

Pert/cpm Probabilístico Utilizando Simulação de Monte Carlo

Alexandre Leme Sanches
alex_sanches68@hotmail.com
FATEC BP

Natália Tafuri Fernandes
natalia.tafuri@hotmail.com
FATEC BP

Resumo: O PERT/CPM é uma ferramenta utilizada em gestão de projetos que permite o planejamento, programação e coordenação das atividades que compõem um projeto. Entretanto, o tempo de duração das atividades nem sempre são exatos, causando incertezas com relação ao tempo mínimo de duração de um projeto. Atualmente as oscilações em relação ao tempo de execução das atividades são tratadas no PERT/CPM probabilístico utilizando uma cenarização e distribuição beta. Com o objetivo de obter resultados que permitam análises mais completas, os métodos PERT/CPM e Simulação de Monte Carlo foram combinados de modo que o tempo mínimo de conclusão do projeto se apresenta como uma variável aleatória de distribuição conhecida e permita análises probabilísticas, quantificando o risco para determinado prazo de conclusão do projeto.

Palavras Chave: Gestão de Projetos - PERT/CPM - Monte Carlo - Simulação - Incerteza



1. INTRODUÇÃO

O PERT/CPM é uma ferramenta bastante utilizada na gestão de projetos, pois se trata de um método eficaz que relaciona as atividades que compõem um projeto aos seus respectivos tempos de duração, de uma forma prática, assim como, estabelece uma ligação entre as atividades, de modo que a gestão do projeto seja mais precisa.

Entretanto, nem sempre o tempo de execução das atividades é exato. Em alguns casos, imprevistos podem ocorrer, fazendo com que a duração da atividade seja diferente do tempo previamente estipulado.

Usualmente esses casos são resolvidos com a aplicação do PERT/CPM probabilístico, porém, na utilização dessa ferramenta são constituídos apenas três cenários para abordar as incertezas em relação à duração das atividades – pessimista, provável e otimista – e então, os tempos estimados de duração das atividades são encontrados aplicando os valores estipulados nos cenários à uma equação baseada na distribuição de probabilidade beta, ao passo que, a simulação de Monte Carlo gera informações mais completas sobre o tempo de duração do projeto, já que o método permite conhecer a distribuição de probabilidade do tempo mínimo de conclusão do projeto, permitindo análises probabilísticas. Com o objetivo de contornar essa limitação, o PERT/CPM foi combinado com a Simulação de Monte Carlo. Sendo assim, o **objetivo** do presente artigo é utilizar uma técnica alternativa para chegar a resultados que proporcionem informações mais valiosas para o gerenciamento do projeto.

As oscilações do tempo de execução das atividades fazem com que o tempo mínimo de conclusão do projeto também oscile, diante desta situação, quando combinadas as ferramentas PERT/CPM e Simulação de Monte Carlo, o tempo mínimo de conclusão se apresenta como uma variável aleatória de distribuição conhecida, permitindo análises probabilísticas, portanto, a **relevância** deste artigo se dá em encontrar a probabilidade de um projeto ser concluído em determinado tempo, o que é uma informação essencial para a gestão de um projeto.

As **metodologias** utilizadas para a elaboração do artigo foram a experimentação e a modelagem e simulação.

Segundo Bervian e Cervo (1983), a experimentação é um método que consiste um conjunto de processos com a finalidade de verificar hipóteses.

Para Fachin (2006, p.25) o método experimental é “aquele em que as variáveis são manipuladas de maneira preestabelecida e seus efeitos suficientemente controlados e conhecidos pelo pesquisador para observação do estudo”. Ainda segundo Fachin (2006), essa metodologia tem como função descobrir conexões causais e atingir a demonstrabilidade.

A experimentação tem como ideia principal consistir uma hipótese a fim de estabelecer uma relação de causa ou efeito dos elementos que constituem esta suposição previamente estabelecida, tratando de descobrir se um elemento varia cada vez que outro elemento sofre alguma alteração e se variam nas mesmas proporções. (BERVIAN; CERVO, 1983).

A respeito da modelagem e simulação, Chung (2004) define esta metodologia como uma estratégia de pesquisa que consiste num processo de criar e experimentar um sistema

físico através de um modelo matemático computadorizado. Um sistema pode ser definido como um conjunto de componentes ou processos que se integram e que recebem entradas e oferecem resultados para algum propósito.

Do ponto de vista da classificação deste estudo, esta é uma pesquisa exploratória. Nesse tipo de pesquisa, os fenômenos são observados, registrados, analisados e interpretados sem que haja interferência do pesquisador nos fatos estudados. (ANDRADE, 2010).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. GERENCIAMENTO DE PROJETOS

Um projeto é o esforço temporário para criar um resultado único, sempre com início e fim determinados e elaborado progressivamente. (GREENE; STELLMAN, 2010). Segundo Heldman (2009, p.3), “projetos existem para viabilizar um produto, serviço ou resultado que não existia antes”.

Para Lilenbaum (1972, p.23):

O projeto deve ser encarado como um conjunto de ações e recursos que procura a realização de um objetivo específico e concreto, fisicamente identificado, a partir de um início (origem) convencionado, submetido a diretrizes gerais prefixadas e condições de execução que apresentam limitações sensíveis. Caracteriza-se, pois, por ser finito, complexo, não-homogêneo e não repetitivo e por considerar *prazo*, *preço* (orçamento), *performance* (desempenho técnico) e *perigo* (risco) como seus termos de referência.

O gerenciamento de projetos envolve uma gama de atividades como planejar, colocar em ação o plano do projeto e acompanhar o progresso e o desempenho. (HELDMAN, 2009)

Para Heldman (2009, p.7):

O gerenciamento de projetos abrange uma série de ferramentas e técnicas, utilizadas por pessoas para descrever, organizar e monitorar o andamento das atividades do projeto. Os gerentes de projeto são os responsáveis pela administração dos processos envolvidos e pela aplicação das ferramentas e técnicas necessárias ao cumprimento das atividades do projeto.

Uma gestão eficaz é fundamental para alcançar os objetivos delineados para o projeto. Todo projeto pode possuir atividades complexas, interdependentes e que não podem ser adequadamente administradas sem um prévio planejamento. Stanger (1967) defende que o planejamento de um projeto é o meio que permite estabelecer e atingir os objetivos determinados, diminuindo o risco de imprevistos nos elementos financeiros, comerciais, técnicos, administrativos e sociais do projeto. Ademais, para que tudo aconteça dentro do esperado durante a execução do projeto, além da boa gestão e planejamento, existem algumas ferramentas que podem ajudar no gerenciamento de projetos.

Dentre as ferramentas que dão apoio a gestão de projetos, o modelo PERT/CPM é uma das técnicas mais utilizadas para administração de projetos.

2.2. PERT/CPM

A história da gestão de projetos contém registros do uso de várias técnicas e ferramentas de gerenciamento. O rápido desenvolvimento tecnológico das últimas décadas fez com que fosse desenvolvido um grande número de ferramentas de gestão. Uma dessas

técnicas é a ferramenta de gerenciamento de projetos baseada em redes, *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) e o *Critical Path Method* (CPM), métodos diferentes, porém utilizados juntos, pois são estritamente relacionados. (KLEMENTOWSKI, 1978).

O método PERT/CPM traz grandes vantagens para o gerenciamento de projetos, pois auxilia no planejamento, programação, coordenação e controle do projeto, evitando ou minimizando o risco dos efeitos advindos de uma ocorrência inesperada ou acidental durante a execução do projeto. (CUKIERMAN, 2000).

Desenvolvido por volta de 1950 pela empresa de consultoria *Booz-Allen and Hamilton*, o sistema PERT foi criado para ser utilizado pela Marinha norte-americana no programa Polaris, onde um número grande de empresas precisavam se comunicar em uma mesma linguagem. O método PERT reduziu significativamente o tempo de duração do projeto Polaris. (CUKIERMAN, 2000).

No mesmo período, a empresa DUPONT e UNIVAC desenvolveu o sistema CPM para programar a manutenção das interrupções em plantas de processamento químico. (CHASE; JACOBS; AQUILANO, 2006).

Cukierman (2000) afirma que, embora os métodos sejam diferentes, não há maiores vantagens práticas em considerá-los como dois sistemas distintos.

A ferramenta PERT/CPM ilustra, através de um Diagrama de Rede, as atividades e o avanço de cada tarefa ou do projeto todo. Por meio dele é possível identificar quando deverá ser iniciada cada tarefa, quanto tempo levará a execução de cada uma delas, quais atividades estão sendo executadas ao mesmo tempo e toda a interdependência entre resultados (DUFFY, 2006).

De acordo com Chase; Jacobs; Aquilano (2006), o objetivo principal da ferramenta PERT/CPM é determinar as informações para programação de cada atividade no projeto, possibilitando calcular quando uma atividade deve iniciar e terminar e também se essas atividades compõem o caminho crítico do projeto. Segundo Duffy (2006, p.13), “a finalidade primordial do PERT/CPM é estabelecer o caminho crítico desde o início do projeto, de forma que o administrador possa planejar essas tarefas críticas com muito cuidado”.

Martins e Laugeni (2006) definem o caminho crítico de um projeto como a sequência das tarefas que determina a duração do projeto, e as atividades que compõem o caminho crítico são denominadas atividades críticas. Caso ocorra algum atraso em alguma das atividades críticas, todo o projeto atrasará.

2.2.1. PERT/CPM DETERMINÍSTICO

A utilização da ferramenta PERT/CPM consiste na aplicação de alguns passos. A princípio, é preciso identificar as atividades a serem executadas no projeto, determinar o tempo de duração de cada atividade e identificar as atividades que dependem de outras para serem iniciadas. (HAGA; O'KEEFE, 2001). A partir dessas informações coletadas, é possível construir uma rede de planejamento do projeto, sempre respeitando as interações existentes entre as atividades, conforme demonstra figura 1. (CUKIERMAN, 2000)

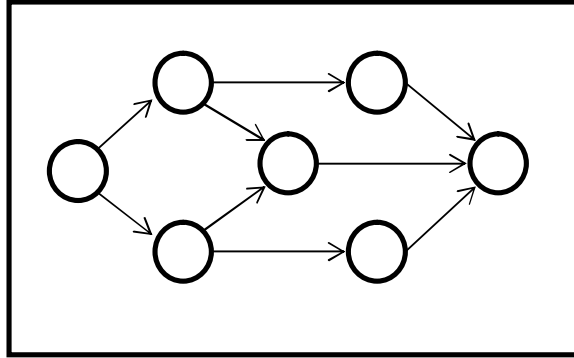


Figura 1: Exemplo de rede de atividades

Fonte: Autoria própria

Na rede PERT/CPM os círculos caracterizam eventos, que representam o início ou o término de uma atividade, e as flechas representam as atividades do projeto, entretanto alguns autores utilizam notações diferentes. (CUKIERMAN, 2000)

Para que seja possível determinar o caminho crítico de um projeto, é necessário calcular a **primeira data de início (PDI)**, ou seja, a primeira data em que pode iniciar uma atividade, levando em consideração suas atividades precedentes, e a **última data de início (UDI)**, isto é, a última data em que a atividade pode começar sem comprometer o tempo do projeto. A PDI e UDI são calculadas por meio das equações (1) e (2) (adaptado de MOREIRA, 2011).

$$PDI = PDIA + DA \quad (1)$$

$$UDI = UDIp - DA \quad (2)$$

PDIA: Primeira data de início da atividade anterior.

UDI_p: Última data de início da atividade posterior.

DA: Duração da Atividade .

Após calculadas as PDI's e UDI's, as atividades críticas já podem ser identificadas. As atividades críticas são aquelas que compõem o caminho crítico, isto é, a sequência mais longa de atividades que formam um projeto (DAVIS; AQUILANO; CHASE, 2001).

A folga das atividades do projeto também é determinada após o cálculo das PDI's e UDI's. Moreira (2011) define folga como o tempo em que uma atividade pode atrasar sem comprometer a duração total do projeto. As folgas são calculadas utilizando a equação (3).

$$F = UDIp - PDIA - DA \quad (3)$$

F: Folga total de uma atividade.

UDI_p: Última data de início.

PDIA: Primeira data de início.

DA: Duração da Atividade.

2.2.2. PERT/CPM PROBABILÍSTICO

As previsões de duração das atividades de um projeto nem sempre são confiáveis, em alguns casos, as atividades apresentam certa variabilidade em seus tempos de execução. Nas situações sujeitas a incertezas sobre o tempo de cada atividade, é indicada a utilização do



PERT/CPM probabilístico, que é calculado com base em três estimativas de tempo (MOREIRA, 2011). Chase, Jacobs e Aquilano (2006) afirmam que o cálculo do PERT/CPM probabilístico não somente permite estimar o tempo de cada atividade isoladamente, como também estimar o tempo de duração de toda a rede do projeto.

Baseada na hipótese de que a duração de cada atividade não é fixa, atribui-se a cada atividade três estimativas de tempo: (MARTINS; LAUGENI, 2006).

- Duração otimista: A;
- Duração mais provável: M;
- Duração pessimista: B.

Essas três estimativas de tempo caracterizam uma distribuição triangular de probabilidade. Após estimadas as prováveis durações do projeto, é calculada uma média ponderada do tempo das atividades utilizando a equação (4).

$$T = \frac{(A + 4 \times M + B)}{6} \quad (4)$$

De acordo com Davis, Aquilano e Chase (2001), essa equação é baseada na distribuição de estatística beta e considera a duração mais provável (M) 4 vezes mais influente que as durações otimista (A) e pessimista (B). A distribuição Beta é uma distribuição de probabilidade contínua que permite estimar o tempo utilizando três estimativas de duração de cada atividade, ademais, ela é responsável por levar a distribuição triangular caracterizada pelos três tempos A, B e M a uma distribuição normal, para calcular a probabilidade do tempo de conclusão do projeto.

Após calculados os tempos esperados, é necessário calcular a variância dos tempos de cada atividade. A variância está associada com os tempos esperados calculados utilizando a equação (5) (CHASE; JACOBS; AQUILANO, 2006):

$$\sigma^2 = \left(\frac{B - A}{6} \right)^2 \quad (5)$$

B: Duração pessimista.
A: Duração otimista.

Após encontrada a variância dos tempos da atividade, é preciso encontrar o caminho crítico do projeto, assim como no PERT/CPM determinístico. Identificado o caminho crítico, deve-se somar as variâncias dos tempos das atividades ao longo do caminho crítico (CHASE; JACOBS; AQUILANO, 2006).

Com os valores dos tempos esperados das atividades e de suas variâncias e assumindo a distribuição normal, é possível calcular a probabilidade de completar o projeto em determinada data (MOREIRA, 2011). Para o cálculo desta probabilidade, utiliza-se a equação (6) (DAVIS; AQUILANO; CHASE, 2011):

$$Z = \frac{D - T}{\sqrt{\sum \sigma_{cp}^2}} \quad (6)$$

D: Data de cumprimento esperada do projeto

T : Tempo esperado de cumprimento do projeto

$\sum \sigma_{cp}^2$: Soma das variâncias ao longo do caminho crítico

Encontrado o valor de Z, por meio da tabela da distribuição normal, é possível calcular a probabilidade de terminar o projeto em determinada data D, de acordo com o tempo de cumprimento esperado T e a soma das variâncias dos tempos das atividades que compõem o caminho crítico (CHASE; JACOBS; AQUILANO, 2006).

2.3. SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

O método de Monte Carlo, cujo nome é uma referência ao *Casino Monte Carlo* em Mônaco, foi desenvolvido por volta de 1930, por cientistas como Enrico Fermi, a partir do cálculo de difusão de nêutrons, ou John Von Neumann e Stanislaw Ulam, cientistas que estabilizaram a base matemática para função de densidade de probabilidade (FISHMAN, 1999).

Para Raun (1963) o método de Monte Carlo consiste em simular dados do mundo real para a determinação de algumas propriedades probabilísticas de uma população de eventos, usando variáveis aleatórias aplicadas a vários componentes desses eventos.

Evans e Olson (1998) definem a simulação de Monte Carlo como um experimento amostral cujo objetivo é estimar a distribuição de resultados possíveis da variável de interesse (variável de saída), com base em uma ou mais variáveis de entrada, que se comportam de forma probabilística de acordo com alguma distribuição estipulada.

A simulação de Monte Carlo é um processo de amostragem cujo objetivo é permitir a observação do desempenho de uma variável de interesse em razão do comportamento de variáveis que carregam elementos de incerteza (BURATTO, 2002).

3. APLICAÇÃO

A implementação da simulação de Monte Carlo no PERT/CPM probabilístico será aplicada em um exemplo proposto pelos autores Chase, Jabobs e Aquilano (2006) em sua obra *Administração da produção e operações para vantagens competitivas*. O exemplo propõe as premissas para um projeto que consiste em desenhar, desenvolver e produzir um protótipo de um computador pequeno e de fácil portabilidade, ilustradas na tabela 1.

Tabela 1: Rede PERT/CPM para o Projeto do Computador

Designações das atividades do PERT/CPM e estimativas de tempo			
Atividade	Designação	Predecessores	Tempo (Semanas)
Projeto	A	-	21
Construção do protótipo	B	A	5
Avaliação do equipamento	C	A	7
Teste do protótipo	D	B	2
Redação do relatório do equipamento	E	C, D	5
Redação do relatório de métodos	F	C, D	8
Redação do relatório final	G	E, F	2

Fonte: (CHASE; JACOBS; AQUILANO, 2006, p. 63)

Com base nas premissas ilustradas na tabela 1 e por meio do cálculo das PDI's e UDI's de cada atividade, a rede PERT/CPM é montada de acordo com a configuração ilustrada no diagrama na figura 2.

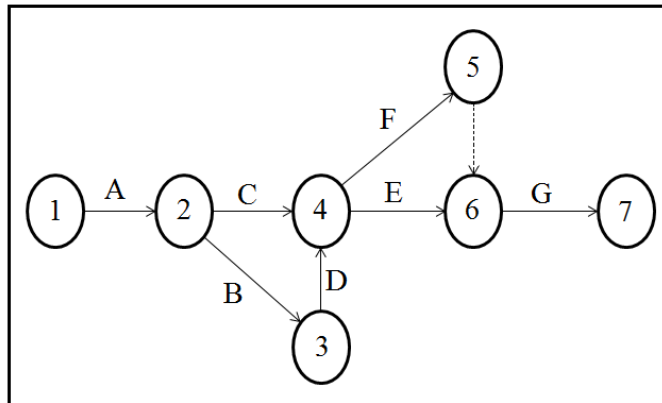


Figura 2 – Diagrama PERT/CPM para o Projeto do Computador
Fonte: Autoria própria

O caminho crítico identificado neste projeto é composto pelas atividades A, C, F, G, totalizando uma duração de 38 semanas para conclusão do projeto. Este projeto apresenta uma atividade fictícia que está representada pela linha tracejada e que, assim como qualquer atividade fictícia, não possui dependência. Baseada nas informações do exemplo, foi montada uma tabela no Microsoft Office Excel, ilustrada na figura 3, na qual as fórmulas das PDI's e UDI's e do caminho crítico estão todas atreladas, de forma que, quando alterado um dado, a planilha seja modificada em função dele.

Atividade	Designação	Dependência	Tempo	Critica	Tempo mínimo do caminho critico
Projeto	A	-	21	Sim	21
Construção do Protótipo	B	A	5	Não	0
Avaliação do Equipamento	C	A	7	Sim	7
Teste do Protótipo	D	B	2	Não	0
Redação do relatório do equipamento	E	C,D	5	Não	0
Redação do relatório de métodos	F	C,D	8	Sim	8
Redação do relatório final	G	E,F	2	Sim	2
Atividade Fictícia 1	AF1	-	0	-	38

1	2		3		4		5		6		7		
	A	21	B	21	B	5	D	26	C	28	F	28	
			C	21			D	7	E	31			
							F	36	AF1	36	E	33	
											G	36	
											G	38	
PDI	UDI	PDI	UDI	PDI	UDI	PDI	UDI	PDI	UDI	PDI	UDI	PDI	UDI
0	0	21	21	5	26	28	28	36	36	36	36	38	38

Figura 3: Planilha desenvolvida para a aplicação do método.
Fonte: Autoria própria.

Para a aplicação da Simulação de Monte Carlo, foi utilizado o software @Risk do fabricante Palisade, que executa a Simulação de Monte Carlo em planilhas do Microsoft Office Excel. Por meio da função nomeada “Ajustes de Distribuições”, esse software possibilita também o cálculo da a distribuição de probabilidade real de um determinado conjunto de dados, neste caso, os dados são os tempos de duração das atividades.

Para calcular a distribuição desses tempos, foram estimadas 30 possibilidades de duração de tempo para cada atividade. Foi testada a significando dessa amostra e chegou-se a um α de 0,03, o que comprova que a amostrada estimada é suficiente para o cálculo. Os tempos foram condicionados a função “Ajustes de Distribuições”, que indicou que a distribuição de probabilidade para o tempo de cada atividade é a lognormal. Desta forma, a

duração de cada atividade do exemplo foi condicionada a distribuição lognormal e a Simulação de Monte Carlo foi executada com 10.000 iterações. O resultado obtido está ilustrado na figura 4.

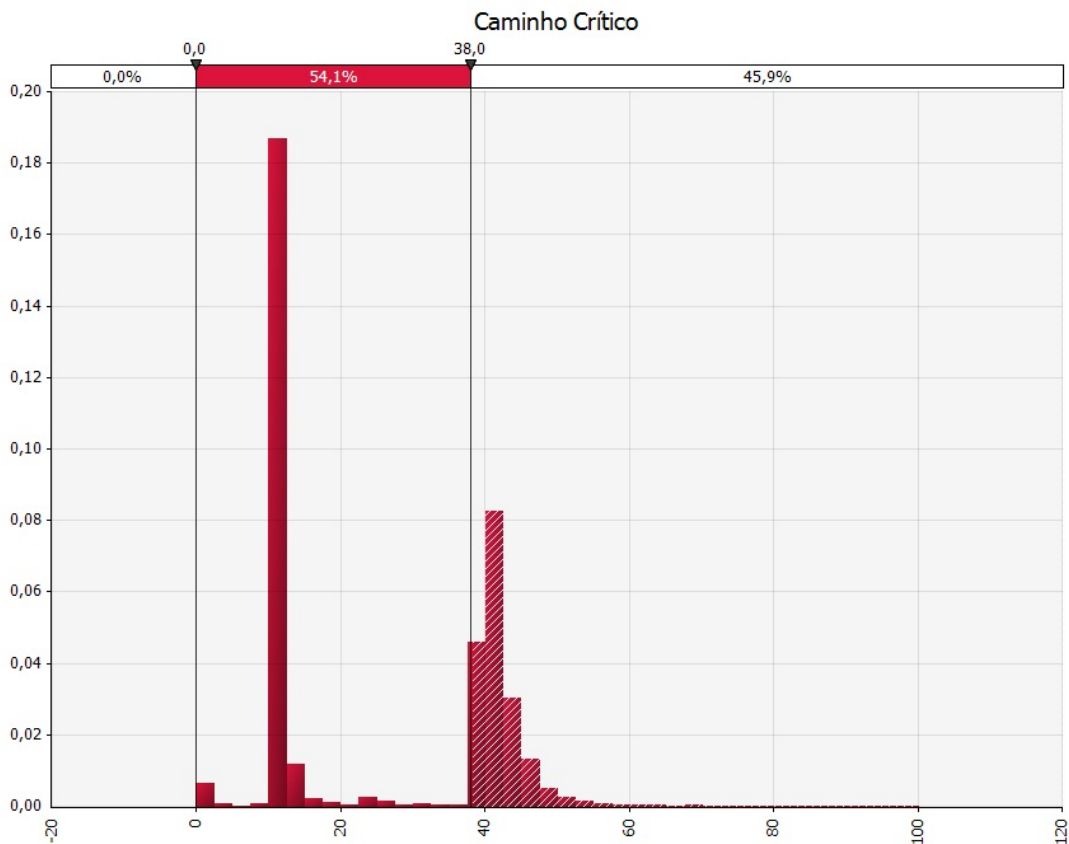


Figura 4: Resultado da aplicação da Simulação de Monte Carlo por meio do @Risk.
Fonte: @Risk - Palisade.

O resultado obtido mostra que a probabilidade do tempo mínimo de conclusão deste projeto – caminho crítico – ser 38 semanas, é de 54,1%.

4. CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos na combinação das ferramentas PERT/CPM e Simulação de Monte Carlo, é possível concluir que essa combinação gera resultados satisfatórios e que podem embasar decisões importantes acerca da gestão das atividades de um projeto e auxiliar na determinação de estratégias de acordo com as probabilidades obtidas.

A experiência de implementar PERT/CPM probabilístico utilizando Simulação de Monte Carlo para tratar das incertezas relacionadas aos tempos de duração das atividades foi bem sucedida. Por meio dessa forma de gerir as oscilações do tempo, foi possível calcular a distribuição de probabilidade dos tempos, desta forma, o tempo mínimo de conclusão do projeto apresenta-se como uma variável aleatória de distribuição conhecida, o que permite uma análise mais precisa dos resultados encontrados, uma vez que os mesmos são probabilísticos e não determinísticos, possibilitando, com isso, tomar as melhores decisões possíveis em situações de incerteza.



Observa-se também que o número de picos na distribuição de tempo resultante pode indicar uma alteração no caminho crítico, visto que alterações (incertezas) nos tempos das atividades alteram PDI's e UDI's.

Por fim, é recomendado, sempre que possível usar as ferramentas PERT/CPM e Simulação de Monte Carlo combinadas, a fim de obter resultados que possibilitem análises mais completas, gerando resultados mais valiosos para a gestão de projetos.

5. REFERÊNCIAS

ANDRADE, Maria Margarida. **Introdução à metodologia do trabalho científico**. 10ª ed. São Paulo: Atlas, 2010.

BURATTO, Marco Vales. **Construção e Avaliação de um Modelo de Simulação de Monte Carlo para Analisar a Capacidade de Pagamento das Empresas em Financiamentos de Longo Prazo**, Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2002).

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino. **Metodologia científica: para uso dos estudantes universitários**. 3ª ed. São Paulo: McGraw-Hill: 1983.

CHASE, Richard B.; JACOBS, F. Robert; AQUILANO, Nicholas J. **Administração da produção e operações**. 11ª ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

CHUNG, Christopher A. **Simulation modeling handbook: a practical approach**. Florida: CRC Press, 2004.

CUKIERMAN, Zigmundo Salomão. **O modelo PERT/CPM aplicado a projetos**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Riechmann & Affonso Ed., 2000.

DAVIS, Mark M.; AQUILANO, Nicholas J.; CHASE, Richard B. **Fundamentos da administração da produção**. Trad. Eduardo D'Argord Schaan *et al.* Rev. Flávio Pizzato *et al.* 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

DUFFY, Mary. **Gestão de projetos: Managing projects**. Trad. Eduardo Lasserre. 6ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

EVANS, James R.; OLSON, David L. **Introduction to simulation and risk analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 1998.

FACHIN, Odília. **Fundamentos de metodologia**. 5ª ed rev. São Paulo: Saraiva, 2006.

FISHMAN, George S. **Monte Carlo: Concepts, algorithms and applications**. Springer Series in Operations Research . Springer-Verlag: 1999. New York, NY.

GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administração da produção e operações**. Trad. José Carlos Barbosa dos Santos. Rev. Petrônio Garcia Martins. 8ª ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005.

GREENE, Jennifer; STELLMAN, Andrew. **Use a cabeça! PMP**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2010.

HAGA, Wayne A.; O'KEEFE, Tim. **Crashing pert networks: a simulation approach**.

HELDMAN, Kim. **Gerência de projetos: Guia para o exame oficial do PMI**. Trad. Edson Furmankiewicz. 5ª ed. rev. e amp. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.



2013
SEGt
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA
EM GESTÃO E TECNOLOGIA

Gestão e Tecnologia para a Competitividade

23.24.25 de Outubro de 2013

KLEMENTOWSKI, Lawrence J. **PERT/CPM and Supplementary Analytical Techniques: Na Analysis of Aerospace Usage**. Set. 1978, (Tese de Mestrado) – Air Force Institute of Technology , Wright-Petterson AFB, Ohio, 1978.

LILENBAUM, Moysés Jacob. Administração de planos e projetos: Uma tentativa de sistematização. **Revista de administração pública**, Rio de Janeiro, Volume 6, n.º 4, 1972

MARTINS, Petrônio Garcia; LAUGENI, Fernando Piero. **Administração da produção**. Trad. Cláudia Freire, Lucas Marcelo Ferretti Yasumura, Monica Rosali Rosemberg. Rev. Diógenes de Souza Bido. 2ª ed. rev. aum. e atual. São Paulo: Saraiva, 2006.

MOREIRA, Daniel Augusto. **Administração da produção e operações**. 2ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

PHILLIPS, Joseph. **PMP: Project management professional**. Trad. Daniel Vieira. 4ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

STANGER, Luiz B. **PERT/CPM técnica de planejamento e controle**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1967.

SANCHES, Alexandre Leme; RIBEIRO, Douglas de Almeida; MONTEVECHI, José Arnaldo Barra. **Estudo comparativo entre operações básicas envolvendo números fuzzy e variáveis aleatórias, ambos em formato triangular**. In.: XXXVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 9, 2006. Goiânia, GO.

RAUN, Donald L. **The application of Monte Carlo Analysis to an inventory problem**. The Accounting Review, Vol. 38, Nº 4, p. 754 – 758. Outubro, 1963.

VOSE, David. **Risk analysis: a quantitative guide**. 2ª. ed. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd., 2000.