.2.3.3.28	SE-1875CC-03	GE-1875CC-40	Gerador de emergência - GE-1875CC
1.2.3.3.29	SE-1875CC-03	PB-1875CC-51	Painel de automação de subestação – PB-1875CC
1.2.3.3.30	SE-1875CC-03	PO-1875CC-51	Estação de operação – PO-1875CC
1.2.3.3.31	SE-1875CC-03	PB-1875CC-61	Sistema de Controle de Acesso
1.2.3.3.32	SE-1875CC-03	RS-1875CC-41 / F	Resistor de Aterramento, 480/277V
1.2.3.3.33	SE-1875CC-03	RS-1875CC-42 / F	Resistor de Aterramento, 480/277V
1.2.3.3.34	SE-1875CC-03	CE-1875CC-51	Sistema de detecção e alarme de incêndio (SDAI)
1.2.3.3.35	SE-1875CC-03	CFTV-SE-1875CC	Sistema de CFTV
1.2.3.3.36	SE-1875CC-03	HVAC-SE-1875CC	Sistema de Climatização
1.2.3.3.37	SE-1875CC-03	SE-1875CC-03	Fabricação Eletrocentro SE-1875CC-03
1.2.3.3.39	SE-1875CC-03	SE-1875CC-03	Entrega dos Equipamentos
1.2.3.4	Geral		Sistema de Automação de Subestação
1.2.3.4.1	Geral	SW-1000CC-33	Fornecimento do Equipamento
1.2.3.4.2	Geral	SW-1000CC-34	Fornecimento do Equipamento
1.2.3.5	Geral		Entrega do As Abuilt
1.3	Geral		ENCERRAMENTO DO PROJETO