

**RICARDO MATOS DE LOPES TORRES BARBOZA**

**ANÁLISE DE RISCOS E CRITICIDADE DE ATIVIDADES ATRAVÉS  
DA APLICAÇÃO DOS MÉTODOS PERT/CPM E MONTE CARLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestrado em Engenharia. Área de Concentração: Gestão, Produção e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Orlando Celso Longo, D. Sc.

**Niterói, RJ**

**2017**

RICARDO MATOS DE LOPES TORRES BARBOZA

**ANÁLISE DE RISCOS E CRITICIDADE DE ATIVIDADES ATRAVÉS  
DA APLICAÇÃO DOS MÉTODOS PERT/CPM E MONTE CARLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestrado em Engenharia. Área de Concentração: Gestão, Produção e Meio Ambiente.

Aprovada em 06 de novembro de 2017

---

Prof. Orlando Celso Longo, D.Sc. (Orientador)  
Universidade Federal Fluminense

---

Prof. Lysio Sellos, D.Sc.  
Universidade Veiga de Almeida

---

Prof. Luiz Carlos Mendes, D.Sc.  
Universidade Federal Fluminense

**Niterói, RJ**

**2017**

## RESUMO

No gerenciamento de projetos de construção civil uma das três principais restrições é o tempo, que também pode influenciar os custos e o escopo do projeto. Há décadas, o gerenciamento do tempo em obras de construção civil e seus riscos associados vêm sendo geridos a partir da aplicação do Método PERT/CPM, que emprega diversas considerações, no intuito de viabilizar a sua aplicação, devido às dificuldades relacionadas ao emprego das distribuições de probabilidades para embasamento de suas análises, tendo em vista que as variações inerentes ao processo são diversas e de difícil avaliação conceitual, além de que as bases de dados e de informações pertinentes ao assunto são escassas. O surgimento e a facilitação de acesso às ferramentas computacionais viabilizou a aplicação do Método Monte Carlo para análise de probabilidades através de simulações voltadas a criação de bases de dados gerados a partir de processos aleatórios, sendo o intuito deste estudo averiguar as variações encontradas na aplicação tradicional do Método PERT/CPM com as obtidas através da realização de Simulações de Monte Carlo e identificar os possíveis benefícios que podem ser obtidos através da comparação dos dois métodos. Para isso foi apresentado no trabalho, além de todo o referencial teórico no qual o mesmo foi embasado, a metodologia utilizada e uma aplicação através de um estudo de caso de um projeto genérico e simplificado da construção de uma unidade habitacional residencial unifamiliar.

Palavras-chave: Análise de riscos; Caminho Crítico; Construção civil; CPM; Gerenciamento de projetos; Gerenciamento do tempo; Monte Carlo; PERT; Simulação em MS Excel.

## ABSTRACT

In managing construction projects one of three major constraints is time, which impacts costs and project scope. For decades, time management in construction and its associated risks have been handled with application of the PERT/CPM method. A number of issues have to be addressed to enable the implementation of this technique due to difficulties originated in the grounding of its analysis in probability distributions, and also considering the variations inherent to the process are many and hard to conceptually evaluate — while information and data bases on the subject are scarce. The advent and increasing ease of access to computer tools allowed the application of the Monte Carlo method to analyze probabilities with simulations aimed at creating data bases generated from random processes. The aim of this study is to compare the variations found in PERT/CPM traditional applications with those obtained by Monte Carlo simulations, and identify possible benefits that could arise from the conjunction of the two methods. To fulfill this goal, this paper presents the theoretical framework on which it was based, the methodology it used and an application example through the case study of a generic, simplified single-family housing unit project.

Keywords: Construction; CPM; Critical path; Monte Carlo; PERT; Project management; Risk analysis; Time management; Simulation in MS Excel.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1: Processo para desenvolver e usar um modelo de risco de cronograma de Monte Carlo.....	29
Gráfico 2: Modelo matemático referente à distribuição triangular .....	36
Gráfico 3: Histograma de distribuição de frequências obtidos através do Método Monte Carlo.....	44

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Principais Características do Caminho Crítico. (continua).....	18
Quadro 1: Principais Características do Caminho Crítico. (conclusão).....	19
Quadro 2: Fator de probabilidade.....	22

## LISTA DE SIGLAS

<b>CPM</b>	Critical Path Method
<b>FL</b>	Folga Livre
<b>FT</b>	Folga Total
<b>MMC</b>	Método Monte Carlo
<b>PDI</b>	Primeira Data de Início
<b>PDT</b>	Primeira Data de Término
<b>PERT</b>	Program Evaluation and Review Technique
<b>UDI</b>	Última Data de Início
<b>UDT</b>	Última Data de Término
<b>FICC</b>	Frequência de Intervenções Críticas no Cronograma
<b>I</b>	Número de Interações
<b>PI</b>	Presenças Como Atividade Crítica no Cronograma Dentre as "n" Interações
<b>IMGA</b>	Impacto Médio Gerado pela Atividade
<b>DA</b>	Dias de Atraso Quando a Atividade Integra o Caminho Crítico do Projeto;
<b>VE</b>	Valor Esperado de Risco;
<b>VE<sub>máx</sub></b>	Valor Esperado Máximo Encontrado dentre Todas as Atividades que Compõem o Projeto.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Referencial Teórico .....</b>	<b>15</b>
2.1	Desenvolvimento de Cronogramas Através do Método PERT/CPM e Análise do Caminho Crítico .....	15
2.2	Análise de Riscos Relativos a Prazos com a Utilização do Método PERT – Risco.....	22
2.3	Método Monte Carlo.....	25
2.4	Avaliação de Impactos e Probabilidades para Determinação do Índice de Riscos .....	28
<b>3</b>	<b>Metodologia de Pesquisa .....</b>	<b>30</b>
3.1	Desenvolvimento do Cronograma.....	31
3.2	Análise de riscos através da Metodologia PERT-Risco .....	33
3.3	Realização de Simulações - Método Monte Carlo .....	33
3.4	Análise Comparativa dos Dados Obtidos.....	37
<b>4</b>	<b>Resultados e discussões .....</b>	<b>38</b>
4.1	Descrição do Projeto Utilizado .....	38
4.2	Determinação das Atividades do Projeto .....	38
4.3	Determinação do Sequenciamento Lógico das Atividades .....	38
4.4	Determinação da Duração das tarefas.....	39
4.5	Desenvolvimento do Cronograma e Caminho Crítico .....	39
4.6	Aplicação da Análise PERT-Risco .....	40
4.7	Aplicação do Método Monte Carlo .....	41
4.7.1	Resultados da Análise de Prazo de Duração do Projeto .....	41
4.7.2	Resultados da Análise da Criticidade das Atividades do Projeto.....	43

4.8	Comparação Entre os Resultados Obtidos pelo Método PERT-Risco e Método Monte Carlos .....	44
<b>5</b>	<b>Considerações finais .....</b>	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>46</b>
	ANEXO A - PLANTA BAIXA DO PROJETO GENÉRICO.....	51
	ANEXO B - CORTE AA DO PROJETO GENÉRICO.....	52
	ANEXO C - CORTE BB DO PROJETO GENÉRICO .....	53
	ANEXO D - PLANTA DE COBERTURA DO PROJETO GENÉRICO .....	54
	ANEXO E - QUADRO DE REVESTIMENTOS E ACABAMENTOS .....	55
	ANEXO F - DESCRIÇÃO E CODIFICAÇÃO DAS ATIVIDADES DO PROJETO .....	56
	ANEXO G - DETERMINAÇÃO DA SEQUENCIA LÓGICA DE CORRELAÇÃO ENTRE AS ATIVIDADES (CONTINUA).....	57
	ANEXO G - DETERMINAÇÃO DA SEQUENCIA LÓGICA DE CORRELAÇÃO ENTRE AS ATIVIDADES (CONTINUAÇÃO) .....	58
	ANEXO G - DETERMINAÇÃO DA SEQUENCIA LÓGICA DE CORRELAÇÃO ENTRE AS ATIVIDADES (CONCLUSÃO).....	59
	ANEXO H - DETERMINAÇÃO DAS FAIXAS DE DURAÇÃO DAS ATIVIDADES.....	60
	ANEXO I - PLANILHA DE CÁLCULO DA REDE DE PRECEDÊNCIA E DETERMINAÇÃO DAS ATIVIDADES CRÍTICAS .....	61
	ANEXO J - CRONOGRAMA E CAMINHO CRÍTICO APRESENTADOS EM UM GRAFICO DE GANTT .....	62
	ANEXO L - ANÁLISE PERT-RISCO .....	63
	ANEXO M - DADOS DE FREQUÊNCIA OBTIDOS PELO MÉTODO MONTE CARLO .....	64
	ANEXO N - ANÁLISE DE CRITICIDADE DAS ATIVIDADES (CONTINUA).....	65
	ANEXO N - ANÁLISE DE CRITICIDADE DAS ATIVIDADES (CONCLUSÃO).....	66

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com o PMI (2017) um projeto é um esforço por tempo determinado, que apresenta data de início e término definidos, e que provê a criação de um produto, serviço ou resultado exclusivo.

“É fato que as organizações cada vez mais vêm sendo forçadas a otimizar processos, minimizar seus custos, e aumentar sua produtividade sob pena de se não o fizerem, perderem mercado em um mundo cada vez mais competitivo em sem fronteiras. Como atingir estes objetivos tem sido, na verdade, o grande desafio enfrentado por seus gestores” (BARCAUI E QUELHAS, 2004, p.2).

Ao se analisar, é possível perceber que uma obra de construção civil apresenta todas as características necessárias para ser classificada como um projeto, e como tal, tem como um de seus principais fatores restritivos o tempo, fator esse que exerce forte influência sobre os custos e escopo, elevando ainda mais sua importância perante um projeto.

O PMI (2017), através do PMBoK Guide, considera o escopo, a qualidade, os cronogramas, os custos e os recursos como as principais restrições relacionadas ao gerenciamento de um projeto.

Segundo GEHBAUER (2002), o planejamento de uma obra pode ser subdividido em quatro áreas fundamentais: Planejamento dos métodos de execução, planejamento de prazos, planejamento de recursos e planejamento do canteiro de obras.

“O tempo de duração de um projeto constitui um dos elementos fundamentais do seu planejamento. Sua determinação é feita a partir da duração de cada uma das atividades que compõem o projeto e do respectivo inter-relacionamento, resultante da metodologia de execução definida” (LIMMER, 1997, p.39).

Conforme exposto por BORGES (2014), a maioria das empresas apresenta pouco entendimento quanto aos benefícios relacionados à gestão eficiente dos projetos e embasa seu processo produtivo no conhecimento e experiência de seus próprios engenheiros deixando fazer uso de diversas técnicas e ferramentas de gestão.

Conforme dito por CONTADOR e SENNE (2007) o fator tempo é um dos fatores decisivos para a competitividade de uma empresa de projetos onde, de acordo com LIMMER (1997), para elaboração de um cronograma é necessário se dispor do levantamento das quantidades de serviços a serem executados em cada atividade, a produtividade e o efetivo a ser empregado. Essas informações são fundamentais, sejam para subsidiar as informações necessárias para a construção do cronograma ou para amparar as definições de prazos apontadas no mesmo.

Neste campo é onde também passam a se apresentar uma série de incertezas, pois segundo SOUZA (2006), a produtividade apresenta grandes dificuldades em ser determinada previamente, seja pelo o caráter nômade da fábrica, que se muda, e o produto que se mantém no mesmo lugar, ou questões relacionadas à qualificação, rotatividade e a interferência de seus trabalhadores no processo produtivo, que impacta de forma muito mais significativa na indústria da construção civil do que na indústria seriada como, por exemplo, seu aporte de mão-de-obra, proporcionalmente, chega a ser vinte vezes maior do que na automobilística<sup>1</sup>.

“Todo um conjunto de situações distintas tem feito com que os consumos de mão-de-obra para a produção variem ao longo de uma faixa de valores muito larga” (SOUZA, 2006, p.18). Ainda de acordo com SOUZA (2006), os valores destas faixas podem variar de vinte até oitenta horas de trabalho por metro quadrado construído, apresentando uma variação na ordem de 400% (quatrocentos por cento).

Considerando os estudos realizados por MORANO (2015), as mudanças tecnológicas contribuíram para o aprimoramento e revisão dos conceitos quanto ao gerenciamento de seus empreendimentos por parte das empresas do setor da

---

<sup>1</sup> Referente às horas de trabalho de um operário para produção de uma unidade básica.

construção civil exigindo de seus gestores a adoção de instrumentos eficazes e flexíveis, sem altos investimentos financeiros, que auxiliem de maneira simples e eficiente o processo de tomada de decisão.

Da mesma forma, a velocidade com que vem ocorrendo as mudanças tecnológicas em advento à rapidez ao acesso de informações em nível global, contribuíram para que houvesse o aprimoramento e a revisão dos conceitos das empresas deste setor em relação ao gerenciamento dos seus empreendimentos. Estas empresas passam a ter que tomar decisões a fim de gerenciar e administrar as incertezas e os riscos que envolvem seus empreendimentos, sendo exigida dos gestores a adoção de instrumentos cada vez mais eficazes e flexíveis na tomada de decisão, que auxiliem de maneira simples e eficaz o tratamento de problemas complexos, sem que o investimento em tempo e custo seja alto e que acima de tudo façam com que se cumpram os objetivos de sucesso estabelecidos no projeto.

Considerando as assertivas anteriores, é possível afirmar que a gestão do tempo tem participação fundamental nos resultados finais de uma obra de construção civil, onde de acordo com FARINHA (2013), a complexidade crescente dos projetos gerou uma necessidade por técnicas de planejamento mais eficazes e sistemáticas, levando os gestores de projetos a utilizarem técnicas de gestão do tempo para o desenvolvimento e monitoramento dos projetos, fator fundamental, tendo em vista, que em alguns contratos o prazo de entrega da obra pode ser considerado prioritário sobre qualquer outra restrição.

Logo, o desenvolvimento de um método eficaz, para se realizar a programação das atividades que compõem o escopo do projeto, capaz de amparar as decisões do gestor na fase de planejamento e as atividades de controle durante sua execução são de suma importância para a condução otimizada e eficiente da gestão do tempo em projetos de construção civil, onde se pode considerar o método PERT/CPM como uma poderosa ferramenta no auxílio à realização desta tarefa.

Segundo MAZLUM e GÜMERI (2015), CPM e PERT são as duas técnicas de planejamento e agendamento contemporâneas que são amplamente utilizadas na construção, informática, fabricação e defesa. Eles podem ser aplicados nas soluções

de muitos problemas e podem ser usados na programação de projetos de grande escala.

Outro fator importante a ser considerado, está relacionado aos diversos mecanismos provedores de atrasos em projetos, onde segundo COUTO e TEIXEIRA (2005), baseados em pesquisas realizadas em vários países por diversos autores, os motivos de atraso que uma obra está suscetível podem ser categorizados em causas relacionadas aos materiais, equipamentos, mão-de-obra, gestão das empreiteiras, gestão financeira, gestão dos proprietários, projetistas, gerente do projeto, fiscalização, relações contratuais, relações institucionais, especificidades do projeto e por fatores externos. Dentre cada categoria existe uma série de possíveis acontecimentos que podem vir a influenciar o andamento do projeto.

Tendo em vista a gama de situações adversas que podem vir a ocorrer, se torna um trabalho extremamente oneroso e desgastante realizar a análise particular de cada uma delas.

Quando este trabalho minucioso de investigação e análise é realizado, levantam-se três questões fundamentais a serem consideradas: A análise realmente englobou todas as possibilidades? A análise está fortemente amparada por uma gama de dados utilizados ou seus resultados podem ser voláteis?

As despesas geradas no processo de planejamento e controle são justificadas pelo ganho de produtividade e melhora nos resultados?

Essas três questões deixam margem para um questionamento à aplicação do Método PERT/CPM no que tange a análise de risco de cumprimento de prazos no projeto, tendo em vista que o mesmo não considera por si só este tipo de variabilidade.

Segundo MOUSSA et al. (2007), existe uma deficiência no Método PERT/CPM por não considerar eventuais mudanças no caminho crítico, sendo que esta limitação pode ser superada pela aplicação do Método de Monte Carlo.

Mais de meio século depois da estréia do CPM e PERT, ainda falta um sistema de agendamento de projetos com distribuições calibradas e validadas e sem

necessidade de entrada complexa de usuários, segundo TRIETSCH (2012), onde os modernos sistemas de apoio à decisão para gerenciamento de projetos são mais sofisticados e abrangentes do que PERT / CPM, no entanto, em termos de análise estocástica, eles mostram um progresso insuficiente, fazendo assim com que seja necessário uma ferramenta de planejamento simples que explique a variação estocástica de uma maneira holística.

Devido a este fator, foi aplicado de forma conjunta ao Método PERT/CPM um processo de simulação baseado no Método de Monte Carlo, que visa introduzir na análise, o efeito conjunto de todas as variáveis de difícil mensuração que compõe o processo de determinação da duração das atividades do projeto que normalmente acabam por influenciar os resultados. Outros autores também tem estudado métodos similares em aplicações aleatórias e difusas como GÁLVEZ et al. (2015) e ÖKMEN e ÖZTAŞ (2014).

O objeto de estudo do presente relato está relacionado com o desenvolvimento e análise de cronogramas para obras de construção civil, que possam subsidiar as decisões relacionadas a todas as atividades que compõe o escopo do projeto, levando em consideração suas possíveis variabilidades de prazo, decorrentes de diversos fatores que podem vir a influenciar a sua duração esperada, permitindo o conhecimento sobre as probabilidades de descumprimento de prazos, e a priorização das ações de prevenção e aumento da atenção no monitoramento, não somente das atividades determinadas como críticas pela análise PERT/CPM como também àquelas que possam “ameaçar” o caminho crítico do projeto, provocando atrasos no prazo final de conclusão.

Este estudo tem como objetivo demonstrar uma forma prática e simplificada, através da aplicação conjunta de reconhecidas técnicas de gestão de projetos, de como se desenvolver a análise de probabilidade na variação da duração de projetos, e de priorização das atividades com relação a sua criticidade, isto é, a sua relevância para o prazo final do cronograma, além de realizar a comparação destes resultados com os obtidos na aplicação tradicional do Método PERT/CPM. Para isso será demonstrado no trabalho uma simulação através de um projeto genérico da construção de uma unidade habitacional residencial unifamiliar.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para a realização do objetivo proposto foi necessário à utilização da união das renomadas técnicas de desenvolvimento de cronogramas de projetos denominadas Program Evaluation and Review Technique (PERT), considerando sua extensão PERT-Risco, e Critical Path Method (CPM), conjuntamente com a aplicação de simulações através do Método Monte Carlo (MMC).

### 2.1 Desenvolvimento de Cronogramas Através do Método PERT/CPM e Análise do Caminho Crítico

De acordo com CARRASCO PURULL (2017), as tensões da guerra fria propiciaram uma transferência tecnologia entre o setor militar e o da construção, introduzindo sistemas de gerenciamento científico de última geração como CPM (Critical Path Method) e o PERT (Program Evaluation and Review Technique).

“A técnica PERT (Program Evaluation and Review Technique - Técnica de Avaliação e Revisão de Programas) foi desenvolvida em 1957 para uso do Departamento de Defesa dos Estados Unidos na execução do Polaris, um míssil lançado de um submarino, projeto que envolveu 250 empreiteiros, cerca de 9.000 subempreiteiros e a fabricação de 70.000 componentes, muitos dos quais nunca antes produzidos em série. O prazo inicialmente previsto era de cinco anos, mas, por razões políticas, objetivou-se reduzi-lo para três anos. Como não havia experiência com relação aos prazos de fabricação de cada componente, perguntou-se aos fabricantes que prazos máximo, normal e mínimo seriam necessários para produzir cada peça. Assim, se forem estimados o prazo mínimo  $a$ , o prazo máximo  $b$  e o prazo normal  $m$ , pode-se, através de tratamento estatístico, determinar o tempo esperado como sendo:  $t_e = (a + 4m + b) / 6$ . O desvio padrão é dado por  $\sigma = (b - a) / 6$  e a variância é expressa por  $\sigma^2$ ” (LIMMER, 1997, p.40).

Segundo MARÇAL (2014), as técnicas de planejamento PERT e CPM são consideradas as duas técnicas mais conhecidas para realização do planejamento e da coordenação de projetos.

Conforme exposto por ARAYA (2016), CPM e PERT estão bem estabelecidos como as principais ferramentas para planejar e controlar projetos de construção, assertiva também confirmada por MOUHOUB et al. (2011), durante muitos anos, duas das abordagens mais populares para o gerenciamento de projetos foram o

CPM do Método do Caminho Crítico e a Técnica de Avaliação e Revisão PERT. O último foi usado como ferramenta para gerenciamento de projetos há mais de quatro décadas. Consiste em planejar, projetar e implementar um conjunto de atividades para atingir um objetivo ou tarefa particular. As versões originais do PERT e do CPM tiveram algumas diferenças importantes, no entanto, eles também apresentaram diversas características em comum, e as duas técnicas gradualmente se fundiram ao longo dos anos.

Ambas as técnicas apresentam grande similaridade, onde segundo LIMMER (1997), apesar de desenvolvidas na mesma época, ambas são provenientes de fontes distintas e apresentam sua principal diferença na forma de determinação da duração das atividades, onde no método PERT, as estimativas de duração são consideradas com probabilísticas, devido sua obtenção ser dada através de métodos estatísticos, enquanto que no método CPM, o prazo de duração das atividades é obtido baseado em experiências anteriores e opinião de especialistas, isto é, as durações das atividades são definidas de forma determinística.

Conforme assertiva de AZIZ (2013), PERT é uma ferramenta de gerenciamento para definir e integrar eventos com movimentos de coordenação para completar os objetivos de um projeto no tempo e faz uso de matemática estatística simples para apresentar uma distribuição de probabilidade para a conclusão das datas dos marcos do projeto, fornecendo informações de gerenciamento sobre problemas reais e iminentes na conclusão de um projeto, apresentando uma notação das atividades de componentes mais e menos críticas dentro de cada projeto e uma ilustração abrangente de todas as principais atividades de projetos e suas interdependências. A capacidade do PERT de prever o desempenho futuro e os possíveis problemas futuros através de relatórios de frequência, marcou a principal desativação das técnicas de controle e planejamento anteriores que dependiam fortemente de dados históricos.

“A técnica PERT (Program Evaluation and Review Technique - Técnica de Avaliação e Revisão de Programas) foi desenvolvida em 1957 para uso do Departamento de Defesa dos Estados Unidos na execução do Polaris, um míssil lançado de um submarino, projeto que envolveu 250 empreiteiros, cerca de 9.000 subempreiteiros e a fabricação de 70.000 componentes, muitos dos quais nunca antes produzidos em série. O prazo inicialmente previsto era de cinco anos, mas, por razões políticas, objetivou-se reduzi-lo para três anos. Como não havia experiência com relação aos prazos de fabricação de cada componente, perguntou-se aos fabricantes que prazos máximo, normal e mínimo seriam necessários para produzir cada peça. Assim, se forem estimados o prazo mínimo  $a$ , o prazo máximo  $b$  e o prazo normal  $m$ , pode-se, através de tratamento estatístico, determinar o tempo esperado como sendo:  $t_e = (a + 4m + b) / 6$ . O desvio padrão é dado por  $\sigma = (b - a) / 6$  e a variância é expressa por  $\sigma^2$ ” (LIMMER, 1997, p.40).

Em concordância com ÖKMEN e ÖZTAŞ (2014), o Método do Caminho Crítico (CPM), que é usado para agendar atividades de construção que dependem uns dos outros através de relações de rede, é determinista em relação à duração atribuída à execução das atividades e aos resultados produzidos em determinados valores. Infelizmente, as atividades de construção são realizadas em condições incertas. Os riscos do projeto causam variações na duração da atividade e, por sua vez, toda a rede é afetada pela incerteza.

“Em 1957, a Indústria química norte-americana E.L. du Pont de Nemours and Co. (DuPont) possuía o computador mais potente da época, o univac I, produzido pela Remington Rand, porém o utilizava muito pouco. Buscando mais aplicações para o Univac I, os matemáticos Morgan Walker e James Kelley se puseram a investigar uma maneira de entender melhor a correlação tempo-custo para os projetos de engenharia das plantas da empresa. Eles sabiam que acelerar todas as atividades de um projeto na o era a maneira mais eficiente de obter prazo reduzido e desconfiavam que o cerne do problema era achar as atividades "certas" para acelerar o projeto sem incorrer em significativo aumento de custo. Walker e Kelley batizaram de "cadeia principal" o que pouco depois seria imortalizado como "caminho crítico" e que seria a base do Critical Path Method (Método do Caminho Crítico), cuja sigla é CPM. A solução dos matemáticos foi estabelecer eventos (nós) interligados por atividades (flechas), as quais usavam a notação i-j. Nascia ali o Método das Flechas, ou Activity-on-Arrow ou Arrow Diagrammíng Method (ADM). O primeiro projeto que surgiu monitorado pela nova técnica foi o George Fischer Works, com 61 atividades e 1& atividades-fantasma (Weaver, 2006), Nessa época, o maior limitador à disseminação da metodologia era o custo de processamento — manter uma rede de 150 atividades requeria mais de 300 horas por mês de computador de grande porte. Os resultados, contudo, desafiavam qualquer ceticismo: a DuPont passou a ter uma redução de 25% no prazo de suas paradas de manutenção programada e construção de novas unidades” (MATTOS, 2010, p. 111).

De acordo com LIMMER (1997), com o decorrer do tempo, ambas as técnicas se fundiram em apenas uma denominada PERT/CPM, termo este que passou a designar as redes de precedências, onde as atividades de um projeto eram representadas através de setas delimitadas por um nó inicial, evento de início, e um nó final, evento de término. O que determina se os eventos delimitadores são relativos ao início ou ao término da atividade é o direcionamento das setas, que também deve apresentar junto a si o nome e a duração da atividade que representa.

Duas ou mais atividades podem ser sucessivas ou paralelas, sendo que estas podem ter ou as mesmas datas (eventos) de início, ou as mesmas datas de fim, ou as mesmas datas de início e de fim.

“Em atividades paralelas, quando representadas graficamente, as respectivas setas se superpõem, tomando-se difícil distingui-las. Para diferenciá-las usa-se uma atividade fantasma (AF) ou atividade de conveniência, muda ou virtual, [...] Em contraposição à atividade fantasma tem-se a atividade de espera, cuja característica é consumir apenas tempo e nenhum outro recurso” (LIMMER, 1997, p.41).

Ainda segundo LIMMER (1997), as atividades do cronograma podem ser representadas através de nós, técnica essa desenvolvida pelo francês Roy e também conhecida como Neopert ou Rede de precedências, onde os tempos de duração das atividades podem ser determinados tanto de forma probabilística quanto de forma determinística e as mesmas são apresentadas não mais através das setas, estas que agora exercem o papel de representar a inter-relação entre as atividades, mas sim através dos nós fazendo com que não exista a necessidade da inserção de atividades fantasmas uma vez que as interligações são realizadas de maneira clara à atividade antecessora.

Há quatro formas distintas de inter-relacionar as atividades:

- Ligação Término → Início (TI): A atividade antecessora deve terminar para que a sucessora inicie;

- Ligação Início → Início (II): A atividade antecessora deve iniciar para que a sucessora inicie;
- Ligação Início → Término (IT): A atividade antecessora deve iniciar para que a sucessora termine;
- Ligação Término → Término (TT): A atividade antecessora deve terminar para que a sucessora termine.

Essas ligações podem ser afetadas por uma defasagem positiva, negativa ou nula que são utilizadas de acordo com os interesses do gestor.

Conforme descrito pelo PMI (2017, p.173) no Project Management Body of Knowledge (PMBok Guide) a visão geral do processo de gerenciamento do tempo se resume em:

1º - Definir plano de gerenciamento de cronograma;

2º - Definir as atividades do projeto;

3º - Realizar o sequenciamento lógico das atividades criando a inter-relação entre as mesmas;

4º - Realizar as estimativas de duração das atividades<sup>2</sup>;

5º - Realizar o desenvolvimento do cronograma<sup>3</sup>;

6º - Realizar o controle do cronograma.

Na fase do processo relativa ao desenvolvimento do cronograma é quando se realizam os cálculos e o traçado da rede de precedências.

Seguindo as orientações de traçado descritas por MATTOS (2010), similarmente às descritas por LIMMER (1997), o desenvolvimento do mesmo é realizado da seguinte forma:

---

<sup>2</sup> No caso de cronogramas elaborados através do método PERT/CPM devem ser realizadas as estimativas de duração otimista e pessimista obtendo-se a duração esperada através de fórmulas estatísticas.

<sup>3</sup> No caso de cronogramas elaborados através do método PERT/CPM esta é a fase onde se realiza o cálculo do caminho crítico, se analisam as folgas e se realiza a consolidação do cronograma.

1º - Iniciar o traçado com uma barra vertical de início ou através de uma atividade denominada início com duração nula;

2º - Inserir na rede as atividades que não possuem atividades predecessoras;

3º - Inserir na rede as demais atividades partindo de sua(s) respectiva(s) predecessora(s);

4º - Finalizar o traçado com uma barra vertical de fim ou através de uma atividade denominada fim com duração nula;

5º - Através das informações de precedência calcula-se a “primeira data de início”<sup>4</sup> e “primeira data de término”<sup>5</sup> de cada atividade, seguindo na direção do início para o fim;

6º - Calculam-se as Últimas datas de Término<sup>6</sup> e Últimas datas de Início<sup>7</sup> de cada atividade seguindo na direção inversa do passo anterior;

7º - Calcula-se a Folga Total<sup>8</sup> de cada atividade;

8º - Calcula-se a Folga Livre<sup>9</sup> de cada atividade;

9º - Identifica-se o caminho crítico do projeto, isto é, a sequência de atividades interligadas que produz o caminho mais longo do projeto definindo assim sua duração total. Normalmente esse caminho é composto pelas atividades que não possuem folgas.

“O caminho crítico é a sequência de atividades que concorrem para a determinação da duração total. Ele é o conjunto de atividades que define o prazo total da rede” (MATTOS, 2010, p.153).

---

<sup>4</sup> Primeira Data de Início (PDI) – Data quando a atividade pode ser iniciada devido ao cumprimento de suas predecessoras.

<sup>5</sup> Primeira Data de Término (PDT) – Equivalente à Primeira Data de Início somada à duração da atividade.

<sup>6</sup> Última Data de Término (UDT) – Data mais tardia em que a atividade pode ser finalizada sem que o início de sua sucessora seja alterado.

<sup>7</sup> Última Data de Início (UDI) – Última Data de Término subtraído a duração da atividade.

<sup>8</sup> Folga Total (FT) – Período de tempo que a atividade pode atrasar sem influenciar o prazo final do projeto

<sup>9</sup> Folga Livre (FL) – Período de tempo que a atividade pode atrasar sem influenciar a Primeira Data de Início de suas atividades sucessoras

Quadro 1: Principais Características do Caminho Crítico. (continua)

---

O caminho crítico é a sequência de atividades que determinam o prazo total do projeto;

---

O caminho crítico é o maior caminho entre o início e o fim do projeto;

---

O caminho crítico é composto pelas atividades de menor folga total (atividades críticas);

---

O aumento de uma unidade de tempo na duração de uma atividade crítica aumenta o prazo total do projeto em uma unidade de tempo;

---

A atividade mais longa do projeto não necessariamente integra o caminho crítico;

---

A atividade mais cara do projeto não necessariamente integra o caminho crítico;

---

A atividade de execução mais complexa do projeto não necessariamente integra o caminho crítico;

---

Quadro 1: Principais Características do Caminho Crítico. (conclusão)

---

A atividade que quer mais recursos do projeto não necessariamente integra o caminho crítico;

---

A redução de uma unidade de tempo na duração de uma atividade crítica reduz o prazo total do projeto em uma unidade de tempo;

---

O aumento de uma unidade de tempo na duração de uma atividade não crítica não atrasa o prazo total do projeto — ela pode até entrar no caminho crítico, mas não afetará o prazo total;

---

A redução da duração de uma atividade não crítica não afeta o prazo total do projeto;

---

Atividades críticas têm as datas mais cedo iguais às datas mais tarde (a não ser que haja prazo imposto)

---

Atividades não críticas têm as datas mais cedo diferentes das datas mais tarde;

---

A folga total representa quanto tempo uma atividade pode atrasar sem impactar no prazo total do projeto;

---

Uma atividade não crítica pode atrasar uma quantidade de dias equivalente a sua folga total sem afetar o prazo total do projeto;

---

Se uma atividade não crítica atrasar mais do que sua folga total, o prazo do projeto será aumentado;

---

Uma atividade não crítica torna-se crítica se sua folga for consumida;

---

Quanto menor a folga total, maior a probabilidade de essa atividade se tornar crítica (diz-se que ela é subcrítica);

---

A folga livre representa quanto tempo uma atividade pode atrasar sem atrasar o início mais cedo de suas sucessoras;

---

Se a folga livre da atividade for consumida, suas sucessoras não poderão iniciar na data mais cedo.

---

Fonte: MATTOS (2010).

## **2.2 Análise de Riscos Relativos a Prazos com a Utilização do Método PERT – Risco**

De acordo com ALMEIDA e FERREIRA (2008), essa técnica se resume na determinação da data de um evento e o risco associado ao seu cumprimento, estabelecendo correlações estatísticas entre as datas determinadas e seus riscos associados.

O ideal é que se possua uma base de dados com informações suficientes sobre a duração de cada atividade, para que se possam definir as reais distribuições de frequência dos seus tempos de execução. Quando não se tem conhecimento desta informação é possível se realizar aproximações, e tendo em vista que o método PERT faz uso de três informações relacionadas ao tempo de duração das atividades, otimista, mais provável e pessimista, é possível considerarmos que ela se comporta como uma distribuição normal de probabilidade, pois segundo LIMMER (1997), essa hipótese é válida e se justifica pelo Teorema do Limite Central, sendo confirmado por grande número de projetos observados.

Conforme descrito por HAJDU e BOKOR (2014), a técnica PERT original assume a distribuição beta para as durações da atividade. Os desenvolvimentos das últimas décadas modificaram parcialmente este conceito e muitas distribuições diferentes foram introduzidas.

De acordo com MATTOS (2010), também se pode realizar uma aproximação da distribuição de probabilidades de duração de cada atividade através da distribuição beta, que pode ser simétrica, distorcida à direita ou à esquerda.

A partir da metodologia PERT é possível se construir o cronograma através da rede de precedências utilizando a duração esperada de cada atividade, duração esta, que de acordo com os conceitos estatísticos, se refere a uma probabilidade de 50% de que a atividade seja concluída dentro do prazo. A determinação do caminho crítico é realizada conforme procedimento descrito anteriormente, e como segundo MONTGOMERY (2003), a variabilidade e dispersão dos dados podem ser determinadas através da variância ou desvio-padrão da amostra, a determinação dos riscos se baseará na análise da variância e desvio-padrão encontrados nas distribuições de probabilidade das atividades pertencentes ao caminho crítico.

Segundo MATTOS (2010), o procedimento para determinação das possíveis variações em prazo nos cronogramas e as probabilidades atreladas a estas variações podem ser obtidas através do prosseguimento dos seguintes passos:

(1º) Elaboração da rede e determinação do caminho crítico através da aplicação do método PERT/CPM; (2º) Obtenção do valor relativo à variância de cada atividade que compõe o caminho crítico; (3º) Realiza-se o somatório das variâncias das atividades críticas; (4º) Com o resultado do passo anterior é possível se calcular o Desvio-padrão relativo à totalidade do caminho crítico; (5º) Através do cálculo do desvio padrão, considerando suas propriedades, é possível se obter as faixas de probabilidade de ocorrência da duração total do projeto; (6º) Baseando-se na teoria da distribuição de probabilidades é possível, através da seguinte fórmula e do Quadro 02 apresentadas a seguir, se obter a probabilidade de encerramento do projeto em diferentes prazos ao interesse da análise do gestor:

$$K = \frac{x-T}{\sigma} \quad \text{Eq. 01}$$

Onde:

$K$  = Fator de probabilidade;

$x$  = Prazo cuja probabilidade se quer obter;

$T$  = Prazo calculado através da rede de precedências (Método PERT)

$\sigma$  = Desvio-padrão

Quadro 2: Fator de probabilidade.

FATOR DE PROBABILIDADE					
K	Probabilidades (%)	K	Probabilidades (%)	K	Probabilidades (%)
< -3,0	0,00	-1	15,87	1,1	86,43
-3,0	0,13	-0,9	18,41	1,2	88,49
-2,9	0,19	-0,8	21,19	1,3	90,32
-2,8	0,26	-0,7	24,20	1,4	91,92
-2,7	0,35	-0,6	27,43	1,5	93,32
-2,6	0,47	-0,5	30,85	1,6	94,52
-2,5	0,62	-0,4	34,46	1,7	95,54
-2,4	0,82	-0,3	38,21	1,8	96,41
-2,3	1,07	-0,2	42,07	1,9	97,13
-2,2	1,39	-0,1	46,02	2,0	97,72
-2,1	1,79	0,0	50,00	2,1	98,21
-2,0	2,28	0,1	53,98	2,2	98,61
-1,9	2,87	0,2	57,93	2,3	98,93
-1,8	3,59	0,3	61,79	2,4	99,18
-1,7	4,46	0,4	65,54	2,5	99,38
-1,6	5,48	0,5	69,15	2,6	99,53
-1,5	6,68	0,6	72,57	2,7	99,65
-1,4	8,08	0,7	75,80	2,8	99,74
-1,3	9,68	0,8	78,81	2,9	99,81
-1,2	11,51	0,9	81,59	3,0	99,87
-1,1	13,57	1,0	84,13	> 3,0	100,00

Fonte: Adaptado do MATTOS (2010).

### 2.3 Método Monte Carlo

De acordo com MACHADO E FERREIRA (2012), o método de Monte Carlo (MMC), também denominado como simulação de Monte Carlo, consiste na utilização de técnicas probabilísticas para geração de números aleatórios.

“A simulação de Monte Carlo (SMC) envolve o uso de números aleatórios e probabilidades para analisar e resolver problemas. Esse método surgiu no Projeto Manhattan no laboratório de armas nucleares Los Alamos, Estados Unidos durante a Segunda Guerra Mundial, desenvolvido pelos cientistas John Von Neumann e Stanislaw Ulam. A denominação “Monte Carlo” foi atribuída em referência aos jogos de azar que fazem uso constante de sorteios e de dados, uma atração popular na cidade de Monte Carlo, Mônaco” (MARÇAL, 2014, p.6).

Consoante à assertiva de JOUBERT e PRETORIUS (2017), a simulação de Monte Carlo é usada para agregar variação em um sistema resultante de variações no sistema, para uma série de entradas, onde cada entrada possui uma distribuição definida e as entradas estão relacionadas ao resultado através de relações definidas.

Conforme dito por RUI-MEI (2015), a simulação permite a geração de um perfil de resultados prováveis e possibilita a realização de análise de comportamento de sistemas em situações imprevisíveis, sendo assim uma ferramenta poderosa e flexível.

Segundo MACHADO e FERREIRA (2012), uma interessante característica da aplicação do Método Monte Carlo é a geração de cenários baseados na utilização de funções de distribuição de probabilidades a partir de uma amostragem aleatória, provendo assim, através de simulações repetitivas, a obtenção de um histograma associado a uma curva de densidade probabilidade acumulada, que quantificará em percentual a probabilidade de determinado valor encontrar-se acima, abaixo ou entre um intervalo de confiança escolhido.

“A Simulação de Monte Carlo é frequentemente usada para estudar as propriedades estatísticas de diversos métodos de estimação de parâmetros. É

particularmente útil para entender o comportamento dos estimadores em amostras pequenas ou finitas” (ALMEIDA e FERREIRA, 2008, p.10).

“... o método de simulação de Monte Carlo consiste em uma técnica de amostragem artificial empregada para operar numericamente sistemas complexos que tenham componentes aleatórios. [...] O modelo busca identificar quais são as variáveis importantes no sistema e qual a sua distribuição de probabilidade. Com base nas distribuições de probabilidade apresentadas pelas variáveis são gerados números aleatórios para construção de uma amostra, e assim são gerados vários experimentos até que seja possível fazer análises com determinada segurança. Após a construção da amostra é possível obter parâmetros importantes para fazer inferências tais como: média e desvio-padrão” (YOSHITAKE, 2005, p.3-4).

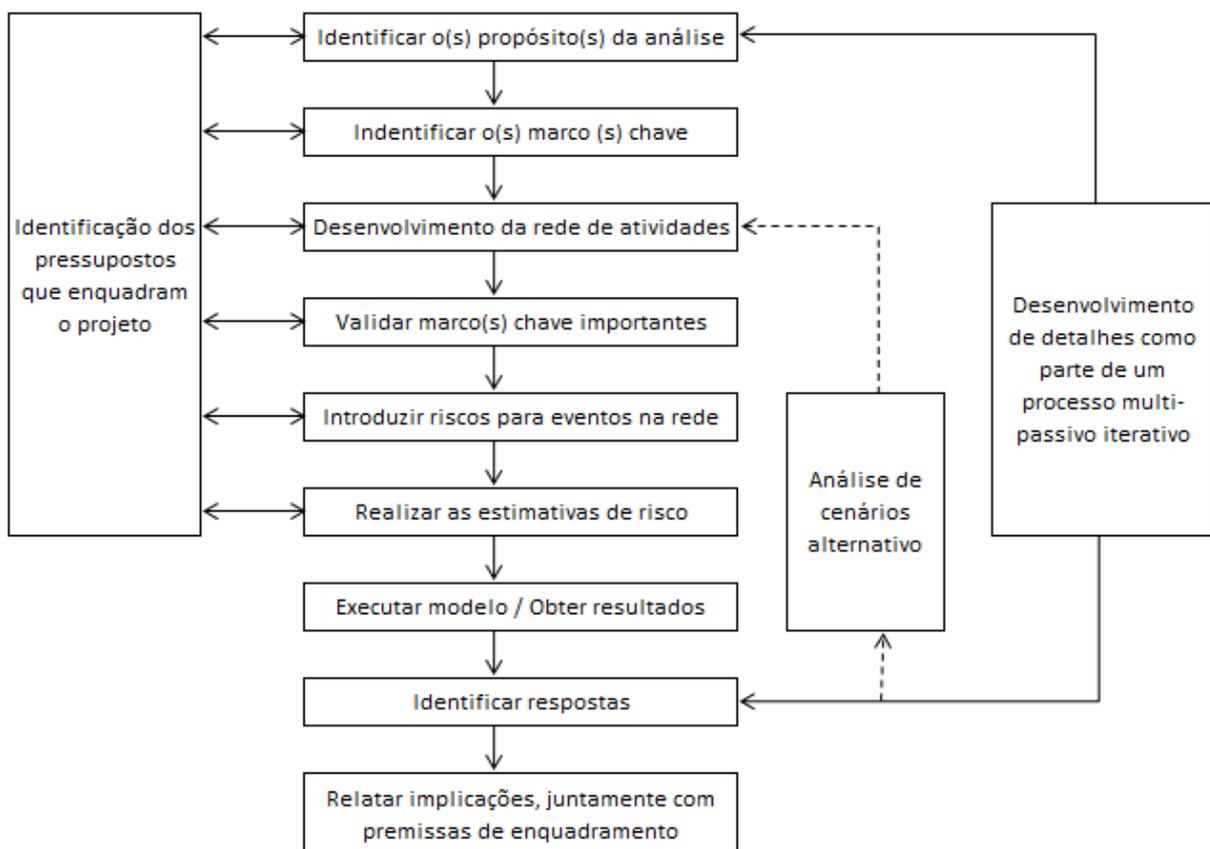
Conforme constatado em estudo realizado por LIU e LI (2014), verificou-se que o gerenciamento de cronogramas de construção era um problema incerto. O método tradicional de CPM foi uma boa maneira de definir a duração total e os caminhos críticos, mas não pode resolver a incerteza e que pelo resultado de sua pesquisa, foi constatado que a simulação de Monte Carlo é útil para resolver o problema do gerenciamento de cronogramas de construção.

De acordo com MATHKOUR (2008), o gerenciamento de riscos é a aplicação de ferramentas e procedimentos adequados para conter riscos dentro de limites aceitáveis, e diversas ferramentas computacionais para gerenciamento de riscos como *Vanguard Studio* e *CrystalBall* utilizam simulação embasadas no Método Monte Carlo, fato reafirmado por HOPKINSON (2011), incluindo nesta lista Primavera Risk (anteriormente comercializado como Pertmaster) e @RISK para Projetos.

Segundo estudos de SHARMA e SURI (2011), a motivação para querer incorporar a simulação na análise de risco de programação é clara, pois a descoberta de atividades críticas com dados simulados produz informações valiosas, como estimativa do tempo de conclusão do projeto ou também de suas atividades isoladamente.

Conforme exposto por HOPKINSON (2011), a análise de risco da programação de Monte Carlo tornou-se uma técnica amplamente praticada no gerenciamento de projetos e pode ser muito útil se conduzida a padrões elevados, porém, caso não tenha sido tomado cuidado para garantir que a estrutura dos modelos e as estimativas de entrada produzam simulações realistas de entrega do projeto, seus resultados podem ser enganosos. Logo, o processo para o desenvolvimento de um modelo para análise de risco pelo Método de Monte Carlo deve seguir a seguinte rotina descrita na figura abaixo:

Gráfico 1: Processo para desenvolver e usar um modelo de risco de cronograma de Monte Carlo



Fonte: Hopkinson (2011).

Pode se concluir, a partir das assertivas anteriores, que a utilização do Método de Monte Carlo busca realizar uma aplicação que visa suprir a necessidade de análises muito complexas ou que envolvam uma quantidade significativa de variáveis, buscando a compreensão de determinados fenômenos independente de

sua natureza. Para sua aplicação é fundamental que se realize uma modelagem sistêmica do processo ou da situação a ser analisada, utilizando-se mecanismos provenientes das técnicas de pesquisa operacional, possibilitando a aplicação de simulações para a obtenção dos prováveis resultados possíveis e suas tendências. O Método de Monte Carlo passou a ter sua aplicabilidade facilitada a partir do desenvolvimento de sistemas computacionais que permitem a realização dos cálculos necessários à aplicação do método, além da realização das inúmeras repetições que são necessárias serem realizadas para viabilizar a sua utilização.

#### **2.4 Avaliação de Impactos e Probabilidades para Determinação do Índice de Riscos**

De acordo com HOJJATI e NOUDEHI (2015), estimativa do provável tempo e custo para concluir o projeto e em consonância com ele, levando em consideração a probabilidade de ocorrência e gravidade do efeito dos riscos, é uma das principais preocupações que ocupou os gerentes de projetos organizacionais.

Os projetos de construção são propensos à incerteza devido a vários fatores de risco, como condições climáticas inesperadas e características intrínsecas do solo, em consonância à assertiva de ÖKMEN e ÖZTAS (2014), e devido a estes fatores a duração real das atividades freqüentemente se desvia do tempo de duração estimado em direções favoráveis ou adversas. Por este motivo, a avaliação da incerteza é necessária para tomar as decisões corretas ao gerenciar os cronogramas da rede do projeto de construção.

Segundo o PMI (2017), o risco do projeto é considerado como um evento ou condição de incerteza que pode vir a ocorrer e gerar efeitos positivos ou negativos sobre pelo menos um objetivo do projeto, e os principais passos do procedimento de seu gerenciamento são: O planejamento do gerenciamento dos riscos, a identificação dos riscos, a análise qualitativa dos riscos, a análise quantitativa dos riscos, o planejamento de resposta aos riscos, o monitoramento e controle dos riscos.

De acordo com DOSKOČIL (2015), as avaliações de risco são essenciais para o gerenciamento do projeto. Isso determina diretamente o sucesso ou o fracasso de um projeto. Muitas vezes, ele é baseado em itens de natureza interdisciplinar

vagos, inconsistentes e parcialmente subjetivos (conhecimento). Por esse motivo, no gerenciamento de riscos utilizam-se diferentes abordagens, técnicas e ferramentas, tanto tradicionais como avançadas. Por exemplo, método especialista, brainstorming, simulação, conjuntos difusos, e. Métodos de números difusos e lógica difusa.

Considerando as práticas de gerenciamento descritas pelo PMI (2017), uma matriz de probabilidade e impacto serve para mapear a probabilidade de cada ocorrência de risco e seu impacto nos objetivos do projeto se esse risco vier a ocorrer. Esta matriz especifica combinações de probabilidade e impacto que permitem que os riscos individuais do projeto sejam divididos em grupos, lhes atribuindo um nível de prioridade com base na combinação de sua probabilidade e impacto avaliado. As organizações podem avaliar um risco separadamente para cada objetivo do projeto, por exemplo, o tempo, custo ou escopo, gerando assim matrizes de impacto e probabilidade individuais, que se necessário, podem ser combinadas umas com as outras.

De acordo com KERZNER (2013), um risco possui três componentes básicos: O evento gerador, uma probabilidade de ocorrência e o provável impacto do referido evento tomando assim o risco como sendo uma função destes três fatores.

Segundo CARNEIRO (2011), os fatores fundamentais que devem ser considerados para a determinação do Índice de Risco são a gravidade, magnitude, periculosidade, extensão do impacto, frequência e probabilidade de ocorrência, desempenho dos sistemas de prevenção e o custo e complexidade técnica das medidas preventivas.

Para cada um dos parâmetros mencionados anteriormente devem ser definidos critérios de avaliação quantitativos ou qualitativos, mas que possam ser graduados de acordo com uma pontuação numérica. O Índice de Risco é obtido através da multiplicação da pontuação determinada desses fatores de forma isolada para cada um dos riscos identificados no projeto.

### **3 METODOLOGIA DE PESQUISA**

A metodologia utilizada se embasou nos conceitos que fundamentam as análises de riscos, relacionados ao prazo, em projetos, através da utilização de cronogramas construídos a partir do desenvolvimento de redes de precedências e a utilização de métodos estatísticos para a definição da duração das atividades.

Inicialmente realiza-se a definição das atividades associadas aos pacotes de trabalho do projeto e a determinação dos prazos otimistas, mais provável e pessimistas, com relação a duração de cada uma das atividades. Posteriormente elabora-se o sequenciamento destas atividades considerando suas dependências realizando assim o desenvolvimento da rede de precedências permitindo o cálculo do caminho crítico.

A partir deste ponto realizam-se duas análises distintas, porém paralelas: A aplicação do Método Pert-Risco e uma simulação fundamentada no Método Monte Carlo.

Na análise realizada através do Método Pert-Risco é possível determinar estatisticamente as probabilidades de conclusão do projeto dentro do prazo previsto pelo cronograma analisado anteriormente e o grau de variação, em tempo, da data final de conclusão do projeto.

Na simulação embasada no Método Monte Carlo é possível não somente se obter uma curva de distribuição que permite a obtenção das probabilidades de cumprimento dos prazos definidos no cronograma desenvolvido inicialmente, como também a variabilidade que este prazo pode apresentar, com um grande diferencial para o método Pert-Risco, pois se tendo em vista a importância das atividades críticas que pertencem a um projeto, e que as mesmas são definidas pela determinação do caminho crítico, podendo assim vir a sofrer variações relacionadas com as possíveis alterações de prazo das atividades, é possível, através da aplicação do Método Monte Carlo em cronogramas desenvolvidos a partir do Método PERT/CPM, se realizar a identificação das atividades que apresentam alto grau de criticidade, isto é, atividades que possuem propensão a se tornarem atividades críticas, além da análise do impacto conjunto destas no cronograma, quando levada

em consideração a variação probabilística no prazo de realização das tarefas que compõe o projeto.

Os dados reais das atividades podem levar a que o caminho crítico mude de um ramo para outro da rede. Basta que uma atividade consuma sua folga total para que ela se torne crítica. Uma atividade que antes não integrava o caminho crítico pode doravante ser crítica e, por conseguinte, precisa ter sua duração monitorada com cuidado para não atrasar mais o projeto. O planejador tem de estar bem atento para esse fato, porque o ponto de atenção da equipe muda a partir da constatação do novo caminho crítico” (MATTOS, 2010, p.300)

Essa análise se justifica, a partir do princípio que as variações de probabilidade das durações das atividades interferem no caminho crítico, e que apesar das folgas calculadas no desenvolvimento do cronograma através do método PERT/CPM, poderem ser consideradas como um indicador de propensão a esta atividade vir a influenciar no prazo total de duração do projeto, a probabilidade envolvida na determinação da duração das atividades não estará sendo considerada, onde, por exemplo, duas atividades com três dias de folga podem apresentar potencial crítico totalmente diferente seja pela proporcionalidade entre tempo de folga e a duração prevista da atividade como também pela dispersão dos dados utilizados para se determinar a sua duração, onde se pode encontrar atividades muito mais “estáveis” que outras, o que influencia diretamente nestes resultados.

### **3.1 Desenvolvimento do Cronograma**

Seguindo o processo de desenvolvimento de cronogramas recomendado pelo PMI (2017), descritos anteriormente, inicialmente devem ser definidas todas as atividades necessárias para a realização do escopo previsto para o projeto.

Esse passo é fundamental e servirá como alicerce para toda a continuidade do estudo, sendo que sua análise não é o tema central da presente abordagem.

Após a definição das atividades, deve ser realizado o seu sequenciamento lógico prosseguindo-se assim com a construção da rede de precedências que tem o objetivo de demonstrar a programação das atividades.

Seguindo os procedimentos descritos no PMBOK, e citados anteriormente, nesta etapa do desenvolvimento do cronograma devemos, em um caminho de retroalimentação, definir os recursos e a duração das atividades.

Devido a assertiva de HERRERI et al. (2011), a bem conhecida função de densidade de probabilidade beta pode ser caracterizada por sua flexibilidade, mas infelizmente sofre de alguma dificuldade em especificar os parâmetros, e quando não há dados disponíveis para estimá-los por meio de meios estatísticos é necessário confiar no julgamento de especialistas.

Para a definição da duração das atividades que compõe o escopo devem ser considerados dados históricos da atividade e a partir de seus extremos será desenvolvida uma distribuição triangular de probabilidades na busca da facilitação do processo de cálculos, tendo em vista que este tipo de abordagem apresenta boa compatibilização com aplicações desta natureza.

“O Índice de produtividade indica o número de homens versus horas de trabalho por unidade produzida e pode ser determinado a partir de estudos sobre o processo de construção com coleta de dados in loco, consultas com orçamentistas, engenheiros e gestores ou ainda retirados de literatura especializada (TCPO). O índice de produtividade recomendável indica valores mínimos, médios e máximos com o intuito de prover a empresa dados que relacionará sua produtividade com a que ocorre comumente nas demais empresas do setor. É importante ressaltar que o valor da produtividade depende de inúmeros fatores, entre eles: detalhamento do serviço, treinamento da mão-de-obra, efeito aprendizado, mobilização, desmobilização, organização do canteiro de obras, ergonomia, equipamentos e ferramentas apropriadas, iluminação, temperatura, etc.” (DANTAS, 2011, p.22).

Assim que concluídas as etapas anteriores será realizado o cálculo da rede de precedências, de acordo com as orientações descritas anteriormente, obtendo-se inicialmente as “Primeiras Datas de Início” e “Primeiras Datas de Término”, posteriormente as “Últimas Datas de Início” e “Últimas Datas de Término” e finalmente as “folgas totais” e “folgas livres” das atividades. A realização destes cálculos será amparada pela utilização de uma rede automática desenvolvida com a utilização de um microcomputador através do software MS Excel.

Com a rede completa, incluindo o cálculo das folgas, é possível se realizar a determinação do caminho crítico, logo apontar as atividades pertencentes ao mesmo.

### **3.2 Análise de riscos através da Metodologia PERT-Risco**

Após a conclusão do cronograma, através da construção da rede de precedências, é possível realizarmos as aplicações previstas no método PERT-Risco, onde a partir das distribuições de probabilidade determinadas para cada uma das atividades, serão selecionadas aquelas que foram classificadas como pertencentes ao caminho crítico do projeto, e realizado o somatório de suas variâncias, encontrando assim uma variância para o projeto, onde a partir da mesma será determinado seu desvio-padrão, onde segundo MATOS (2010), é possível se demonstrar através de uma simplificação matemática que o desvio-padrão, para a distribuição de três pontos, é igual ao resultado da duração pessimista subtraída a duração otimista, dividido por seis e que a variância do prazo total de um projeto é o somatório da variância das atividades que compõem seu caminho crítico. A partir desta aplicação matemática é possível se obter os valores de desvio-padrão das atividades, conseqüentemente o valor de suas variâncias, permitindo assim obtenção da variância, logo o desvio-padrão do projeto e analisar suas faixas de probabilidade relacionadas ao prazo de conclusão.

### **3.3 Realização de Simulações - Método Monte Carlo**

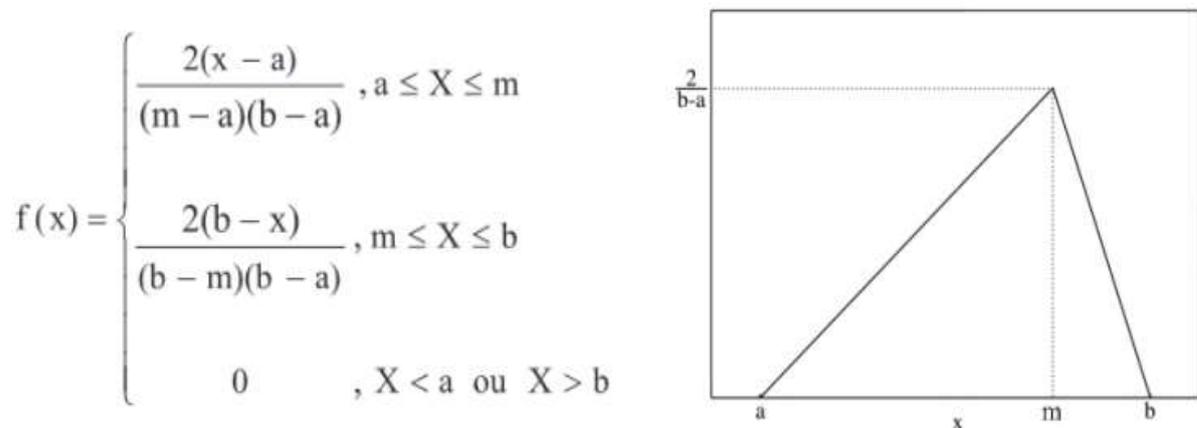
De acordo com DOS SANTOS e BECK (2015), o uso da simulação de Monte Carlo na resolução de problemas gerais envolvendo variáveis aleatórias (e / ou processos estocásticos) requer a geração de amostras do vetor variável aleatório, sendo a maneira mais direta de gerar amostras a realização de uma inversão de sua função de distribuição cumulativa.

Inicialmente defini-se o modelo a ser utilizado nas simulações a partir do roteiro descrito por HOPKINSON (2011), realizado nas etapas anteriores, para então finalizar sua modelagem e execução.

Nesta etapa da análise realiza-se uma simulação com relação à duração das atividades, fundamentadas na distribuição de probabilidades mais apropriada para cada uma das atividades previstas no cronograma do projeto ou no caso de se obter apenas informações mais elementares utilizam-se as durações, otimista, mais provável e pessimista, como base para a construção de um modelo de distribuição triangular de probabilidades.

Uma definição que pode ser considerada como válida é relativa às aproximações possíveis de se obter através da utilização de distribuições triangulares, para a simplificação das análises estatísticas de duração das atividades, pois segundo as afirmações de MACHADO e FERREIRA (2012, p.22), “Uma função que se encaixa muito bem ao modelo de prazos e custos em gestão de projetos é a função de distribuição de densidade triangular“, e sua utilização também é facilitada devido aos dados necessários para sua modelagem serem os mesmos tempos relacionados à duração otimistas, pessimistas e mais provável de cada atividade, dados estes que já devem ser determinados na aplicação do método PERT.

Gráfico 2: Modelo matemático referente à distribuição triangular



Fonte: Vilcapoma, Moura & Sampaio (2014).

A simulação se baseia em alterar o prazo de duração das atividades e recalcular a rede de precedências de forma repetitiva buscando um mínimo de interações necessárias para que haja uma redução no erro para esta estimativa a valores insignificantes com relação ao tempo total de duração previsto inicialmente para o projeto, onde segundo FERNANDES (2005) a simulação de Monte Carlo fornece

estimativas de valores esperados como também o erro desta estimativa que pode ser calculado através da seguinte fórmula:

$$\varepsilon = \frac{3\sigma}{\sqrt{N}} \quad \text{Eq. 02}$$

Onde:

$\varepsilon$  = Erro da estimativa;

$\sigma$  = Desvio-padrão

$N$  = Número de interações

Esta aplicação será realizada a partir da utilização de planilhas automáticas do MS Excel com a utilização da função “ALEATÓRIO ( )” do próprio software.

A base para desenvolvimento da real aleatoriedade da função do MS Excel não faz parte do escopo deste material.

Foram realizadas 5.000 (cinco mil) interações buscando a redução da influência sobre a análise dos erros contidos neste método.

Após a realização das interações foi possível se obter dados suficientes para a modelagem de uma distribuição de probabilidades com relação aos diversos resultados de duração total do projeto, onde se calculou o desvio-padrão da distribuição gerada possibilitando, através de suas propriedades estatística e de forma similar à utilizada no método PERT-Risco, a determinação das faixas de probabilidades relacionadas à duração total do projeto.

Outra informação que relevante que se pode obter é a verificação da quantidade de incidências de cada atividade no caminho crítico gerados a partir das variações de prazos das atividades, que conseqüentemente provocam alterações no caminho crítico, dados estes que serão tratados como a probabilidade de ocorrência do risco, e as oscilações provocadas no prazo final do projeto, variações estas que serão tratadas como os impactos provocados por cada um dos riscos identificados.

Os índices de Risco, aqui denominados como Grau de Criticidade das atividades, foram obtidos através do impacto médio gerado no resultado final do projeto, isto é, dias totais de atraso provocados no projeto dividido pelo número de observações realizadas, considerando-se apenas as interações onde a atividade em análise se encontra como parte integrante do caminho crítico. Este valor multiplicado pela proporção de incidência da atividade no caminho crítico dentre as “n” interações realizadas vai apresentar o valor esperado em termos de risco, e devido a apenas apresentar significância como índice, para fins de facilitação da compreensão e análise dos dados, buscando uma forma mais amigável de apresentação, criou-se uma faixa de 0 a 100, onde o 0 representa as atividades que não apresentam presença no caminho crítico e 100 o máximo valor esperado obtido na rotina descrita anteriormente que passa a servir como referência para a classificação das atividades com grau de criticidade inferiores.

$$\text{FICC} = \frac{\text{PI}}{\text{I}} \quad \text{Eq. 03}$$

$$\text{IMGA} = \frac{\text{DA}}{\text{PI}} \quad \text{Eq. 04}$$

$$\text{VE} = \text{FICC} \times \text{IMGA} \quad \text{Eq. 05}$$

$$\text{Grau de Criticidade} = \frac{\text{VE} \times 100}{\text{VE}_{\text{máx}}} \quad \text{Eq. 06}$$

FICC - Frequência de intervenções críticas no cronograma;

I - Número de interações;

PI - Presenças como atividade crítica no cronograma dentre as "n" interações;

IMGA - Impacto médio gerado pela atividade;

DA – Somatório dos dias de atraso quando a atividade integra o caminho crítico do projeto;

VE - Valor esperado de risco;

VE<sub>máx</sub> – Valor Esperado Máximo Encontrado dentre Todas as Atividades que compõem o projeto.

### **3.4 Análise Comparativa dos Dados Obtidos**

Depois da obtenção dos dados, através do Método Monte Carlo, deve ser realizada a comparação entre as faixas de probabilidades obtidas com aquelas determinadas através da aplicação do método PERT-Risco e as folgas das atividades determinadas pelo cronograma PERT/CPM tradicional com os graus de criticidade encontrados após a aplicação da Simulação de Monte Carlo.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

O objeto da aplicação da metodologia proposta se refere a um projeto de construção de uma edificação residencial unifamiliar, onde se buscou a apresentação de um projeto simplificado, apesar de baseado em um projeto real.

### **4.1 Descrição do Projeto Utilizado**

O projeto se baseia em uma edificação composta por um único pavimento dividido em apenas quatro cômodos, onde suas configurações, áreas e medidas podem ser observadas do ANEXO A ao D, tendo suas fundações constituídas apenas de baldrame, sua estrutura em concreto armado, apresentando unicamente os vigamentos das alvenarias, utilizadas como autoportante e também como divisórias internas e externas. Suas pavimentações de concreto armado revestido por uma camada de contrapiso. As informações relativas aos revestimentos de pisos e paredes, e seus acabamentos, se encontram no ANEXO E.

### **4.2 Determinação das Atividades do Projeto**

Através da análise do projeto foi possível se realizar a discriminação das atividades que compõe a totalidade de seu escopo. Para a facilitação na manipulação e organização dos dados, procurou-se organizar as atividades através de uma EAP, onde no intuito de viabilizar implementação da análise de custos futuramente, procurou-se basear a EAP do projeto na estrutura que classifica e discrimina os serviços, serviços estes que serão tratados como sendo as atividades do projeto, que podem ocorrer na construção de uma edificação apresentada na “Discriminação Orçamentária” do Anexo B da NBR 12.721 / 2006 de acordo com o ANEXO F.

### **4.3 Determinação do Sequenciamento Lógico das Atividades**

No sequenciamento lógico das atividades foram realizados primeiramente os sequenciamentos considerados obrigatórios e posteriormente os discricionários, utilizando a lógica de correlação apresentada junto a predecessoras de cada atividade na tabela do ANEXO G.

Apenas foram utilizadas correlações do tipo Terminar para Iniciar para a facilitação de automatização da rede de precedências desenvolvida no software MS Excel.

#### **4.4 Determinação da Duração das tarefas**

Na determinação da duração das tarefas, seja as durações, otimista, mais provável e pessimista, não foi realizada uma abordagem mais profunda, tendo sido realizadas estas determinações através de estimativas pontuais, pouco amparadas pela bibliografia apresentada, devido as variações de produtividade serem expressivas e terem forte relações com as peculiaridades envolvidas no processo, sendo fundamental a avaliação do gestor de forma particular para cada caso. Como o intuito básico deste estudo é identificar as variações em termos de prazo e criticidade de atividades de acordo com suas variações probabilísticas, o conhecimento pleno das reais durações otimista, mais provável e pessimista não exerce influência no resultado do estudo.

As informações sobre as faixas de duração das atividades podem ser identificadas através da tabela do ANEXO H.

#### **4.5 Desenvolvimento do Cronograma e Caminho Crítico**

A partir do momento que já se conhece a relação lógica de interligação das atividades do projeto e suas respectivas durações, pode-se calcular o tempo esperado para cada uma das atividades e realizar a construção da rede de precedências. Após o desenvolvimento da rede de precedências realizou-se o cálculo das primeiras e últimas datas de início e término das atividades e das folgas totais e livres, procedimento este que foi desenvolvido em planilhas automáticas do MS Excel e apresentados no ANEXO I, onde as atividades que compõe o caminho crítico estão com sua fonte diferenciada pela cor vermelha.

Como não existem datas definidas no cronograma, a programação em datas está baseada no seguimento sequencial de número de dias começando pelo dia 1 (um).

O cronograma desenvolvido a partir deste método está apresentado no ANEXO J.

#### 4.6 Aplicação da Análise PERT-Risco

Tendo em vista a obtenção de todos os dados necessários, pode se iniciar a análise prescrita pelo Método PERT-Risco.

Para a realização desta análise foi necessário fazer o cálculo da variância de todas as atividades pertencentes ao caminho crítico da rede de precedências, e a partir do somatório das mesmas foi possível encontrar a variância do projeto. Em se conhecendo a variância é possível se calcular o desvio-padrão do projeto e assim determinar as faixas de probabilidade que descrevem as suas variações de duração.

Os cálculos foram realizados em planilhas automáticas do MS Excel e apresentados no ANEXO L

De acordo com os dados obtidos:

$$\sigma^2_{\text{proj.}} = 20,22$$

$$\sigma_{\text{proj.}} = 4,5 \text{ dias}$$

Onde:

$\sigma^2_{\text{proj.}}$  = Variância do Projeto obtida através do método PERT-Risco

$\sigma_{\text{proj.}}$  = Desvio-padrão do Projeto obtido através do método PERT-Risco

Logo, se identificam as seguintes faixas de variação:

- 50% de probabilidade de o projeto ser concluído exatamente no prazo programado de 69 dias;
- 68% de probabilidade de o projeto ser concluído com uma duração entre 64,5 e 73,5 dias;
- 95% de probabilidade de o projeto ser concluído com uma duração entre 60 e 78 dias;
- 99,7% de probabilidade de o projeto ser concluído com uma duração entre 55,5 e 82,5 dias

## 4.7 Aplicação do Método Monte Carlo

Com a rede de precedência construída e todos os seus cálculos automatizados pode-se inserir na análise uma aplicação do Método Monte Carlo para buscar um novo mecanismo para analisar as variabilidades da duração do projeto e a criticidade de suas atividades.

Para o desenvolvimento da análise foram realizadas 5.000 (cinco mil) interações buscando assim minimizar os erros da análise de modo que se tornassem praticamente insignificantes.

Através da fórmula apresentada anteriormente se pode determinar a margem de erro da análise.

### 4.7.1 Resultados da Análise de Prazo de Duração do Projeto

Através da simulação realizada obteve-se uma série de dados que permitiu a construção de uma distribuição probabilística que graficamente podendo-se perceber que a mesma apresenta forte correlação com uma distribuição normal provendo os seguintes resultados:

$$\sigma^2_{\text{proj. MC}} = 18,36$$

$$\sigma_{\text{proj. MC}} = 4,28 \text{ dias}$$

Onde:

$$\sigma^2_{\text{proj.}} = \text{Variância do Projeto obtida através do Método Monte Carlo}$$

$$\sigma_{\text{proj.}} = \text{Desvio-padrão do Projeto obtido através do Método Monte Carlo}$$

Logo, identificam-se as seguintes faixas de variação:

- 50% de probabilidade de o projeto ser concluído exatamente no prazo programado de 72,24 dias;
- 68% de probabilidade de o projeto ser concluído com uma duração entre 67,95 e 76,52 dias;

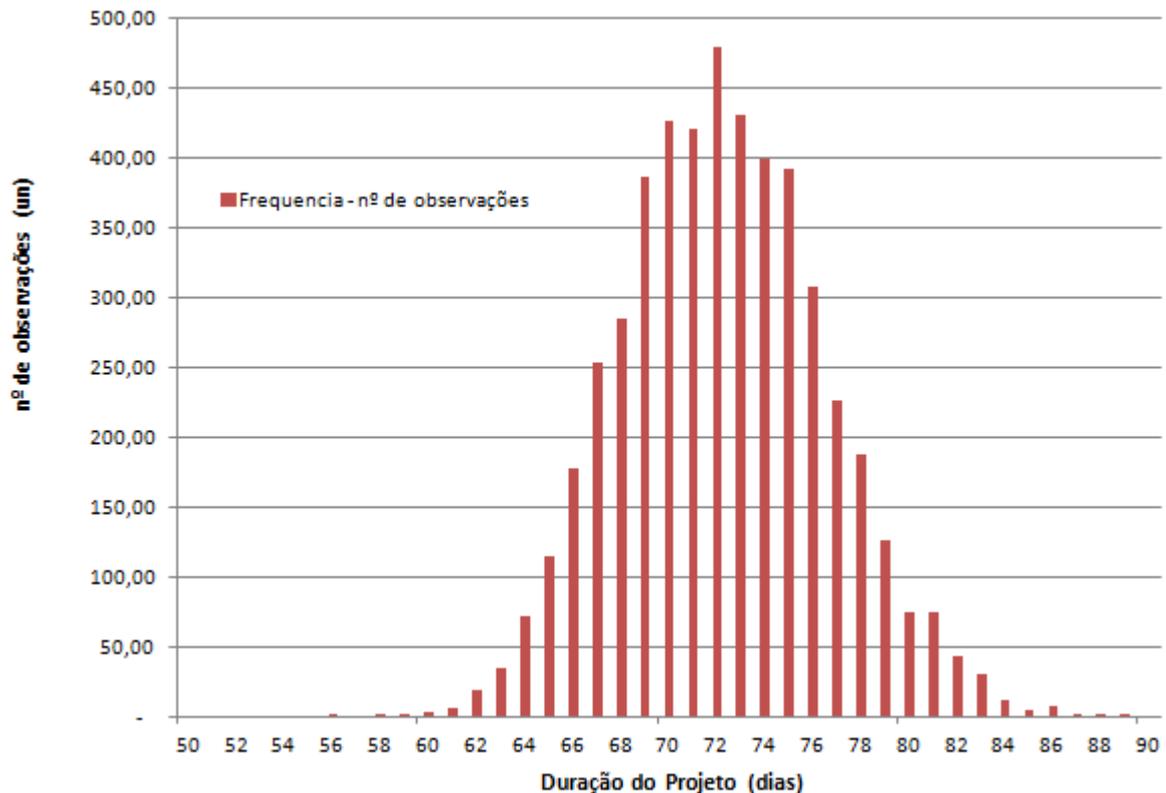
- 95% de probabilidade de o projeto ser concluído com uma duração entre 63,67 e 80,81 dias
- 99,7% de probabilidade de o projeto ser concluído com uma duração entre 59,38 e 85,09 dias

Através do cálculo do erro da estimativa baseado nos referencias descritos anteriormente obtemos o seguinte resultado:

Erro de Estimativa do Método Monte Carlo foi de 1 h e 38 min. (uma hora e trinta e oito minutos)

Este resultado demonstra a pouca influência do erro de estimativas do Método Monte Carlo para este estudo.

Gráfico 2: Histograma de distribuição de frequências obtidos através do Método Monte Carlo.



Fonte: Próprio autor.

A tabela que apresenta as frequências obtidas através da simulação se encontra no ANEXO M.

#### **4.7.2 Resultados da Análise da Criticidade das Atividades do Projeto**

Através da simulação realizada obtivemos uma série de dados que permitiu a construção de uma base de informações que correlacione o número de ocorrências em que a atividade interfere no caminho crítico e as variabilidades com relação à duração do projeto, buscando assim classificar todas as atividades de acordo com seu grau de criticidade, grau este determinado através da multiplicação das probabilidades de ocorrência obtidas pelo impacto gerado ao prazo de conclusão do cronograma.

Com os resultados obtidos, apresentado no ANEXO N, pode-se identificar quatro níveis de criticidade nas atividades: Aquelas que apresentam Grau de Criticidade 100, isso é, o grau de criticidade máximo (estiveram como parte integrante do caminho crítico em 100% das observações); aquelas que apresentaram Grau de criticidade 84 (presença parcial no caminho crítico, mas com elevada frequência, em aproximadamente 80% das observações); aquelas com Grau de criticidade 19 (presença parcial no caminho crítico, mas com baixa frequência, em aproximadamente 30% das observações) e as que apresentaram Grau de criticidade nulo, logo não representaram significância para data final de entrega do projeto em nenhuma das observações (0% de ocorrência nas observações).

Também foi possível perceber que o índice denominado Grau de Criticidade tem relação próxima com a folga obtida no cronograma de referência, porém sua análise é mais apurada, fato que se pode perceber claramente nas atividades com folga 0 (zero), onde pelo método PERT poderíamos considerar estas atividades como apresentando o mesmo nível de criticidade e com a aplicação do Método Monte Carlo pode-se perceber que existe distinção entre grau de risco das mesmas.

Os dados relativos à análise de criticidade estão apresentados no ANEXO N.

#### **4.8 Comparação Entre os Resultados Obtidos pelo Método PERT-Risco e Método Monte Carlos**

Ao se comparar os resultados obtidos pelo Método PERT-Risco com aqueles provenientes da aplicação do Método Monte Carlo, é possível identificar que existiu uma divergência em torno de 5% (cinco por cento) entre os resultados obtidos pelos distintos modelos. A princípio, nesta aplicação, pode-se perceber que aparentemente, o Método Monte Carlo apresentou resultado com maior restrição do que o método PERT-Risco.

Com relação à avaliação da criticidade das atividades do projeto, pode-se perceber que através da simulação de Monte Carlo é possível se identificar faixas de criticidade e as variabilidades que ocorrem no caminho crítico, informações estas, que podem ser de grande valia para o gestor tanto durante o acompanhamento quanto com relação ao planejamento operacional e financeiro destas atividades.

Foi possível perceber, através dos dados apresentados no ANEXO N, que apesar de não existir metodologia específica para análise da variabilidade do caminho crítico e do potencial crítico das atividades que não compõe o caminho crítico determinado pelo Método PERT/CPM, se pôde identificar uma forte correlação da criticidade das atividades com as suas folgas, o que também pode ser utilizado como indicador em análises realizadas unicamente com a utilização do Método PERT/CPM.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise e discussão sobre os dados e resultados obtidos neste estudo, foi possível concluir, no que tange a análise de duração total do projeto, que aplicação do Método Monte Carlo em comunhão com os mecanismos de gerenciamento do tempo em projetos prescritos pelo Método PERT/CPM e a metodologia de análise de risco proveniente do Método PERT-Risco, apesar de apresentar proximidade nos resultados, pode surtir efeitos significativos em determinados projetos onde o requisito tempo é o mais valorizado ou em contratos que prevejam multas ou benefícios relacionados ao prazo de conclusão do projeto.

Pode-se perceber que um dos pontos fundamentais da análise está na determinação das durações otimista, mais provável e pessimista, pois apesar de ser uma informação de difícil acesso e de questionável confiabilidade, se aplica logo no princípio do procedimento, na utilização dos referidos métodos, e ampara todo o seu desenvolvimento.

No que diz respeito à avaliação da criticidade das atividades, percebe-se que a mesma pode vir a auxiliar na orientação do gestor, mas a utilização das informações relacionadas às folgas, obtidas através do Método PERT/CPM, também pode ser considerada como de grande valia, tendo em vista que quanto menor a folga total de uma atividade maior seu grau de criticidade.

Devido à relativa simplicidade na aplicação do Método de Monte Carlo para análises desta natureza, sua abordagem estatística, amparada pela obtenção de resultados aleatórios dentro da curva de distribuição probabilística, capaz de cobrir a gama de variáveis que podem influenciar na duração das atividades, além de considerar a interpelação entre as mesmas, parâmetros estes que norteiam as análises de riscos relacionadas ao tempo de duração de um projeto, na opinião deste autor, a aplicação do mesmo se justifica e merece ser estudada mais profundamente.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, E. P. D.; FERREIRA, M. L. R. **Técnicas de análise de risco aplicadas à planejamento e programação de projetos da construção civil**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 163p. 2005.

ARAYA, F. et al. **Towards zero-process waste through supply chain integration in steel construction**. Revista Ingeniería de Construcción, v. 31, n. 2, p. 82, 2016.

AZIZ, Remon Fayek. **RPERT: Repetitive-projects evaluation and review technique**. Alexandria Engineering Journal, v. 53, n. 1, p. 81-93, 2014.

BARCAUI, André B.; QUELHAS, Osvaldo. **Corrente Crítica: Uma Alternativa à Gerencia de Projetos Tradicional**. Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção, n. 2, p. 1-21, 2004.

BORGES, Juliana Ferreira Barbosa. **Gestão de projetos na construção civil**. Revista Especialize On-line, 2013.

CARNEIRO, Francisco Claro da Silva. **Avaliação de riscos: Aplicação a um processo de construção**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro, 2011.

CARRASCO PURULL, Gonzalo. **Misiles y cronómetros: La instrumentalidad de la arquitectura desde las herramientas del management**. ARQ (Santiago), n. 96, p. 36-47, 2017.

CONTADOR, José Luiz; SENNE, Edson Luiz França. **Determinação de caminhos k-críticos em redes PERT**. Gestão & Produção, p. 463-476, 2007.

COUTO, J. Pedro; TEIXEIRA, José M. Cardoso. **As consequências do Incumprimento dos Prazos para a Competitividade da Indústria de Construção: razões para os Atrasos**. 2005. Disponível em: < [http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/5068/1/Couto\\_CN\\_2005.pdf](http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/5068/1/Couto_CN_2005.pdf)> Acesso em: 28 set 2015

DANTAS, José Diego Formiga. **Produtividade da mão de obra-Estudo de caso: métodos e tempos na indústria da construção civil no subsetor de edificações**

**na cidade de João Pessoa-PB.** Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, Brasil. 2011.

DOS SANTOS, Ketson RM; BECK, Andre Teofilo. **A benchmark study on intelligent sampling techniques in Monte Carlo simulation.** Latin American Journal of Solids and Structures, v. 12, n. 4, p. 624-648, 2015.

DOSKOČIL, Radek. **An evaluation of total project risk based on fuzzy logic.** Business: Theory and Practice/Verslas: Teorija ir Praktika, v. 17, n. 1, p. 23-31, 2015.

FARINHA, André Martins. **Metodologia de gestão integrada de prazos e custos- Aplicação do Earned Value Management numa obra.** 2013. Disponível em: <<http://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/68986>> Acesso em: 17 set. 2015.

FERNANDES, César Augusto. **Gerenciamento de riscos em projetos: como usar o Microsoft Excel para realizar a simulação Monte Carlo.** Disponível em: <<http://felipeximenes.xpg.uol.com.br/20062/trabalhos/financas/MonteCarloExcel.pdf>> Acesso em: 28 out. 2015.

GÁLVEZ, Edelmira Delfina; ORDIERES, Joaquin Bienvenido; CAPUZ-RIZO, Salvador Fernando. **Evaluation of project duration uncertainty using the dependency structure matrix and Monte Carlo simulations.** Revista de la Construcción. Journal of Construction, v. 14, n. 2, p. 72-79, 2015.

GEHBAUER, Fritz et al. **Planejamento e gestão de obras.** Editora Cefet-PR, 2002.

HAJDU, Miklos; BOKOR, Orsolya. **The effects of different activity distributions on project duration in pert networks.** Procedia-Social and Behavioral Sciences, v. 119, p. 766-775, 2014.

HERRERI, José Manuel et al. **Revisiting the PERT mean and variance.** European Journal of Operational Research, v. 210, n. 2, p. 448-451, 2011.

HOJJATI, Sanaz Nikghadam; NOUDEHI, Nasibeh Rahbar. **The use of Monte Carlo simulation in quantitative risk assessment of IT projects.** International Journal of Advanced Networking and Applications, v. 7, n. 1, p. 2616, 2015.

HOPKINSON, Martin. **Monte Carlo Schedule Risk Analysis-a process for developing rational and realistic risk models**. Risk Management Capability Ltd, 2011.

JOUBERT, Francois Jacobus; PRETORIUS, Leon. **Using Monte Carlo simulation to create a ranked check list of risks in a portfolio of railway construction projects**. South African Journal of Industrial Engineering, v. 28, n. 2, p. 133-148, 2017.

KERZNER, Harold - **Project Management: A system approach to planning, scheduling, and controlling** - 12th edition, United States of America: John Wiley & Sons, 2017

LIMMER, Carl Vicente. **Planejamento, orçamentação e controle de projetos e obras**. Livros Técnicos e Científicos, 1997.

LIU, Yang; LI, Yan. **Risk management of construction schedule by PERT with Monte Carlo simulation**. In: Applied Mechanics and Materials. Trans Tech Publications, p. 1646-1650, 2014.

MACHADO, Nilton Roberto dos Santos; FERREIRA, Alessandre Oliveira. **Método de simulação de Monte Carlo em planilha Excel: desenvolvimento de uma ferramenta versátil para análise quantitativa de riscos em gestão de projetos**. Revista de Ciências Gerenciais, v. 16, n. 23, p. 223-244, 2012..

MARÇAL, Roberto Capparelli. **Um Estudo Comparativo das Técnicas de PERT/CPM com a Simulação de Monte Carlo, Uma Ferramenta no Gerenciamento de Riscos em Projetos**. FGV, ANAIS do SIMPOI, São Paulo, 2014.

MATHKOUR, Hassan; ASSASSA, Ghazy; BAIHAN, A. **A risk management tool for extreme programming**. International Journal of Computer Science and Network Security, v. 8, n. 8, p. 326-333, 2008.

MATTOS, Aldo Dórea. **Planejamento e controle de obras**. Pini, 2010.

MAZLUM, Mete; GÜNERI, Ali Fuat. **CPM, PERT and Project Management with Fuzzy Logic Technique and Implementation on a Business**. Procedia-Social and Behavioral Sciences, v. 210, p. 348-357, 2015.

MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. Livros Técnicos e Científicos, 2003.

MORANO, Cássia Andréa Ruotolo. **Análise de Risco na Estimativa de Custo de Obras de Estruturas Metálicas**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brasil. 2013.

MOUHOUB, Nasser Eddine; BENHOCINE, Abdelhamid; BELOUADAH, Hocine. **A new method for constructing a minimal PERT network**. Applied Mathematical Modelling, v. 35, n. 9, p. 4575-4588, 2011.

MOUSSA, Mohamed; RUWANPURA, Janaka; JERGEAS, George. **CTAN for risk assessments using multilevel stochastic networks**. Journal of construction engineering and management, v. 133, n. 1, p. 96-101, 2007.

NBR, ABNT. 12721. **Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios**. 2006.

ÖKMEN, Ö.; ÖZTAŞ, A. **A CPM-based scheduling method for construction projects with fuzzy sets and fuzzy operations**. Journal of the South African Institution of Civil Engineering, v. 56, n. 2, p. 02-08, 2014.

ÖKMEN, Ö.; ÖZTAS, A. **Uncertainty evaluation with fuzzy schedule risk analysis model in activity networks of construction projects**. Journal of the South African Institution of Civil Engineering= Joernaal van die Suid-Afrikaanse Instituut van Siviele Ingenieurswese, v. 56, n. 2, p. 9-20, 2014.

PMI, Project Management Institute. **A guide to the project management body of knowledge – PMBoK Guide**. Sixth edition, Newtown Square, 2017.

RUI-MEI, Li. **Properties of Monte Carlo and its application to risk management.** International Journal of u-and e-Service, Science and Technology, v. 8, n. 9, p. 381-390, 2015.

SHARMA, Isha; SURI, P. K. **Schedule risk analysis simulator using beta distribution.** International Journal on Computer Science and Engineering, v. 3, n. 6, p. 2408-2414, 2011.

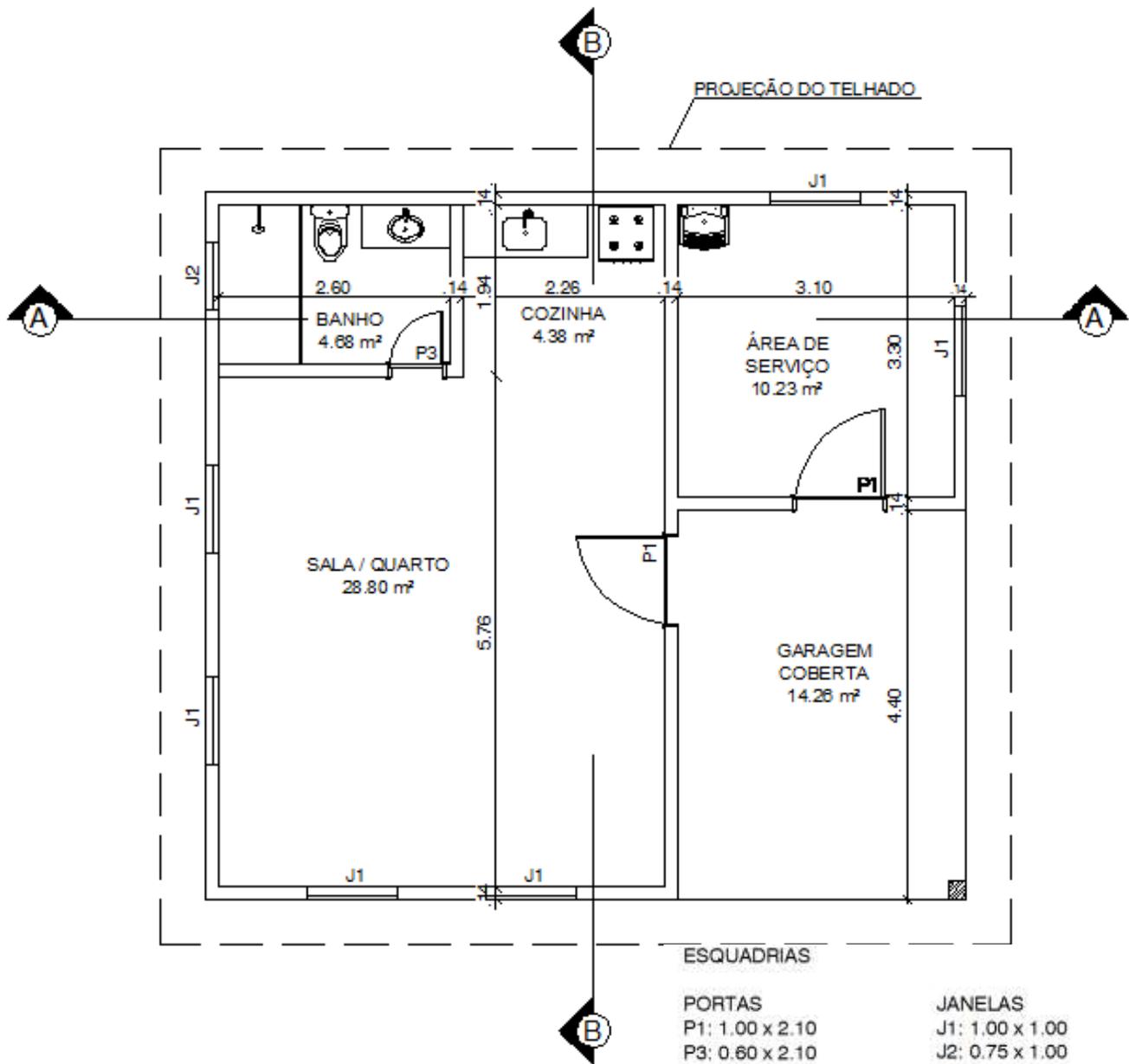
SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes. **Como aumentar a eficiência da mão de obra: manual de gestão da produtividade na construção civil.** São Paulo: Editora Pini, 2006.

TRIETSCH, Dan; BAKER, Kenneth R. **PERT 21: Fitting PERT/CPM for use in the 21st century.** International journal of project management, v. 30, n. 4, p. 490-502, 2012.

VILCAPOMA, Aníbal Alberto Ignácio; DE MAGALHÃES MOURA, Luize; SAMPAIO, Léa Maria Dantas. **Uso da simulação de Monte Carlo em projetos de construção de rodovias no norte fluminense.** XVII Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha, v. 1, n. 1, p. 872-882, 2014.

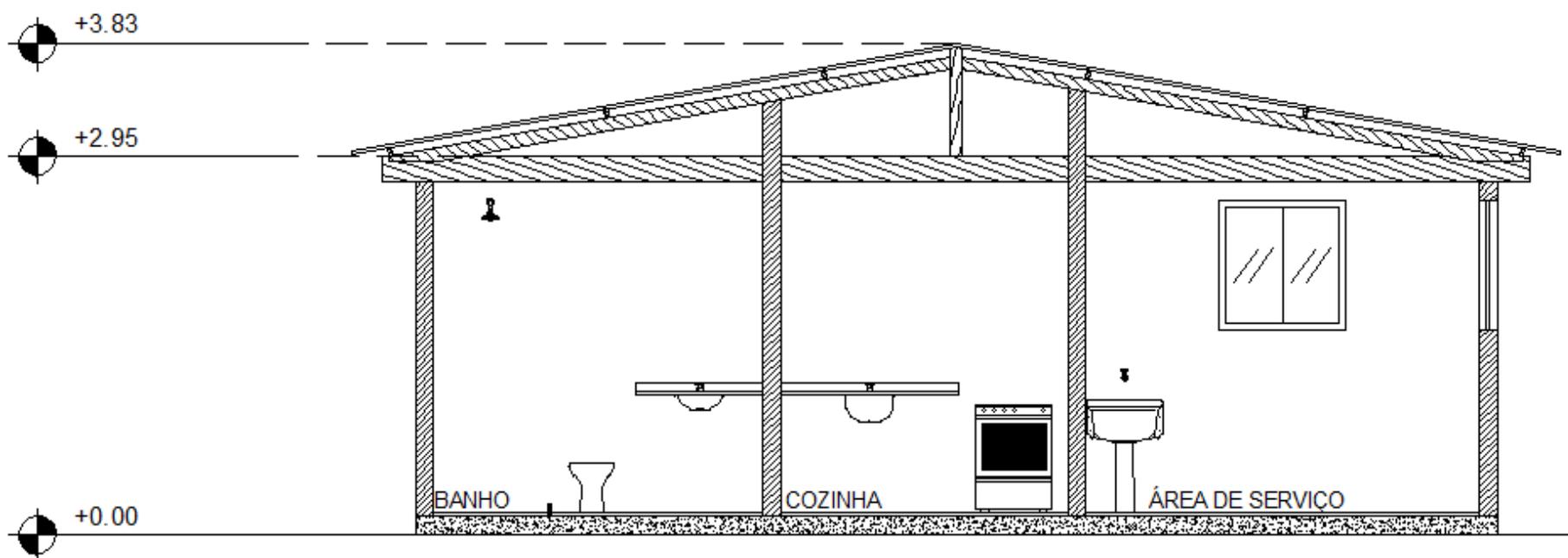
YOSHITAKE, Mariano et al. **O Método de Simulação de Monte Carlo aplicado ao Plano-sequência para análise do risco em custos.** X Congresso Internacional de Custos. Florianópolis, SC, Brasil, 2005. Disponível em: < [http://www.intercustos.org/documentos/custos\\_291.pdf](http://www.intercustos.org/documentos/custos_291.pdf)> Acesso em: 09 set. 2015.

## ANEXO A – PLANTA BAIXA DO PROJETO GENÉRICO



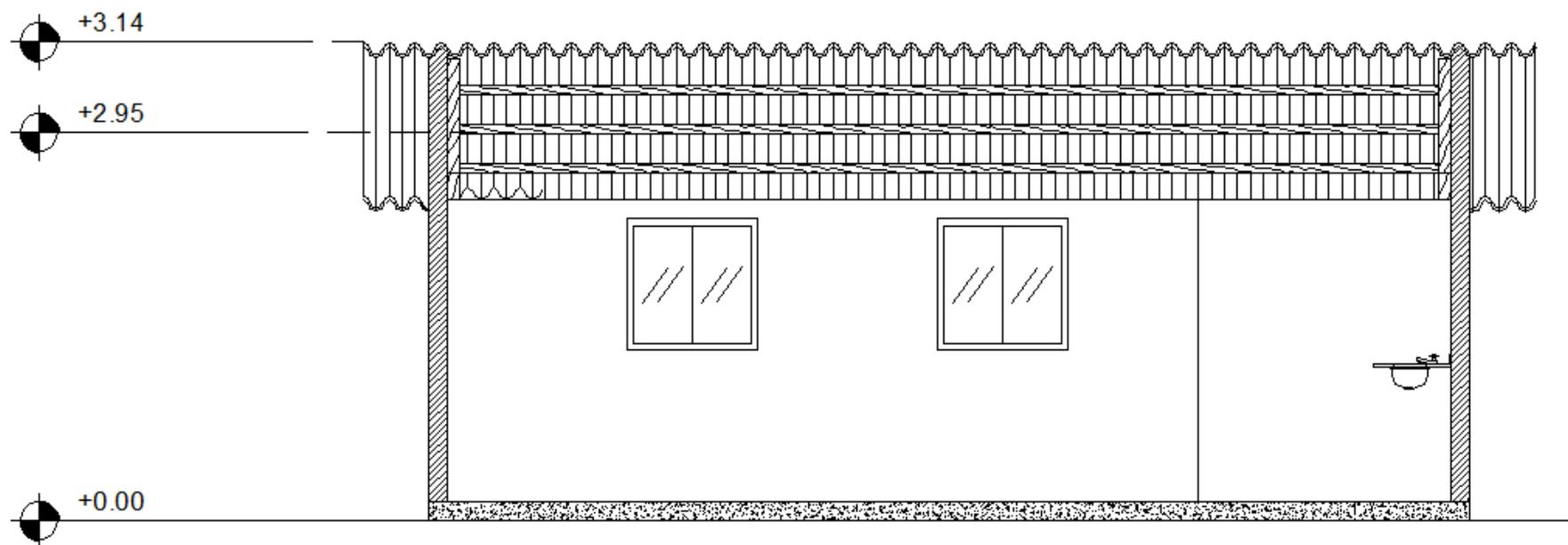
○ PLANTA BAIXA DA CASA

## ANEXO B – CORTE AA DO PROJETO GENÉRICO



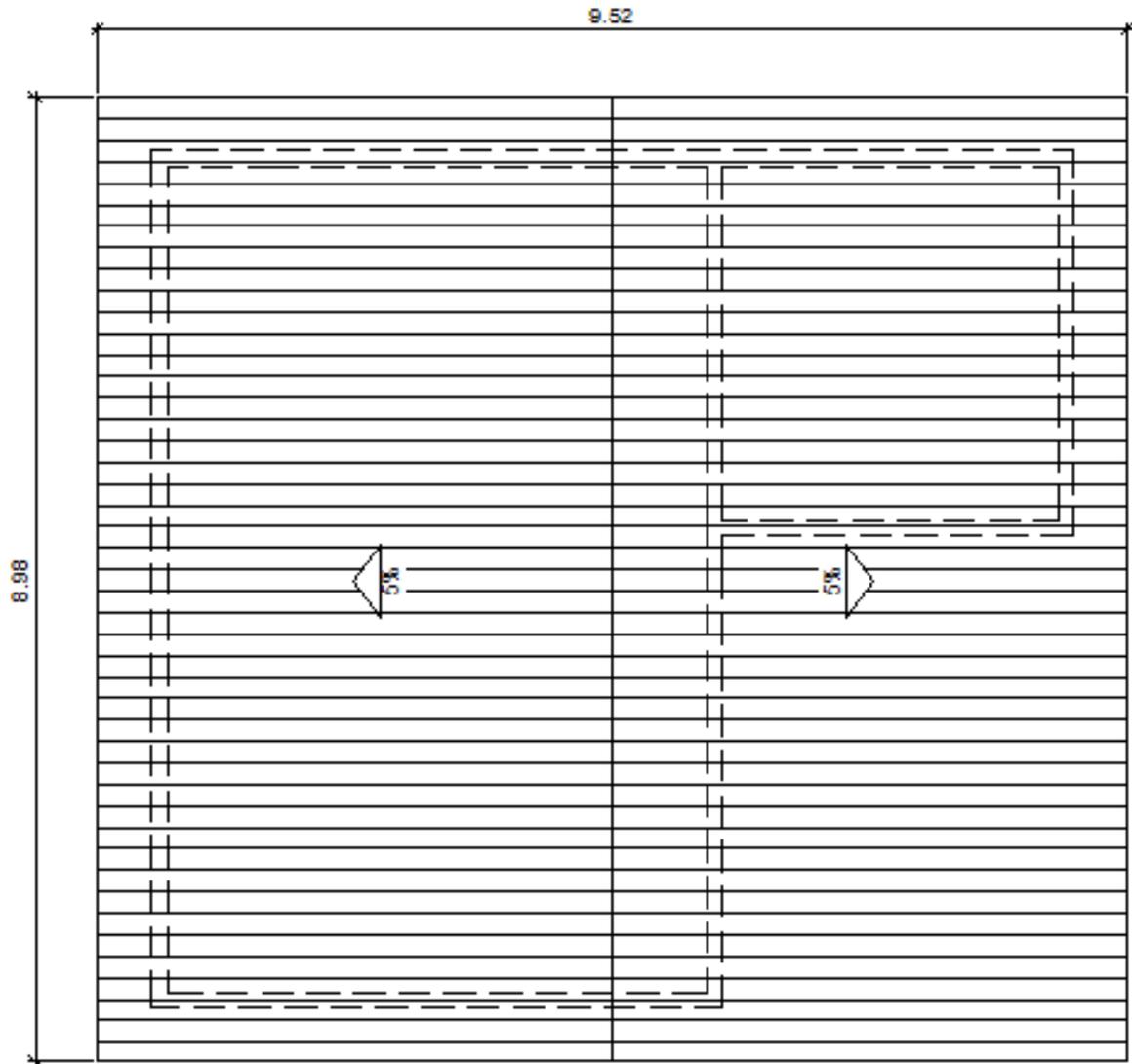
CORTE AA

## ANEXO C – CORTE BB DO PROJETO GENÉRICO



 CORTE BB

## ANEXO D – PLANTA DE COBERTURA DO PROJETO GENÉRICO



○ PLANTA DE COBERTURA DA CASA

## ANEXO E – QUADRO DE REVESTIMENTOS E ACABAMENTOS

DEPENDÊNCIAS	PISOS			PAREDES			TETOS	
	REVESTIMENTO	ACABAMENTO	SOLEIRA	REVESTIMENTO	ACABAMENTO	RODAPÉ	REVESTIMENTO	ACABAMENTO
SALA / QUARTO	cerâmica	esmaltada	granito	gesso	pintura plástica	cerâmica	telhas fibrocimento	onduladas
COZINHA	cerâmica	esmaltada	cerâmica	emboço ou gesso	pintura plástica	cerâmica	telhas fibrocimento	onduladas
BANHO	cerâmica	esmaltada	-	emboço	pintura plástica	-	rebaixo em gesso	pintura plástica
ÁREA DE SERVIÇO	cerâmica	esmaltada	cerâmica	cerâmica ou azulejo	rejuntado	-	telhas fibrocimento	onduladas
GARAGEM COBERTA	cimentado	semi-áspero	-	emboço	pintura plástica	-	telhas fibrocimento	onduladas
TELHADO	-	-	-	-	-	-	telhas fibrocimento	onduladas

## ANEXO F – DESCRIÇÃO E CODIFICAÇÃO DAS ATIVIDADES DO PROJETO

<b>COD</b>	<b>ATIVIDADES</b>
<b>001</b>	<b>SERVIÇOS SOCIAIS</b>
001.001	Serviços Técnicos
001.002	Instalações Provisórias
001.003	Movimento de terra
001.004	Locação da Obra
<b>002</b>	<b>INFRA ESTRUTURA</b>
002.001	Fundações Rasas (Baldrame)
<b>003</b>	<b>SUPRA ESTRUTURA</b>
003.001	Estrutura de Concreto Armado
<b>004</b>	<b>PAREDES E PANÉIS</b>
004.001	Alvenaria de Vedação
004.002	Esquadria de Madeira
004.003	Esquadria de Alumínio
<b>005</b>	<b>COBERTURAS E PROTEÇÕES</b>
005.001	Estrutura do telhado
005.002	Telhas e cumieiras
005.003	Calhas
<b>006</b>	<b>REVESTIMENTOS</b>
006.001	Revestimentos Argamassados internos
<b>006</b>	<b>REVESTIMENTOS</b>
006.002	Revestimento Cerâmicos
006.003	Revestimentos Argamassados externos
006.004	Forros e Rebaixos em Gesso
006.005	Pinturas Internas
006.006	Pinturas Externas
<b>007</b>	<b>PAVIMENTAÇÕES</b>
007.001	Pavimentações em Concreto Armado
007.002	Contrapisos
007.003	Pavimentações Cerâmicas
007.004	Radapés
007.005	Soleiras, filetes e tentos
007.006	Peitoris
<b>008</b>	<b>INSTALAÇÕES E APARELHOS</b>
008.001	Louças, metais e acabamentos de tomada
008.002	Bancadas
008.003	Instalações Elétricas, Especiais, Hidráulica, Esgoto e Pluviais
<b>009</b>	<b>COMPLEMENTAÇÃO DA OBRA</b>
009.001	Arremates e limpeza final
009.002	Paisagismo e Decoração Externa

ANEXO G – DETERMINAÇÃO DA SEQUENCIA LÓGICA DE CORRELAÇÃO  
ENTRE AS ATIVIDADES (CONTINUA)

COD	ATIVIDADES	PREDECESSORAS	OBSERVAÇÕES	
<b>001</b>	<b>SERVIÇOS SOCIAIS</b>			
001.001	Serviços Técnicos		Atividade que inicia o projeto	
001.002	Instalações Provisórias	001.001	Primeira atividade a ser realizada no canteiro de obras	
001.003	Movimento de terra	001.002	Após a realização das instalações provisórias será liberado para entrada dos equipamentos de movimentação de terras para realizarem os cortes e aterros necessários	
001.004	Locação da Obra	001.003	Após os cortes e aterros realizados é possível se iniciar a locação da obra	
<b>002</b>	<b>INFRA ESTRUTURA</b>			
002.001	Fundações Rasas (Baldrame)	001.004	Depois de locado os principais vértices da edificação é possível se iniciar a produção das fundações	
<b>003</b>	<b>SUPRA ESTRUTURA</b>			
003.001	Estrutura de Concreto Armado	004.001	Com as alvenarias elevadas foi considerado o momento mais indicado para a produção das formas e concretagem das vigas de cintamento	
<b>004</b>	<b>PAREDES E PANÉIS</b>			
004.001	Alvenaria de Vedação	002.001	Com as fundações concluídas é possível se iniciar a construção das alvenarias principalmente tendo-se em vista que a edificação não possui pilares	
004.002	Esquadria de Madeira	007.005	Somente pode ser posicionada após a colocação das soleiras e filetes	
004.003	Esquadria de Alumínio	007.006	Somente pode ser posicionada após a colocação dos peitoris	
<b>005</b>	<b>COBERTURAS E PROTEÇÕES</b>			
005.001	Estrutura do telhado	003.001	Para a construção da estrutura do telhado há a necessidade de se ter a estrutura da casa concluída, pois é sobre a mesma que a estrutura do telhado irá se sustentar	
005.002	Telhas e cumeeiras	005.001	Para a instalação das telhas e cumeeiras é necessário se ter a estrutura do telhado concluída	
005.003	Calhas	005.002	Para a instalação das calhas do telhado é recomendado que se tenham as telhas posicionadas	
<b>006</b>	<b>REVESTIMENTOS</b>			
006.001	Revestimentos Argamassados internos	008.003	007.001	Após a conclusão de todas as instalações podem ser liberadas para o trabalho as equipes de revestimentos, mas como não é recomendado ou quase inviável se produzir o piso de concreto e o revestimento ao mesmo tempo esse terá seu início atrasado

ANEXO G – DETERMINAÇÃO DA SEQUENCIA LÓGICA DE CORRELAÇÃO  
ENTRE AS ATIVIDADES (CONTINUAÇÃO)

COD	ATIVIDADES	PREDECESSORAS	OBSERVAÇÕES	
<b>006</b>	<b>REVESTIMENTOS</b>			
006.002	Revestimento Cerâmicos	006.001	007.002	Após o revestimento argamassado é possível se realizar a aplicação da cerâmica, mas tendo em vista que não é operacionalmente interessante que se execute atividades no piso e na parede ao mesmo tempo considerando-se as limitações de área.
006.003	Revestimentos Argamassados externos	004.001		Após a realização das alvenarias de vedação é possível se iniciar a execução do revestimento argamassado externo
006.004	Forros e Rebaixos em Gesso	005.002		Devem estar protegidos de intempéries para sua execução
006.005	Pinturas Internas	006.002	006.004	Após a aplicação dos revestimentos cerâmicos recomenda-se a realização da pintura
006.006	Pinturas Texturizada Externas	004.002	004.003	A pintura externa somente deverá ser realizada após a instalação das portas e janelas evitando assim a necessidade de arremates
<b>007</b>	<b>PAVIMENTAÇÕES</b>			
007.001	Pavimentações em Concreto Armado	008.003		Como certamente grande parte da instalação passa sob ou embutida no piso, após a conclusão de todas as instalações podem ser liberadas para o trabalho as equipes preparação de piso de concreto
007.002	Contrapisos	006.001		Concluído o revestimento argamassado das paredes realiza-se a execução do contrapiso
007.003	Pavimentações Cerâmicas	007.002	006.002	As pavimentações cerâmicas devem ser realizadas obrigatoriamente após a conclusão do contrapiso e operacionalmente recomenda-se que a mesma somente seja executada após a aplicação dos revestimentos de parede
007.004	Rodapés	007.003		Os rodapés somente poderão ser executadas após conclusão da pavimentação cerâmica
007.005	Soleiras, filetes e tentos	007.003		Recomenda-se que as soleiras, filetes e tentos somente sejam executadas após conclusão da pavimentação cerâmica
007.006	Peitoris	006.003		Após a execução dos revestimentos argamassados externos os peitoris podem ser dimensionados e instalados
<b>008</b>	<b>INSTALAÇÕES E APARELHOS</b>			
008.001	Louças, metais e acabamentos de tomada	006.005	008.002	Sua aplicação se dará após a realização da pintura interna
008.002	Bancadas	006.002		Após a execução dos revestimentos cerâmicos realização a instalação das bancadas de cozinha e banheiro

ANEXO G – DETERMINAÇÃO DA SEQUENCIA LÓGICA DE CORRELAÇÃO  
ENTRE AS ATIVIDADES (CONCLUSÃO)

COD	ATIVIDADES	PREDECESSORAS	OBSERVAÇÕES	
<b>008</b>	<b>INSTALAÇÕES E APARELHOS</b>			
008.003	Instalações Elétricas, Especiais, Hidráulica, Esgoto e Pluviais	004.001	Após a elevação das alvenarias é possível se realizar toda a parte de instalações excluindo os acabamentos	
<b>009</b>	<b>COMPLEMENTAÇÃO DA OBRA</b>			
009.001	Arremates e limpeza final	008.001	006.006	Após a conclusão das atividades de pintura dos exteriores e da instalação de louças, metais e acabamentos de instalações realiza-se os arremates e a limpeza final
009.002	Paisagismo e Decoração Externa	006.006	009.001	Em concluidas as atividades de pintura do exterior da residencia realiza-se as atividades de paisagismo e decoração do exterior

## ANEXO H – DETERMINAÇÃO DAS FAIXAS DE DURAÇÃO DAS ATIVIDADES

COD	ATIVIDADES	DURAÇÕES DAS ATIVIDADES (Dias Corridos)		
		OTIMISTA	MAIS PROVAVEL	PESSIMISTA
<b>001</b>	<b>SERVIÇOS SOCIAIS</b>			
001.001	Serviços Técnicos	5	8	14
001.002	Instalações Provisórias	2	4	6
001.003	Movimento de terra	1	4	6
001.004	Locação da Obra	1	2	3
<b>002</b>	<b>INFRA ESTRUTURA</b>			
002.001	Fundações Rasas (Baldrame)	3	6	12
<b>003</b>	<b>SUPRA ESTRUTURA</b>			
003.001	Vigas de Cintamento da Alvenaria	4	8	12
<b>004</b>	<b>PAREDES E PANÉIS</b>			
004.001	Alvenaria de Vedação	2	5	7
004.002	Esquadria de Madeira	1	2	4
004.003	Esquadria de Alumínio	3	5	8
<b>005</b>	<b>COBERTURAS E PROTEÇÕES</b>			
005.001	Estrutura do telhado	6	10	14
005.002	Telhas e cumieiras	3	4	6
005.003	Calhas	1	2	3
<b>006</b>	<b>REVESTIMENTOS</b>			
006.001	Revestimentos Argamassados internos	3	4	8
006.002	Revestimento Cerâmicos	3	5	7
006.003	Revestimentos Argamassados externos	4	10	15
006.004	Forros e Rebaixos em Gesso	1	2	4
006.005	Pinturas Internas	3	5	8
006.006	Pinturas Texturizada Externas	2	3	10
<b>007</b>	<b>PAVIMENTAÇÕES</b>			
007.001	Pavimentações em Concreto Armado	2	3	5
007.002	Contrapisos	2	3	6
007.003	Pavimentações Cerâmicas	2	4	6
007.004	Radapés	1	3	4
007.005	Soleiras, filetes e tentos	1	2	3
007.006	Peitoris	1	2	3
<b>008</b>	<b>INSTALAÇÕES E APARELHOS</b>			
008.001	Louças, metais e acabamentos de tomada	1	2	4
008.002	Bancadas	1	2	6
008.003	Instalações Elétricas, Especiais, Hidráulica, Esgoto e Pluviais	3	5	7
<b>009</b>	<b>COMPLEMENTAÇÃO DA OBRA</b>			
009.001	Arremates e limpeza final	1	2	4
009.002	Paisagismo e Decoração Externa	1	2	5

**ANEXO I – PLANILHA DE CÁLCULO DA REDE DE PRECEDÊNCIA E  
DETERMINAÇÃO DAS ATIVIDADES CRÍTICAS**

COD	ATIVIDADES	DURAÇÃO (Tempo Esperado - dias)	PDI	PDT	UDI	UDT	Folga Livre	Folga Total
<b>001</b>	<b>SERVIÇOS SOCIAIS</b>							
001.001	Serviços Técnicos	9	1	10	1	10	0	0
001.002	Instalações Provisórias	4	10	14	10	14	0	0
001.003	Movimento de terra	4	14	18	14	18	0	0
001.004	Locação da Obra	2	18	20	18	20	0	0
<b>002</b>	<b>INFRA ESTRUTURA</b>							
002.001	Fundações Rasas (Baldrame)	7	20	27	20	27	0	0
<b>003</b>	<b>SUPRA ESTRUTURA</b>							
003.001	Vigas de Cintamento da Alvenaria	8	32	40	34	42	0	2
<b>004</b>	<b>PAREDES E PANÉIS</b>							
004.001	Alvenaria de Vedação	5	27	32	27	32	0	0
004.002	Esquadria de Madeira	2	59	61	59	61	0	0
004.003	Esquadria de Alumínio	5	44	49	56	61	12	12
<b>005</b>	<b>COBERTURAS E PROTEÇÕES</b>							
005.001	Estrutura do telhado	10	40	50	42	52	0	2
005.002	Telhas e cumieiras	4	50	54	52	56	0	2
005.003	Calhas	2	54	56	67	69	13	13
<b>006</b>	<b>REVESTIMENTOS</b>							
006.001	Revestimentos Argamassados internos	5	40	45	40	45	0	0
006.002	Revestimento Cerâmicos	5	48	53	48	53	0	0
006.003	Revestimentos Argamassados externos	10	32	42	44	54	0	12
006.004	Forros e Rebaixos em Gesso	2	54	56	56	58	0	2
006.005	Pinturas Internas	5	56	61	58	63	0	2
006.006	Pinturas Texturizada Externas	4	61	65	61	65	0	0
<b>007</b>	<b>PAVIMENTAÇÕES</b>							
007.001	Pavimentações em Concreto Armado	3	37	40	37	40	0	0
007.002	Contrapisos	3	45	48	45	48	0	0
007.003	Pavimentações Cerâmicas	4	53	57	53	57	0	0
007.004	Radapés	3	57	60	66	69	9	9
007.005	Soleiras, filetes e tentos	2	57	59	57	59	0	0
007.006	Peitoris	2	42	44	54	56	0	12
<b>008</b>	<b>INSTALAÇÕES E APARELHOS</b>							
008.001	Louças, metais e acabamentos de tomada	2	61	63	63	65	2	2
008.002	Bancadas	3	53	56	60	63	5	7
008.003	Instalações Elétricas, Especiais, Hidráulica,	5	32	37	32	37	0	0
<b>009</b>	<b>COMPLEMENTAÇÃO DA OBRA</b>							
009.001	Arremates e limpeza final	2	65	67	65	67	0	0
009.002	Paisagismo e Decoração Externa	2	67	69	67	69	0	0



## ANEXO L – ANÁLISE PERT-RISCO

COD	ATIVIDADES	VARIÂNCIA DAS ATIVIDADES
<b>001</b>	<b>SERVIÇOS SOCIAIS</b>	
001.001	Serviços Técnicos	2,25
001.002	Instalações Provisórias	0,44
001.003	Movimento de terra	0,69
001.004	Locação da Obra	0,11
<b>002</b>	<b>INFRA ESTRUTURA</b>	
002.001	Fundações Rasas (Baldrame)	2,25
<b>003</b>	<b>SUPRA ESTRUTURA</b>	
003.001	Vigas de Cintamento da Alvenaria	1,78
<b>004</b>	<b>PAREDES E PANÉIS</b>	
004.001	Alvenaria de Vedação	0,69
004.002	Esquadria de Madeira	0,25
004.003	Esquadria de Alumínio	0,69
<b>005</b>	<b>COBERTURAS E PROTEÇÕES</b>	
005.001	Estrutura do telhado	1,78
005.002	Telhas e cumieiras	0,25
005.003	Calhas	0,11
<b>006</b>	<b>REVESTIMENTOS</b>	
006.001	Revestimentos Argamassados internos	0,69
006.002	Revestimento Cerâmicos	0,44
006.003	Revestimentos Argamassados externos	3,36
006.004	Forros e Rebaixos em Gesso	0,25
006.005	Pinturas Internas	0,69
006.006	Pinturas Texturizada Externas	1,78
<b>007</b>	<b>PAVIMENTAÇÕES</b>	
007.001	Pavimentações em Concreto Armado	0,25
007.002	Contrapisos	0,44
007.003	Pavimentações Cerâmicas	0,44
007.004	Radapés	0,25
007.005	Soleiras, filetes e tentos	0,11
007.006	Peitoris	0,11
<b>008</b>	<b>INSTALAÇÕES E APARELHOS</b>	
008.001	Louças, metais e acabamentos de tomada	0,25
008.002	Bancadas	0,69
008.003	Instalações Elétricas, Especiais, Hidráulica, Esgoto e Pluviais	0,44
<b>009</b>	<b>COMPLEMENTAÇÃO DA OBRA</b>	
009.001	Arremates e limpeza final	0,25
009.002	Paisagismo e Decoração Externa	0,44
SOMATÓRIO DAS VARIÂNCIAS DAS ATIVIDADES CRÍTICAS:		20,22
DESVIO-PADRÃO DO PROJETO:		4,50

## ANEXO M – DADOS DE FREQUÊNCIA OBTIDOS PELO MÉTODO MONTE CARLO

<b>DURAÇÃO DO PROJETO (Dias)</b>	<b>FREQUENCIA (nº de observações)</b>
50	-
51	-
52	-
53	-
54	-
55	-
56	1,00
57	-
58	2,00
59	1,00
60	3,00
61	6,00
62	19,00
63	34,00
64	72,00
65	115,00
66	178,00
67	253,00
68	285,00
69	387,00
70	427,00
71	421,00
72	480,00
73	431,00
74	399,00
75	392,00
76	308,00
77	226,00
78	187,00
79	126,00
80	74,00
81	74,00
82	43,00
83	30,00
84	11,00
85	5,00
86	7,00
87	1,00
88	1,00
89	1,00
90	-
<b>Nº DE INTERAÇÕES:</b>	<b>5.000,00</b>

## ANEXO N – ANÁLISE DE CRITICIDADE DAS ATIVIDADES (CONTINUA)

COD	ATIVIDADES	Nº de Intervenções Críticas no Cronograma	Frequencia em Intervenções Críticas no Cronograma	Períodos de Atrasos Acumulados (dias)	Impacto Médio Gerado - Quando Crítica (dias)	Grau de Criticidade	Folga Total Obtida no Método PERT-Risco
<b>001</b>	<b>SERVIÇOS SOCIAIS</b>						
001.001	Serviços Técnicos	5.000	100,00%	16.187	3,24	100	0
001.002	Instalações Provisórias	5.000	100,00%	16.187	3,24	100	0
001.003	Movimento de terra	5.000	100,00%	16.187	3,24	100	0
001.004	Locação da Obra	5.000	100,00%	16.187	3,24	100	0
<b>002</b>	<b>INFRA ESTRUTURA</b>						
002.001	Fundações Rasas (Baldrame)	5.000	100,00%	16.187	3,24	100	0
<b>003</b>	<b>SUPRA ESTRUTURA</b>						
003.001	Vigas de Cintamento da Alvenaria	1.344	26,88%	3.054	2,27	19	2
<b>004</b>	<b>PAREDES E PANÉIS</b>						
004.001	Alvenaria de Vedação	5.000	100,00%	16.187	3,24	100	0
004.002	Esquadria de Madeira	3.989	79,78%	13.568	3,40	84	0
004.003	Esquadria de Alumínio	-	0,00%	-	0,00	0	12
<b>005</b>	<b>COBERTURAS E PROTEÇÕES</b>						
005.001	Estrutura do telhado	1.344	26,88%	3.054	2,27	19	2
005.002	Telhas e cumieiras	1.344	26,88%	3.054	2,27	19	2
005.003	Calhas	-	0,00%	-	0,00	0	13
<b>006</b>	<b>REVESTIMENTOS</b>						
006.001	Revestimentos Argamassados internos	3.994	79,88%	13.580	3,40	84	0
006.002	Revestimento Cerâmicos	3.994	79,88%	13.580	3,40	84	0
006.003	Revestimentos Argamassados externos	-	0,00%	-	0,00	0	12
006.004	Forros e Rebaixos em Gesso	1.344	26,88%	3.054	2,27	19	2
006.005	Pinturas Internas	1.353	27,06%	3.071	2,27	19	2
006.006	Pinturas Texturizada Externas	3.989	79,78%	13.568	3,40	84	0
<b>007</b>	<b>PAVIMENTAÇÕES</b>						
007.001	Pavimentações em Concreto Armado	3.994	79,88%	13.580	3,40	84	0
007.002	Contrapisos	3.994	79,88%	13.580	3,40	84	0
007.003	Pavimentações Cerâmicas	3.989	79,78%	13.568	3,40	84	0
007.004	Radapés	-	0,00%	-	0,00	0	9
007.005	Soleiras, filetes e tentos	3.989	79,78%	13.568	3,40	84	0
007.006	Peitoris	-	0,00%	-	0,00	0	12

## ANEXO N – ANÁLISE DE CRITICIDADE DAS ATIVIDADES (CONCLUSÃO)

COD	ATIVIDADES	Nº de Intervenções Críticas no Cronograma	Frequência em Intervenções Críticas no Cronograma	Períodos de Atrasos Acumulados (dias)	Impacto Médio Gerado - Quando Crítica (dias)	Grau de Críticidade	Folga Total Obtida no Método PERT-Risco
<b>008</b>	<b>INSTALAÇÕES E APARELHOS</b>						
008.001	Louças, metais e acabamentos de tomada	1.353	27,08%	3.071	2,27	19	2
008.002	Bancadas	-	0,00%	-	0,00	0	7
008.003	Instalações Elétricas, Especiais, Hidráulica, Esgoto e Pluviais	3.994	79,88%	13.580	3,40	84	0
<b>009</b>	<b>COMPLEMENTAÇÃO DA OBRA</b>						
009.001	Arremates e limpeza final	5.000	100,00%	16.187	3,24	100	0
009.002	Paisagismo e Decoração Externa	5.000	100,00%	16.187	3,24	100	0

Legenda:

- PRESEÇA INTEGRAL NO CAMINHO CRÍTICO
- PRESEÇA PARCIAL NO CAMINHO CRÍTICO (ALTA FREQUENCIA)
- PRESEÇA PARCIAL NO CAMINHO CRÍTICO (BAIXA FREQUENCIA)
- AUSENCIA DO CAMINHO CRÍTICO