

SIMULAÇÃO APLICADA AO GERENCIAMENTO DE PROJETOS: UMA REVISÃO

APPLIED SIMULATION TO THE PROJECT MANAGEMENT: A REVIEW

Leonardo Rosas Leal* E-mail: leonardorosas@uol.com.br
Mario Jorge Ferreira de Oliveira* E-mail: mario_jo@pep.ufri.br
*Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ

Resumo: O objetivo deste artigo é mostrar uma revisão da literatura sobre o tema *Simulação Aplicada ao Gerenciamento de Projetos* no contexto dos últimos 20 anos. O mesmo revê as principais metodologias de Simulação, bem como algumas de suas propriedades, que motivaram a aplicação da Simulação em gerenciamento de projetos. Além disso, são revistos marcos históricos sobre o tema, desde a proposição da Simulação de Monte Carlo como solução para as limitações da metodologia PERT/CPM. Em acréscimo, a pesquisa procura mapear o tema, por meio de estratificações, de maneira a proporcionar uma visão holística sobre o assunto. Como resultado final, será possível observar algumas importantes relações e tendências entre as estratificações, como a elevada utilização da Simulação de Eventos Discretos e da Simulação de Monte Carlo para a gestão de riscos de prazo e de custo. Tais aplicações estão normalmente associadas a projetos de elevados riscos, como empreendimentos civis, projetos de desenvolvimento de softwares, de Engenharia de design e projetos da indústria de óleo & gás.

Palavras chaves: Simulação. Gerenciamento. Risco. Projeto. Revisão

Abstract: The objective of this article is to show a literature review of *Applied Simulation to the Project Management* as for the last twenty years. This article reviews the main Simulation methodologies, as well as some of their properties, that have stimulated the application of Simulation in project management. Besides that, a review of historical marks is presented, since the Monte Carlo Simulation proposal as a solution to PERT/CPM methodology limitations. In addition, this work intends to outline the theme through stratifications in order to offer a holistic overview of the theme. As a result, there will be the possibility of realize some important connections and tendencies in relation to the stratifications, as the application of the Discrete Event Simulation and Monte Carlo Simulation methodologies for the schedule and cost risk management. Such applications are mainly related with high level risk projects, such as civil projects, software development, design Engineering and Oil & gas projects.

Key words: Simulation. Management. Risk. Project. Review

1 INTRODUÇÃO

O Gerenciamento de Projetos é uma atividade de tamanha complexidade que não há como se abrir mão de instrumentos de tomada de decisão, baseados em um método científico (WILLIANS, 2003). Essa visão tem sido uma tendência nos últimos

vinte anos (IJPM, 2010). Nesse contexto, a Pesquisa Operacional tem contribuído de maneira relevante na criação de tais instrumentos de tomada de decisão (TAVARES, 2002 e WILLIANS, 2003). A Simulação, como metodologia de Pesquisa Operacional, tem sido testada e discutida ano após ano como ferramenta de tomada de decisão em gerenciamento de projetos (ARTTO, 2001, CATES, 2004, JAHANGIRIAN et al., 2010, BANKS, 2010).

Diferente do que se poderia pensar, o uso de Simulação em gerenciamento de projetos é um assunto bastante antigo. Entretanto, só recentemente esse assunto vem ganhando força (IJPM, 2010). O tema ficou estagnado por muito tempo, mas com o avanço e popularização da computação nos últimos vinte anos, vêm crescendo a pesquisa e o número de publicações sobre o assunto em questão (KHOSHNEVIS, 1994).

Recentemente, a Simulação vem sendo percebida como uma das mais confiáveis ferramentas para se gerenciar um projeto. Essa percepção surge da capacidade dessa metodologia em modelar as várias aleatoriedades envolvidas em um projeto (LEE, 2005). Além disso, já em meados da década de 1990, WILLIANS (1995) lembrava da conveniência de contínuo desenvolvimento de metodologias de simulação para gerenciamento de projetos, já que as metodologias analíticas predominantes na época (particularmente a CPM – Critical Path Method e o PERT – Project Evaluation and Review Technique) tinham um caráter excessivamente determinístico, compostas por muitas simplificações.

Dessa forma, a pesquisa em questão assume um papel relevante ao mostrar o que vem sendo pesquisado, desenvolvido e publicado sobre a aplicação da Simulação em gerenciamento de projetos, nesse contexto de crescente importância. Será proporcionada uma visão holística sobre o tema, mostrando tendências e padrões.

Assim, o objetivo do artigo em questão é proporcionar uma revisão da literatura sobre o tema da *Simulação Aplicada ao Gerenciamento de Projetos* com relação aos últimos vinte anos. Além disso, serão obtidas algumas importantes relações entre o emprego de uma *metodologia de Simulação*, o *foco de estudo* em que a Simulação está sendo empregada no gerenciamento de um projeto e as aplicações práticas que motivaram o uso de Simulação; além de outras relações.

2 MÉTODO UTILIZADO

A revisão bibliográfica foi baseada nas publicações dos últimos 20 anos (de 1990 à 2010), utilizando-se de expressões-chaves como: simulação do gerenciamento de um projeto, risco de projeto, simulação do prazo de projetos, simulação do custo de projetos, e o equivalente em inglês. Além disso, foram levantadas algumas referências mais antigas, anteriores a 1990, que poderiam ser consideradas como marcos históricos sobre o tema em questão. Três bases de buscas foram utilizadas: o <http://scholar.google.com.br/>, <http://www.scopus.com/home.url> e o www.sciencedirect.com, além do site WWW.amazon.com gerando um levantamento de 71 referências bibliográficas utilizadas neste trabalho como: livros, artigos de periódicos, artigos de conferências, teses, etc. Além disso, procurou-se consultar diretamente os jornais, revistas, conferências e autores disponíveis na internet, que se julgou com grande potencial de cobertura do assunto referente ao tema.

No que se refere à estrutura desta pesquisa, a mesma está dividida em duas partes: a primeira, uma revisão sobre as principais metodologias de Simulação aplicada ao gerenciamento de projetos; a segunda, um grupo de estratificações relativas às publicações pesquisadas sobre o tema. Com relação à segunda parte, as estratificações foram realizadas segundo os critérios¹: *metodologia de Simulação; foco de estudo; aplicações práticas; congressos, jornais e revistas; métodos auxiliares; softwares e autores.*

No que tange às estratificações, essa tarefa foi realizada com o uso do programa Zootero² associado ao navegador Mozilla Firefox.

¹ As classificações dentro de cada critério de estratificação (estratificação das estratificações) estão descritas no item 4, no eixo horizontal de cada gráfico de estratificação.

² Esse programa facilita a estratificação dos artigos por meio de atribuição de palavras-chaves.

3 REVISÃO SOBRE METODOLOGIAS DE SIMULAÇÃO APLICADAS AO GERENCIAMENTO DE PROJETOS

3.1 Monte Carlo

Segundo HERBERT (1979), Van Slyke³ propôs pioneiramente a aplicação da Simulação de Monte Carlo em gerenciamento de projetos, em 1963. O mesmo teve como motivação para a nova proposição a percepção de algumas limitações nas ferramentas CPM (Critical Path Method) e PERT (Project Evaluation and Review Technique), até então, as ferramentas⁴ que prevaleciam em gerenciamento de prazo de projetos.

A partir da proposição de Van Slyke, se começa a considerar fenômenos aleatórios que ocorreriam na execução de um projeto, como a aleatoriedade no tempo de execução de uma atividade. Na metodologia Monte Carlo, o tempo de execução de uma atividade comporta-se segundo uma função de distribuição de probabilidade, característica da atividade. Assim, o tempo total de execução do projeto seria obtido da seguinte maneira: geram-se valores pseudo-aleatórios dos tempos de execução das atividades, de acordo com a função de densidade de probabilidade característica de cada atividade; acha-se o caminho crítico; e somam-se os tempos das atividades que apareceram no caminho crítico, na replicação da Simulação. Posteriormente, o uso da Simulação de Monte Carlo em gerenciamento de projetos também adquiriu uma preocupação voltada para a gestão de custos em projetos.

³ VAN SLYKE, R.M., 1963, "Monte Carlo Methods and PERT Problems", *Operations Research*, v.11, nº5.

⁴ Essas duas técnicas consideram a execução de um projeto como uma rede de inter-relacionamentos de atividades (network), com tempos exatos para cada atividade. Apesar da diferença entre a obtenção desses tempos entre as duas técnicas, o tempo total de execução do projeto seria obtido com a soma dos tempos das atividades do caminho crítico (critical path).

3.2 Gert – Graphic Evaluation And Review Technique

Em 1966, PRITSKER^{5,6} introduz a técnica GERT (Graphic Evaluation and Review Technique) que é um método de modelagem de projetos por network e de análise do modelo por Simulação. Com a introdução da técnica GERT, foi possível modelar outros tipos de incertezas, além do que a metodologia de Monte Carlo já incorporava.

Dentre as novas incertezas ou aleatoriedades que foram introduzidas, destacam-se a incerteza associada à estrutura dos *networks*, atribuindo-se um comportamento estocástico ao mesmo (*stochastic network*) e a capacidade de se modelar re-trabalhos (HERBERT, 1979). Além disso, no método GERT, era possível *medir* novos tipos de indicadores, como a probabilidade de cancelamento de uma atividade já iniciada e a probabilidade de que uma atividade iria, de fato, ser iniciada. Para a época, isso era uma novidade, algo que até então, nenhuma ferramenta proporcionava (HERBERT, 1979).

Entretanto, as limitações computacionais da época em que surgiu a GERT talvez tenha sido o grande empecilho para a difusão dessa metodologia entre as organizações. Além disso, MEREDITH *et al* (2000) lembra que a metodologia GERT lançava mão de técnicas trabalhosas de solução nas redes GERTs, como *equações de topologia, funções equivalentes e funções geradoras de momentos*.

3.3 Vert – Venture Evaluation And Review Technique

A metodologia VERT – Venture Evaluation and Review Technique foi desenvolvida por MOELLER⁷ para avaliar riscos em novos empreendimentos, CATES (2004). Essa metodologia segue a filosofia de modelagem de um projeto segundo um *network*. A VERT se apresentou como uma evolução da GERT, no sentido de que essa última era orientada a custo e prazo, somente (MOELLER *et al.*,

⁵ PRITSKER, A., ALAN, B., 1966, "GERT: Graphical Evaluation and Review Technique – part I. Fundamental", *Journal of Industrial Engineering*, v.17, n.5.

⁶ PRITSKER, A., GARY, E., 1966, "GERT: Graphical Evaluation and Review Technique – part II. Probabilistic and Industrial Engineering applications", *Journal of Industrial Engineering*, v.17, n.6.

⁷ MOELLER, G.L., 1972, "VERT", *Technical Papers: Twenty-Third Institute Conference and Convention*, American Institute of Industrial Engineers.

1981). Na metodologia VERT, existem três variáveis de grande importância que são atribuídas às atividades que compõem um projeto: custo, prazo e performance.

Segundo MOELLER et al (1981), “a metodologia VERT é definida como uma técnica de Simulação baseada em network e orientada matematicamente por computador”. A mesma permitia o uso de até treze distribuições de probabilidade para as variáveis a serem modeladas, destacando-se, as distribuições triangular, normal e lognormal. A análise da VERT é feita via Simulação, gerando como resultados as distribuições de probabilidade para o tempo de execução de um projeto, a distribuição de probabilidade para o custo total de um projeto e informações sobre desempenho dos cenários simulados.

CATES (2004) destaca a questão do grande tempo consumido para se rodar o modelo de Simulação. Entretanto, lembra que apesar desse inconveniente, as informações geradas nos vários cenários simulados poderiam justificar a disponibilização de tanto tempo reservado para se rodar o modelo. Por exemplo, segundo MOELLER *et al* (1981), a metodologia VERT era muito recomendável para simulação de projetos com poucas informações disponíveis sobre as alternativas concorrentes. Portanto, justificava-se o emprego de tempo considerável na geração de cenários por Simulação.

Apesar dessa metodologia ter surgido como uma ferramenta poderosa para o gerenciamento e estudo de cenários em projetos, essa técnica não despertou o interesse de muitos usuários organizacionais. Segundo CATES (2004), essa metodologia foi menos usada do que até mesmo a CPM, PERT e GERT. Da mesma forma que a GERT, é provável que as limitações computacionais da época em que essa técnica surgiu tenham sido um empecilho para a sua disseminação.

3.4 SD – Sistemas Dinâmicos

A metodologia de Sistemas Dinâmicos é caracterizada por uma rede de causas e efeitos, identificando-se o que ocorre com uma variável quando outra varia. A primeira menção de aplicação de Sistemas Dinâmicos em gerenciamento de projetos apareceu na década de 1960, mas somente a partir da década de 1980 começou-se a reportar esse tipo de aplicação (RODRIGUES, 1996).

Essa metodologia tem um foco muito presente em aspectos relacionados aos fatores humanos, como motivação, entrosamento com a equipe, pressão no ambiente de trabalho, etc. Isso está muito presente no dia-a-dia de um projeto. Seguindo essa mesma linha de percepção, LEE *et al* (2005) propõe o uso de Sistemas Dinâmicos para a modelagem do gerenciamento de erros e de mudanças em projetos de design e de construção, o que muito tem a ver com comportamento e fatores humanos.

Ademais, PIDD (2004) lembra, de maneira pertinente para a discussão em questão, que a metodologia de *Sistemas Dinâmicos* pode ser utilizada para a modelagem de fluxo de informações. Esse é um aspecto crítico no dia-a-dia de um projeto, pois as informações se perdem, alguém se esquece de transmitir, são transmitidas tardiamente, etc. A capacidade de modelar esse fluxo de informações é algo que torna essa metodologia relevante em gerenciamento de projetos.

3.5 SED – Simulação de Eventos Discretos

O uso de Simulação de Eventos Discretos (SED) em gerenciamento de projetos também não é uma iniciativa nova. A utilização dessa metodologia em gerenciamento de projetos é conveniente, na medida em que a evolução de um projeto pode ser entendida como incrementos discretos de avanço do projeto no tempo. GOTTFRIED (1984) propôs o uso da SED para se resolver algumas limitações no método PERT (Project Evaluation and Review Technique). O mesmo percebeu que o uso de valores médios para a execução das atividades que compõem um projeto, como é feito na técnica PERT, é um inconveniente, na medida em que não indicaria uma possibilidade de que vários caminhos críticos poderiam ocorrer. Outra limitação percebida na PERT foi que ocorrendo um caminho crítico, essa técnica não conseguiria prever que o tempo total desse caminho crítico poderia sofrer variações, o que seria mais aderente com a realidade.

Além disso, GOTTFRIED (1984) já percebia a conveniência de se obter uma curva de distribuição de probabilidade acumulada do tempo de execução de um projeto, ao longo do tempo. Com esse instrumento, seria possível se verificar, ou não, a viabilidade de execução de um projeto em um prazo específico. Por fim,

entendeu que todas essas limitações percebidas na PERT poderiam ser resolvidas via Simulação de Eventos Discretos.

Mais recentemente, OTTJES et al. (2000) propõe o uso da metodologia de Simulação de Eventos Discretos (SED) para a modelagem da execução de um projeto de manutenção. Sua motivação surgiu da percepção de que a mesma poderia representar os mais variados tipos de aleatoriedades, que são característicos na execução de um projeto. Dentre as aleatoriedades, destacam-se: variação no caminho crítico do projeto ao longo do tempo, bem como a variação na probabilidade de que uma atividade pertença ao caminho crítico ao longo do tempo, possibilidade de se modelar re-trabalhos e eventos probabilísticos.

Por fim, WILLINAS (1995) ressalta outras capacidades relacionadas à modelagem via SED, muito conveniente em projetos: capacidade de se modelar recursos compartilhados entre atividades, janelas de folga dos recursos, atividades de um projeto que param porque seus recursos estão ocupados, etc.

3.6 Simulação Híbrida

A Simulação Híbrida é uma metodologia de Simulação que, de uma forma, ou de outra, combina duas ou mais modalidades de Simulação para o estudo de um sistema. ABOURIZK et al. (1997), por exemplo, utilizou-se da Simulação Híbrida de Eventos Discretos – Contínuos para modelar o processo de execução de uma obra de construção de uma ponte.

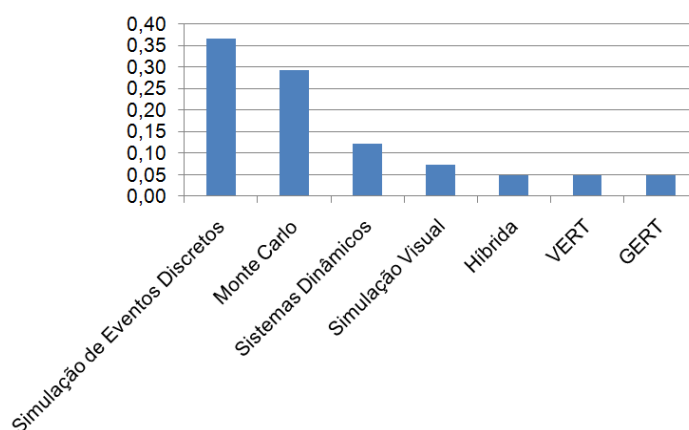
A Simulação de Eventos Discretos foi usada para representar o processo de avanço físico do projeto. Por outro lado, a produtividade dos trabalhadores poderia variar de maneira contínua, já que é função das condições climáticas do local, as quais variavam diariamente, segundo dados históricos. Daí, para essa questão, utilizou-se uma modelagem contínua.

Assim, o estudo de caso em questão utilizou-se da propriedade desse tipo de Simulação, que é a capacidade de lidar com variáveis discretas e contínuas, a fim de representar, de maneira aderente, a execução do projeto em questão.

4 ESTRATIFICAÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

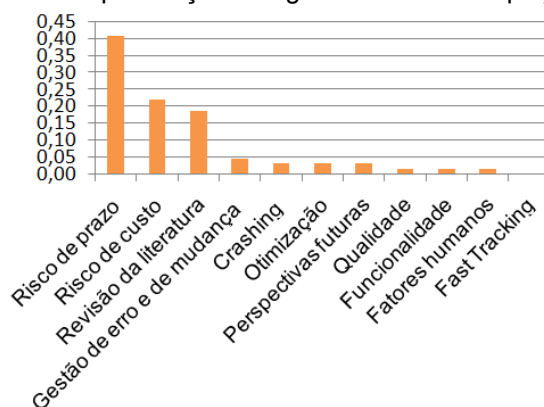
Feita uma breve abordagem histórica sobre o tema, seguem as estratificações em termos de metodologias de Simulação aplicadas ao gerenciamento de projetos, segundo as publicações levantadas. A *Simulação de Eventos Discretos (SED)* é a metodologia que teve a maior freqüência em aplicações de Simulação em gerenciamento de projetos, seguida da *Simulação de Monte Carlo* e de *Sistemas Dinâmicos (SD)*. A *Simulação Visual*, a *Híbrida*, *VERT* e *GERT* seguem em seqüência na pesquisa, ver gráfico 1.

Gráfico 1 – Predominância (%) das metodologias de Simulação mais freqüentes em publicações de gerenciamento de projetos.



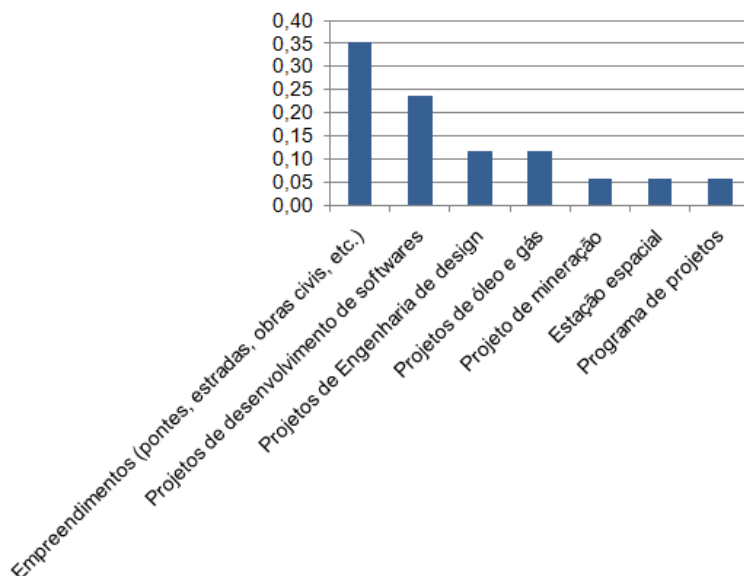
Levantadas as metodologias com maior incidência, a próxima questão relevante a ser abordada foi o foco de estudo que motivou o uso de Simulação em gerenciamento de projetos. Na pesquisa em questão, foi verificado que o *risco de prazo* foi o principal foco, seguido do *risco de custo* e *revisão da literatura*. Os demais focos seguem em seqüência, ver gráfico 2.

Gráfico 2 – Predominância (%) dos focos de aplicação de Simulação em publicações de gerenciamento de projetos



Neste ponto da pesquisa, analisando as aplicações práticas, o uso de Simulação em gerenciamento de projetos ocorre com maior freqüência em *implementações de empreendimentos (pontes, estradas, obras civis etc.)*, seguido de *projetos de desenvolvimento de softwares, de Engenharia de design, projetos no ramo de óleo & gás, projetos do ramo de mineração e demais*, ver gráfico 3.

Gráfico 3 – Predominância (%) das aplicações práticas de Simulação em publicações de gerenciamento de projetos



Curiosamente, essas categorias mais incidentes de projetos possuem grande preocupação com risco de prazo e de custo (WILLIAMS, 1995). No caso, os focos de

aplicação mais incidentes na pesquisa em questão. Atrasos nesses projetos costumam implicar em grandes dispêndios financeiros.

Uma análise conseqüente é saber quais as metodologias de Simulação são as mais freqüentes nos dois focos mais incidentes. No caso, o risco de custo e de prazo. Seguem os gráficos abaixo referentes às metodologias mais incidentes em função do risco de custo e de prazo. Ver gráficos 4 e 5, respectivamente.

Gráfico 4 – Predominância (%) das metodologias de Simulação presentes em publicações de gerenciamento de projetos, com foco em risco de custo.

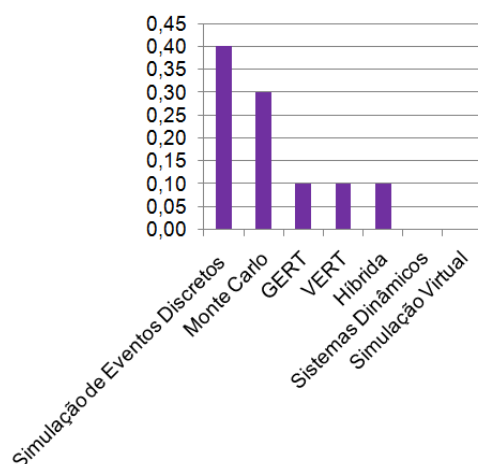
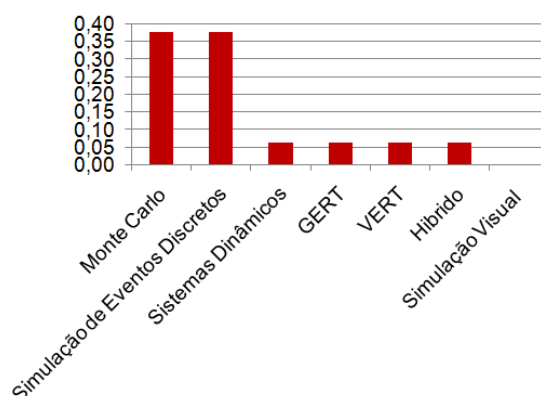


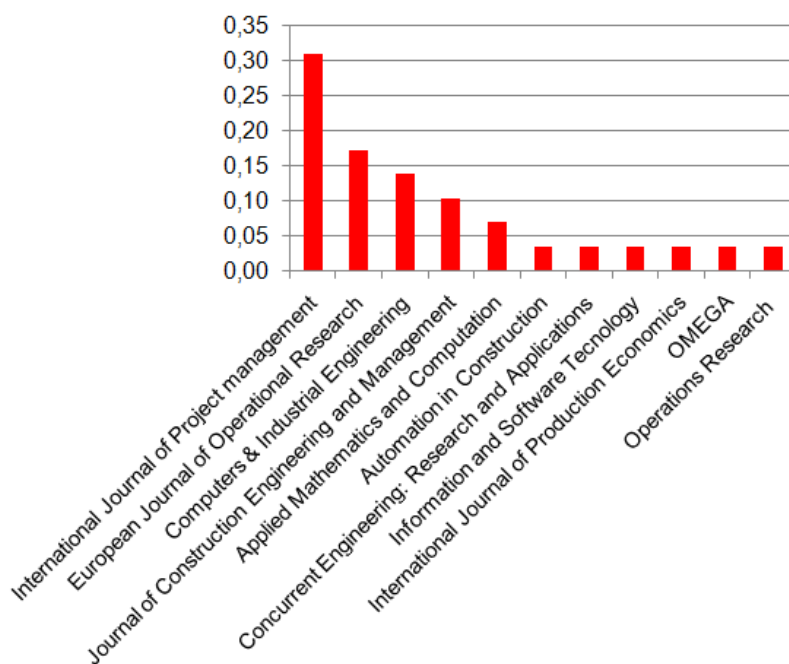
Gráfico 5 – Predominância (%) das metodologias de Simulação presentes em publicações de gerenciamento de projetos, com foco em risco de prazo



Observar que o gráfico 4 mostra a Simulação de Eventos Discretos e de Monte Carlo como as metodologias mais incidentes, respectivamente. Já o gráfico 5 mostra as duas metodologias anteriores invertendo-se a ordem de incidência.

No que tange a jornais e revistas, um resultado interessante foi a maior frequência de aplicação de Simulação em gerenciamento de projetos no *International Journal of Project management*, seguido do *European Journal of Operational Research* e do *Computers & Industrial Engineering*. Ver gráfico 6. Esperava-se que um jornal de pesquisa operacional, de matemática aplicada ou de métodos quantitativos tivesse a maior frequência de incidência, diferentemente do resultado da pesquisa.

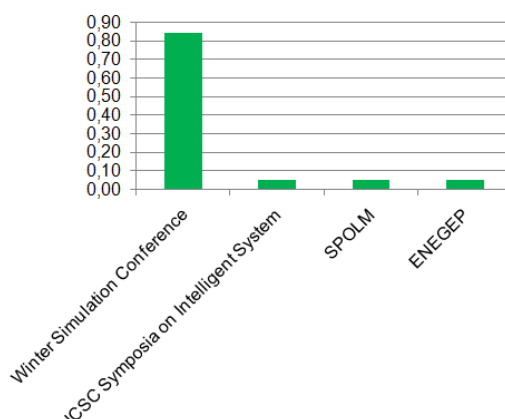
Gráfico 6 – Predominância (%) de jornais e revistas sobre publicações de Simulação aplicada ao gerenciamento de projetos



Em seqüência, seguem os jornais / revistas: *Journal of Construction Engineering and Management*, *Applied Mathematics and Computation*, *Automation Construction*, *Concurrent Engineering: Research and Applications*, *Information and Software Tecnology*, *International Journal of production Economics*, *Omega* e *Operations Research*.

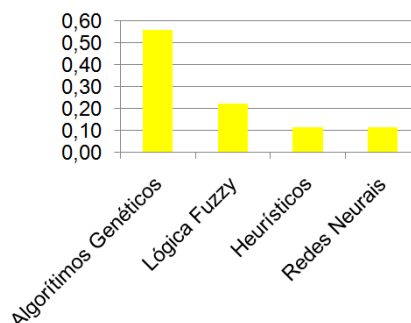
Com relação a Congressos, destaca a grande incidência de artigos de Simulação aplicada a gerenciamento de projetos no *Winter Simulation Conference* comparativamente a outros congressos como ao *ICSC Symposia on Intelligent System*, *SPLOM* e *ENEGEP*, ver figura 7.

Gráfico 7 – Predominância (%) dos congressos sobre publicações de Simulação aplicada ao gerenciamento de projetos



Sob o ponto de vista de métodos auxiliares⁸, a ordem decrescente de incidências desses métodos em publicações de Simulação aplicada a gerenciamento de projetos foi: *Algoritmos Genéticos*, *Lógica Fuzzy*, *Métodos Heurísticos* e *Redes Neurais*, ver gráfico 8.

Gráfico 8 – Predominância (%) dos métodos auxiliares em publicações de Simulação aplicada ao gerenciamento de projetos

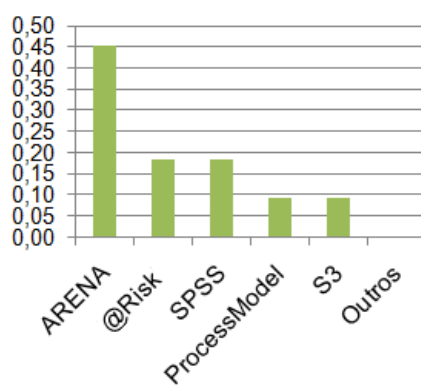


Com relação às ferramentas, os softwares mais freqüentes em Simulação aplicada a gerenciamento de projetos seguem no gráfico abaixo, ver figura 9. O software *Arena* foi o de maior incidência nas publicações pesquisadas, seguido do *@ Risk*. O primeiro é focado em Simulação de Eventos Discretos, Contínua ou Híbrida (Discreta-Contínua); enquanto que o segundo é voltado para Simulação de Monte Carlo (LAW, 2007).

⁸ Chamaremos de métodos auxiliares alguns métodos que não são de Simulação em si, mais possuem um papel complementar em modelos de Simulação, principalmente em otimização baseada em Simulação.

Em seguida, aparecem os softwares *Stochastic Project Scheduling Simulation (SPSS)*, *ProcessModel* e *S3*, seguidos de outros menos freqüentes. Os três possuem como destaque a capacidade de modelagem e comparação entre diversas metodologias para gerenciamento de um projeto, como CPM, PERT e Simulação de Eventos Discretos (SED). No caso do S3, tido como uma evolução do SPSS, esse possui todas as funcionalidades do SPSS, além determinar criteriosamente o número de replicações necessárias na Simulação (LEE et al., 2006).

Gráfico 9 – Predominância (%) dos softwares utilizados em estudos de caso de Simulação aplicada ao gerenciamento de projetos



Por fim, segue abaixo a relação dos principais autores levantados em Simulação aplicada ao gerenciamento de projetos. O critério de seleção adotado foi o número de trabalhos publicados sobre o tema, ou a originalidade de trabalhos divulgados. A tabela abaixo proporciona um panorama da pesquisa sobre autores dentro do tema *Simulação Aplicada ao Gerenciamento de Projetos*, ver coluna *palavras-chaves*, na quadro 1 abaixo:

Quadro 1 – Principais Autores em Simulação Aplicada ao Gerenciamento de Projetos

Principais autores no tema - por número de trabalhos publicados ou por originalidade.			
Autor	E-mail	Universidade / Instituição	Palavras-chaves no tema
Dong-Eun Lee	dolee@siue.edu	Southern Illinois University	Empreendimentos, SPSS, S3.
Mohsen Jahangirian	tillal.eldabi@brunel.ac.uk	Brunel University	Revisão da Literatura.
Grant R. Cates	grant.r.cates@nasa.gov	University of Central Florida	Simulação de Eventos Discretos, risco de prazo, projeto da estação espacial internacional, ARENA.
Michael E.Kuhl	Michael.Kuhl@rit.edu	Rochester Institute of Technology	Crashing, risco de prazo e de custo e otimização.
Radhamés Tolentino	radhames.tolentino@mail.rit.edu	Rochest Institute of Technology	Crashing, risco de prazo e de custo, otimização.
Leroy F. Simmons	e-mail não encontrado	Loyola College of Maryland	Risco de prazo e ProcessModel.
Jaap A. Ottijes	J.A.Ottijes@wbmt.tudelft.nl	Delf University of Technology	Risco de prazo e de custo.
Hans P.M. Veeke	H.P.M.Veeke@wbmt.tudelft.nl	Delf University of Technology	Risco de prazo e de custo.
Terry Williams	t.williams@soton.ac.uk	University of Southampton	Revisão da literatura, risco de prazo e de custo.
Lionel Galway	e-mail não encontrado		Revisão da literatura, risco de prazo e de custo.
Kenzo Kurihara	kurihara@kurilab.ie.kanagawa-u.ac.jp	Kanagawa University	Risco de prazo e de custo, Monte Carlo, GERT.
Carlos Magno C.	cmcj@petrobras.com.br	PETROBRAS	Simulação de Eventos Discretos, risco de prazo e de custo, projetos de óleo & gás, ARENA.
Brenda McCabe	mccabeb@civ.utoronto.ca	University of Toronto	Empreendimentos, Monte Carlo, risco de prazo e de custo.
Simaan M. AbouRitz	e-mail não encontrado	University of Alberta	Empreendimentos, Simulação Híbrida, risco de prazo, Redes Neurais.
Karlos A. Arto	karlos.artto@hut.fi	Helsinki University of Technology	Simulação de Eventos Discretos, projeto de desenvolvimento de software, risco de prazo, funcionalidades.
Juha-Matti Lehtonen	juha-matti.lehtonen@hut.fi	Helsinki University of Technology	Simulação de Eventos Discretos, projeto de desenvolvimento de software, risco de prazo, funcionalidades.

Juha Saranen	Juha.saranen@hut.fi	Helsinki University of Technology	Simulação de Eventos Discretos, projeto de desenvolvimento de software, risco de prazo, funcionalidades.
Undram Chinbat	eplanner9999@yahoo.com	Nagota University	Simulação de Eventos Discretos, projeto de mineração, risco de custo, ARENA.
Andreas C. Georgiou	acg@uom.gr	University of Macedônia	Simulação de Eventos Discretos, projeto de desenvolvimento de software, Simulação Híbrida, risco de prazo, qualidade.
Young Hoon Kwak	kwak@gwu.edu	George Washinton University	Revisão da literatura, Monte Carlo, risco de prazo e de custo.
Sang Hyun Lee	lsh@mit.edu	Massachusetts Institute of Technology	Sistemas Dinâmicos, empreendimntos, gestão de erro e de mudança.
Feniosky Peña-Mora	feniosky@uiuc.edu	University of Illinious	Sistemas Dinâmicos, empreendimntos, gestão de erro e de mudança.

5 CONCLUSÕES

Após o desenvolvimento da pesquisa, foi possível perceber como a metodologia de Simulação de Eventos Discretos e a de Monte Carlo vem sendo muito empregada em publicações de Simulação aplicada ao gerenciamento de projetos. Pode-se inferir, nesse caso, que o objetivo principal é o gerenciamento de risco de prazo e de custos para projetos considerados de elevados riscos. Tais projetos referem-se a empreendimentos civis, projetos de desenvolvimento de softwares, de Engenharia de design, projetos da indústria de óleo & gás e projetos de mineração.

Além disso, a metodologia de Simulação visual e virtual, mostra-se com um futuro promissor em gerenciamento de projetos. Essa vem sendo testada em

projetos de empreendimentos civis para simular a constructibilidade⁹ em obras e em plantas industriais. Esse assunto é de extrema relevância, quando se está na fase de planejamento das obras, pois se pode antecipar problemas futuros relativos à execução de um empreendimento.

No que tange a jornais e revistas, a conclusão relevante foi a maior predominância de publicações de Simulação aplicada ao gerenciamento de projetos no *International Journal of Project Management*. Esse fato pode sugerir que o uso de Simulação em gerenciamento de projetos é uma necessidade, haja vista que é a comunidade em gerenciamento de projetos que vem lançando mão dessa técnica para solução de problemas em sua área de pesquisa, e não uma iniciativa de entusiastas pela metodologia de Simulação.

Em termos de congressos, destaca-se a elevada predominância de publicações de Simulação aplicada a gerenciamento de projetos no *Winter Simulation Conference*, particularmente no diretório *Construction Engineering and Project Management*. Com relação aos outros congressos, o número de publicações de Simulação aplicada ao gerenciamento de projetos é muito baixo se comparado ao primeiro.

Outro resultado interessante foi uma maior incidência de uso do software ARENA, em relação ao @ Risk, nas publicações de Simulação aplicada ao gerenciamento de projetos. Esse resultado era um tanto inesperado, pois o @Risk tem a capacidade de uso conjunto com softwares tradicionais de gerenciamento de projetos, como o MS Project. Contudo, como o ARENA é voltado para a Simulação de Eventos Discretos, a sua capacidade de modelar re-trabalhos, eventos probabilísticos, processos de decisões, etc., torna-se um diferencial em relação ao @Risk. Além disso, destaca-se o aparecimento de softwares de Simulação voltados especificamente para o gerenciamento de projetos, como o *Stochastic Project Scheduling Simulation* – SPSS e o S3.

⁹ Constructibilidade: É o estudo dos aspectos construtivos, logísticos e de acesso físico referentes ao ambiente caótico de uma obra.

Com relação aos autores, percebe-se que o tema *Simulação Aplicada ao Gerenciamento de Projetos* está em pesquisa em todo o mundo. Inúmeras são as motivações, mas com destaque para as tentativas de otimização baseadas em Simulação para o gerenciamento de projetos. Esse contexto é obtido não só pela análise da tabela dos principais autores, mas pela própria análise das referências bibliográficas como um todo.

Por fim, surge como proposta de um trabalho futuro pesquisar como vem se comportando o emprego de uma determinada metodologia de Simulação ao longo desses vinte anos em gerenciamento de projetos. Saber se uma dada metodologia está em declínio ou em ascendência e o motivo pelo qual isso está ocorrendo, parece ser uma pesquisa relevante.

REFERÊNCIAS

ABOURIZK, S.M., Wales, R.J., 1997, Combined discrete-event/continuous simulation for project planning. **Journal of Construction Engineering And Management**, v.123, n.1, p.11-20, 1997.

ARAUJO, T.S. **Um plug-in que integra um simulador de projetos a uma ferramenta de gerenciamento de projetos**. Graduação. Dissertação, Centro de Informática, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, CE, 2007.

ARTTO, K.A., LEHTONEN, J.M., SARANEN, J. Managing projects front-end: incorporating a strategic early view to project management with simulation. **International Journal of Project Management**, v.19, p. 255-264, 2001.

BAE, D.H., CHOI, K.. Dynamic project performance estimation by combining static estimation models with system dynamics. **Information and Software technology**, v.51, p.162-172, 2009.

BANKS, J., II CARSON, J.S., NELSON, B.L. et al. **Discrete-event system simulation**, 5. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2010.

BARGSTÄDT, H.J., BLICKLING, A. Determination of Process Durations on Virtual Constructions Sites. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2005. **Proceedings...** p.1549-1558, 2005.

BARROS, M.O. **Gerenciamento de projetos baseado em cenários**: uma abordagem de modelagem dinâmica e simulação. Dissertação (Mestrado) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2001.

BARROS, M.O., WERNER, C.M.L., TRAVASSOS, G.H. **Using process modeling and dynamic simulation to support software process quality management**. Computer Science Department – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

BEHZADAN, A.H., KAMAT, V.R. Enabling smooth and scalable dynamic 3d visualization of discrete-event construction simulations in outdoor augmented reality. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE 2007. **Proceedings...** p.2168-2176, 2007.

BEHZADAN, A.H., KAMAT, V.R. Simulation and Visualization of traffic Operations in Augmented Reality for Improved Planning and Design of Road Construction Projects. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2008. **Proceedings...** p.2447-2454, 2008.

BERNY, J., TOWNSEND, P.R.F. Macrosimulation of project risks: a practical way forward. **International Journal of Project Management**, v.11, n.4, p.201-208, 1993.

CATES, G.R. **Improving project management with simulation and completion distribution functions**. PhD. Dissertation - University of Central Florida, Orlando, Florida, 2004.

CHINBAT, U., TAKAKUWA, S. Using Simulation Analysis for Mining Project Risk Management. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2009. **Proceedings...** p. 2612-2623, 2009.

CHWIF, L., MEDINA, A.C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria & Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Bravarte, 2007.

COELHO, D., K. et al. Risk assessment of drilling and completion operations in petroleum wells using a monte carlo and neural network approach. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2005. **Proceedings...** pp.1892-1897, 2005.

COR, H., Martinez, J.C. A case study in the quantification of a change in the conditions of a highway construction operation. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 1999. **Proceedings...** p.1007-1009, 1999.

DESCHAIINE, L.M. et al. **Project risk quantifier and optimal project accelerator**: using machine learning and stochastic simulation to optimize project completion dates and costs. Science Application International Corporation.

DINSMORE, P.C., CAVALIERI, A. **Como se tornar um profissional em gerenciamento de projetos**: livro-base de preparação para certificação PMP. 2. ed. Rio de Janeiro, Qualitymark, 2005.

DZENG, R.J., LEE, H.Y. Optimizing the development schedule of resort projects by integrating simulation and genetic algorithm. **International Journal of Project Management**, v.25, p. 506-516, 2007.

ELKJAER, M. Stochastic budget simulation. **International Journal of Project Management**, v.18, p.139-147, 2000.

FREITAS FILHO, P.J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em arena**. 2. Ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.

FORD, D.N., STERMAN, J.D. **Overcoming the 90% syndrome: iteration management in concurrent development projects**.

FORGIE, C. **Discrete event simulation (des) modeling and analysis for strategic program planning and management**. Dissertation - Department of Industrial Engineering, University of Louisville, Louisville, 2008.

GAYWAL, L. **Quantitative risk analysis for project management: a critical review**. Santa Mônica, Califórnia: The RAND Corporation, 2004.

GONÇALVES, J.F., MENDES, J.J.M., RESENDE, M.G.C. A genetic algorithm for the resource constrained multi-project scheduling problem. **European Journal of Operational Research**, v.189, p.1171–1190, 2008.

GOTTFRIED, B.S. **Elements of stochastic process simulation**. New Jersey, Prentice-Hall, 1984.

HAGA, W.A. Crashing pert networks: a simulation approach. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE ACADEMY OF BUSINESS AND ADMINISTRATIVE SCIENCES CONFERENCES, 2001. **Proceedings...** p.1-15, 2001.

HERBERT, J.E. Applications of simulation in project management. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 1979. **Proceedings...** Maryland, p.211-219, 1979.

HERROELEN, W., LEUS, R. The construction of stable project baseline schedules. **European Journal of Operational Research**, v.156, p.550-565, 2004.

HERROELEN, W., LEUS, R. Project scheduling under uncertainty: survey and research potentials. **European Journal of Operational Research**, v.165, p. 289-306, 2005.

HUANG, E., CHEN, S.G. Estimation of project completion time and factors analysis for concurrent engineering project management. **Concurrent Engineering: Research and Applications**, v.14, n. 4, p. 329-341, 2006.

JACINTO, C.M.C. Discrete event simulation for the risk of development of and oil field. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2002. **Proceedings...**, p.1588-1592, 2002.

IJMP, EDITORIAL. Evolution of project management research as evidenced by papers published in the international journal of project management. **International Journal of Project Management**, v.28, p.1-6, 2010.

JAHANGIRIAN, M. et al. Simulation in Manufacturing and Business: a review. **European Journal of Operational Research**, v. 203, p.1-13, 2010.

KE, H., LIU, B. Project scheduling problem with stochastic activity duration times. **Applied Mathematics and Computation**, v. 168, p. 342–353, 2005.

KHOSHNEVIS, B., 1994, **Discrete systems simulation**: international edition, series in industrial engineering and management science. Singapore: McGraw-Hill, 1994.

KOLLTVEIT, B.J., KARLSEN, J.T., GRONHAUG, K. Perspectives on project management. **International Journal of Project Management**, v.25, p. 3-9, 2007.

KOUSKOURAS, K.G., GEORGIU, A.C. A discrete event simulation model in the case of managing a software project. **European Journal of Operational Research**, v.181, p.374-389, 2007.

KUHL, M.E., TOLENTINO-PEÑA, R.A. A dynamic crashing method for project management using simulation-based optimization. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2008. **Proceedings ...**p. 2370-2376, 2008.

KURIHARA, K., NISHIUCHI, N. Efficient Monte Carlo simulation method of GERT-type network for project management. **Computers & Industrial Engineering**, v. 42, p.521–531, 2002.

KWAK, Y.H., INGALL, L. Exploring Monte Carlo simulation applications for project management. **Risk management**, v.9, p.44-57, 2007.

LAW, A.M. **Simulation modeling & analysis**. 4.ed. New York: McGraw-Hill, 2007.

LAWRENCE, F.P., COCHRAN, J.K. A new computational approach for project management networks. In: **International Conference on Computers and Industrial Engineering**, v.29, n.1-4, p. 339-343, 1995.

LEE, D.E. Probability of project completion using stochastic project scheduling simulation (SPSS). **Journal of Construction Engineering and Management**, ASCE, v.131, n.3, p. 310-318, fev. 2005.

LEE, D.E., ARDITI, D. Automated statistical analysis in stochastic project scheduling simulation. **Journal of Construction Engineering and management**, v. 132, n.3, p. 268-277, 2006.

LEE, D.E., SHI, J.J. Statistical analysis for simulating schedule network. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2004. **Proceedings...** p.1283-1289, 2004.

LEE, S.H., MORA, F.P. System dynamics approach for error and change management in concurrent design and construction. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2005. **Proceedings...**p.1508-1514, 2005.

LEE, S.H., PEÑA-MORA, F., PARK, M. Dynamic planning and control methodology for strategic and operational construction project management. **Automation in Construction**, v.15, p. 84-97, 2006.

MCCABE, B. Monte Carlo simulation for schedule risks. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2007. **Proceedings...** p.1561-1565, 2003.

MEREDITH, J.R., MANTEL, S.J. **Administração de projetos**: uma abordagem gerencial. 4. ed. John Wiley & Sons, 2000.

MOELLER, G.L., DIGMAN, L.A. Operations planning with vert. **Operations Research**, v.29, n.4, p.676,1981.

MONGALO, M.A., LEE, J. A comparative study of methods for probabilistic project scheduling. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS AND INDUSTRIAL ENGINEERING, v.19, n. 1-4, p.505-509, 1990.

NANCE, R.E., SARGENT, R.G. Perspectives on the evolution of simulation, operations research. **Inform**s, v.50, n.1, p. 161 -172, 2002.

OAKSHOTT, L. **Business modelling and simulation**. 1 ed. London: Pitman Publishing, 1997.

OTTJES, J.A., VEEKE, H.P.M. Project management with simulation: critical view on the critical path. In: ICSC SYMPOSIA ON INTELLIGENT SYSTEM & APPLICATIONS, WOLLONGONG, 2000. Australia. **Proceedings...** Australia, dec. 2000.

PIDD, M. **Computer simulation in management science**. 5. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2004.

RAFFO, D., HARRISON, W. Combining process feedback with discrete event simulation models to support software project management.

RODRIGUES, A., BOWERS, J. The role of system dynamics in project management. **International Journal of Project Management**, v.14, n.4, p.213-220, 1986.

SILVA, L.B.G. Utilização de simulação e análise de superfície de resposta FUZZY na minimização de recursos em projetos não repetitivos. In: SPOLM, p. 1-13, 2009.

SIMMONS, L. Project management: critical path method (cpm) and pert simulated with process model. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, **Proceedings...** p.1786-1788, 2002.

SOARES, L.F.G. **Modelagem e simulação discreta de sistemas**. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

SRISUWANRAT, C., IOANNOU, P.G. Optimal scheduling of probabilistic repetitive projects using completed unit and genetic algorithms. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceedings...** p. 2151-2158, 2007.

SU, C.T., SANTORO, M.C. Gerenciamento de risco de prazo. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Fortaleza, CE, p.1-10, out. 2006.

TRAVASSOS, P.R.N., KIENBAUM, G.S. **Gerenciamento de projetos e simulação de processos: uma abordagem integrada**. São José dos Campos – SP: Laboratório de Computação e Matemática Aplicada, Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).

VAN DORP, J.R., DUFFEY, M.R. Statistical dependence in risk analysis for project networks using monte carlo methods. **International Journal of Production Economics**, v.58, p.17-29, 1999.

VONDER, S.V. et al. Heuristic procedures for reactive project scheduling. **Computers & Industrial Engineering**, v.52, p.11–28 , 2007.

WANG, W.C. Impact of soft logic on the probabilistic duration of construction projects. **International Journal of Project Management**, v.23, p.600-610, 2005.

WILLIAMS, T. The contribution of mathematical modelling to the practice of project management. **Management Science: Theory, Method & Practice**, 2003-4, p.1-41, 2003.

WILLIAMS, T.M. Safety regulation changes during projects: the use of system dynamics to quantify the effects of change. **International Journal of Project Management**, v.14, p. 23-31, 2000.

WILLIAMS, T. A classified bibliography of recent research relating to project risk management. **European Journal of Operational Research**, v.85, p.18-38, 1995.

TAVARES, L.V. A Review of the contribution of operational research to project management. **European Journal of Operational Research**, v.136, p.1-18, 2002.



Artigo recebido em 26/07/2010 e aceito para publicação em 10/04/2011.