



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP)
II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)
ISSN:2317-8302

MODELOS PARA ALOCAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS DE DIFERENTES PERFIS EM PROJETOS DE TI

EMANUEL DANTAS FILHO

Universidade Federal de Campina Grande
emanueldan@gmail.com

MARCOS JOSÉ NEGREIROS GOMES

Universidade do Estado da Bahia
negreiro@graphvs.com.br



MODELOS PARA ALOCAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS DE DIFERENTES PERFIS EM PROJETOS DE TI

Resumo

A gestão de projetos vem sendo aplicada nas mais diversas áreas em face da aceleração do ritmo de mudanças impostas pela globalização em qualquer ambiente organizacional. Em especial, a gestão de projetos vem sendo utilizada com muita frequência na área de tecnologia da informação. Em uma instituição que executa projetos de TI, periodicamente existem demandas de alocação de recursos humanos. Cabe à organização fazer a alocação dos profissionais nas atividades de forma a atender as necessidades do projeto. Este artigo tem como objetivo propor e avaliar modelos estruturados em programação matemática, objetivando otimizar o uso dos recursos humanos em projetos de TI. Vários esforços nesse sentido vêm sendo investidos, nesse trabalho, é utilizado o cenário de uma fábrica de software, esta tem a característica de ter recursos com competências heterogêneas, ou seja, recursos de diferentes perfis que podem desempenhar atividades distintas em um projeto. Os modelos propostos foram aplicados em projetos com cronogramas reais. Como resultado, após o uso dos modelos, houve uma diminuição na ociosidade de recursos e as atividades foram sempre desempenhadas pelos recursos com as maiores competências disponíveis no momento. Isso acarretou no final, uma redução no custo do projeto com Recursos Humanos.

Palavras-chave: Gestão de Projetos, Alocação de Recursos Humanos, RCPSP, RCMPSP.

Abstract

Project management has been applied in several areas in the face of accelerating the changes imposed by globalization in any organizational environment. In particular, the project management has been used very often in the area of information technology. In an institution that performs IT projects, there are periodically demands of human resource allocation. It is up to the organization to make the allocation of professional activities in order to meet the needs of the project. This article aims to propose and evaluate structured mathematical programming, aiming to optimize the use of human resources in IT projects models. Several efforts have been invested in this work the scene of a software factory is used, it has the characteristic of having resources with heterogeneous skills, or resources of different profiles that can perform various activities in a project. The proposed models were applied in projects with real timelines. As a result, after the use of the models, there was a decrease in idle resources and activities were always performed by resources with the highest skills available. This resulted in the end, a reduction in the cost of the project with Human Resources.

Keywords: Project Management, Human Resource Allocation, RCPSP, RCMPSP



1 INTRODUÇÃO

De acordo com (Lamoréa, Higashi & Ruschel, 2007) o PMI é uma das principais associações mundiais em Gerenciamento de Projetos, e atualmente lidera o desenvolvimento de padrões que regulam a prática do gerenciamento de projetos, principalmente através de seu documento padrão, o PMBOK.

O guia PMBOK encontra-se na quinta edição, lançada em 2013 pelo PMI. Este importante documento descreve boas práticas no que refere-se ao gerenciamento de projetos, apresentando os processos nas suas diversas fases e áreas de conhecimento.

Uma gerência de projeto eficaz consegue trazer as pessoas certas no tempo certo, de forma a conseguir que o trabalho seja realizado com sucesso (Reifer, 2002), enquanto que uma gerência de recursos humanos mal conduzida, pode resultar no não atendimento de planos, estimativas ou prazos pré-estabelecidos, impactando a qualidade dos produtos a serem entregues (Murch, 2000).

Gerir projetos em organizações de tecnologia da informação tem-se tornado uma tarefa desafiadora. Uma das tarefas mais complexas está relacionado à alocação de pessoas habilitadas e em quantidade necessária para execução do projeto. Com o advento dos processos de melhoria da qualidade de software, o ciclo de vida de desenvolvimento de projetos vem requerendo pessoas especializadas em várias disciplinas e que unam seus conhecimentos em prol da construção de um produto estável e compatível com as expectativas do cliente.

Quanto maior a organização, mais projetos são conduzidos e conseqüentemente mais recursos humanos são necessários. Alocar um número alto de profissionais, com diferentes perfis, em um grande número de atividades é uma tarefa árdua e passível a erros. Dado a alta complexidade que o problema pode atingir, é de se esperar que seja um grande facilitador o uso de ferramentas de otimização para o apoio à tomada de decisões.

No universo de Modelagem Matemática, o problema de alocação de recursos humanos é conhecido como uma variação do problema do escalonamento. Em essência, o problema do escalonamento é um problema de otimização – procura-se satisfazer os requisitos previstos, a um custo mínimo, respeitando as restrições impostas. Vale salientar que em sistemas de apoio à decisão, a decisão final continua sendo feita por humanos (Rus, Halling & Biffel, 2003).

É sabido que os projetos enfrentam diversos desafios em sua execução, o que acarreta que muitos desses ainda sejam concluídos sem atender a algum critério, seja relacionado ao tempo, custo ou qualidade. Neste cenário, algo que contribui fortemente para esses problemas está relacionado na ausência de métodos automatizados, como os baseados em modelos matemáticos para tratar a alocação dos recursos com habilidades heterogêneas.

Um modelo que otimize a alocação dos recursos de forma correta e eficiente contribuirá para a entrega de atividades em prazos menores, para o menor custo dos projetos e na maior qualidade do trabalho desenvolvido.

O objetivo deste trabalho é propor modelos matemáticos para alocação automatizada e otimizada dos recursos humanos em projetos de TI. Seja em um projeto exclusivo ou em um portfólio de projetos.

Nesse trabalho será considerado um cenário específico de uma fábrica de software, levando em consideração a heterogeneidade dos recursos humanos e suas afinidades distintas em desempenhar as diversas atividades que a eles são atribuídas em um projeto. Um detalhe importante é que os modelos propostos não fazem a revisão do caminho crítico.



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP) II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma: na segunda seção apresentamos a metodologia para resolução de nosso problema. Na terceira seção apresenta-se uma revisão da literatura no que diz respeito a gerenciamento de recursos humanos e modelos de alocação. A seção quatro é dedicada à apresentação dos modelos propostos e análise dos resultados. Por fim, apresenta-se a conclusão e as contribuições deste trabalho na seção cinco, bem como suas perspectivas futuras.

2 METODOLOGIA

Neste trabalho será seguido uma metodologia para alcançar os objetivos definidos. Inicialmente, será realizada uma pesquisa bibliográfica em livros, periódicos e bases de conhecimento, para obter o estado da arte e trabalhos relacionados dos assuntos pertinentes ao artigo.

Em seguida será proposto um modelo para alocação de recursos humanos em um projeto de TI, como cenário será utilizado uma fábrica de software e seus recursos de competências heterogêneas. Um segundo modelo será proposto, dessa vez para tratar da alocação dos recursos em vários projetos simultâneos.

No final, será montado um ambiente de simulação para aplicar os modelos propostos em cenários reais de uma fábrica de software. Os resultados serão contabilizados como forma de identificar a eficácia de cada modelo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção é evidenciado o conceito de gerenciamento de projeto, em especial ao gerenciamento de recursos humanos. Também será apresentada uma revisão de trabalhos relacionados ao problema de alocação de recursos em projetos exclusivos e em múltiplos projetos.

3.1 Gerenciamento de Recursos Humanos

O projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo. Um projeto cria entregas exclusivas, que são produtos, serviços ou resultados (PMI, 2013). No tocante a projetos de TI os produtos são novos softwares ou evoluções de sistemas já existentes. O projeto é temporário, pois tem início e fim definidos, sendo que o fim é atingido quando seus objetivos são alcançados.

Para (Vargas, 2009), gerenciamento de projetos é um conjunto de ferramentas gerenciais que permitem que a empresa desenvolva um conjunto de habilidades, incluindo conhecimento e capacidades individuais, destinados ao controle de eventos não repetitivos, únicos e complexos, dentro de um cenário de tempo, custo e qualidade pré-determinados.

A gerência de projeto pode ser assim definida como o processo de planejamento, organização, direção e controle de recursos da organização para um objetivo relativamente de curto prazo, que seja estabelecido para a conclusão dos objetivos, seja de caráter geral como específico (Kerzner, 2003).

Uma das áreas mais importantes do gerenciamento de projetos consiste no gerenciamento de recursos humanos. A equipe deve possuir as competências e habilidades particulares necessárias à realização do projeto. O gerente de projeto coordena o trabalho da equipe, bem como as atividades externas no sentido de atender às expectativas da contratante (ou proprietário).



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP) II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)

O Gerenciamento de Recursos Humanos do projeto descreve os processos que organizam e gerenciam a equipe do projeto. De acordo com o (PMI,2013) esta área possui os processos: planejamento de recursos humanos, contratação ou mobilização da equipe do projeto, desenvolvimento da equipe do projeto e gerenciamento da equipe do projeto. Uma visão geral destes processos, bem como algumas atividades correspondentes pode ser observado na Figura 1.

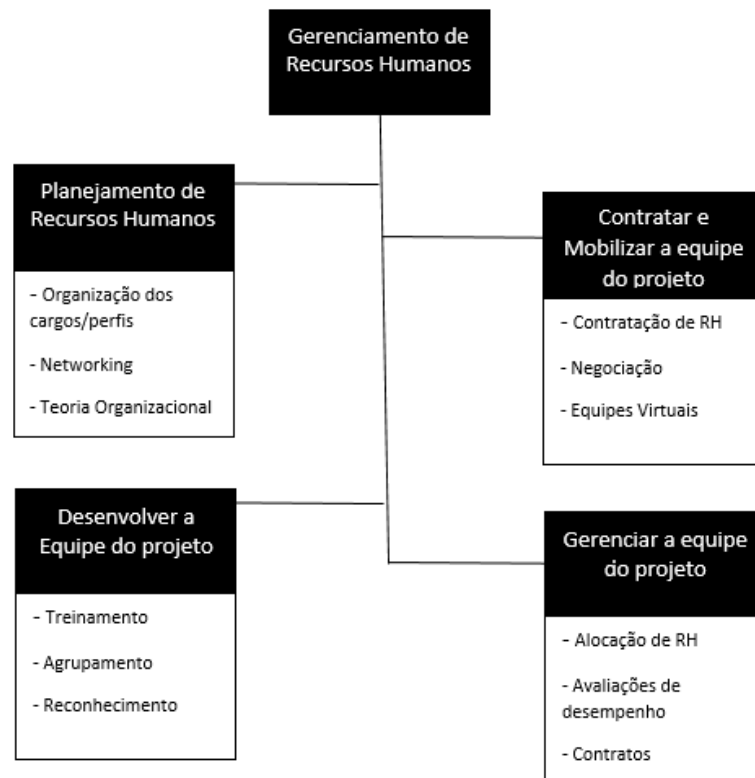


Figura 1 –Gerenciamento de Recursos Humanos.

Fonte: Adaptado de Project Management Institute (PMI). (2013) PMBOK – Project Management Body of Knowledge. 5ª Edição: Autor.

Como pode ser visto na Figura 1, a atividade de alocação de recursos humanos está presente no processo de gerenciar a equipe do projeto. É uma tarefa realizada pelo gestor do projeto e normalmente realizada de forma manual sem ajuda de ferramentas de otimização.

3.2 O problema de alocação de recursos

A tarefa de definir a alocação, ou seja, designar qual recurso vai desempenhar cada atividade, é uma tarefa custosa e passível de erros, e na maioria das vezes realizadas de forma manual pelos gerentes de projetos.

Modelos matemáticos podem ser usados para representar e resolver o problema de alocação de recursos em projetos. Esses problemas são conhecidos na literatura como problemas de alocação de recursos limitados em projetos. Há dois tipos de abordagens de problemas neste contexto, a primeira denominada de RCPSP (*Resource Constrained Project Scheduling Problem* – Problema de Planejamento de Projetos com Restrições de Recursos), e



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP) II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)

a segunda denominada de RCMPSP (*Resource Constrained Multiple Project Scheduling Problem* – Problema de Planejamento de Múltiplos Projetos com Restrições de Recursos).

3.2.1 RCPSP

O problema RCPSP está relacionado com a otimização na alocação de recursos em um projeto específico. Durante as últimas décadas, os problemas do tipo RCPSP tem sido amplamente estudados. Nesta classe de problema várias pesquisas tomam objetivos distintos na otimização, normalmente relacionadas com a minimização de custos e tempo.

Um dos objetivos possíveis é o de gerar uma alocação com o menor custo possível, levando em consideração os recursos disponíveis, as tarefas a serem desempenhadas e o prazo do projeto. Cada modelo que seja instanciado para resolver o problema RCPSP deve atentar para as restrições na execução de um projeto, como a quantidade de recursos para desempenhar cada tarefa e a possibilidade de cada recurso executar uma ou mais tarefas em um instante de tempo.

Em Kolisch e Hartmann (2006) o problema RCPSP é tratado para a minimização da duração em dias do projeto, também conhecido como *makespan*. Também é abordada a maximização do valor presente líquido (VPL).

De acordo com Boctor (1993), o principal critério de otimização consiste em minimizar os custos do projeto. Este critério considera o caso em que as atividades podem ser realizadas de vários modos, que correspondem a diferentes configurações de recursos, como conseguinte com custos diferentes.

Na literatura temos estudos de diversas metaheurísticas que são usadas para resolver o problema de alocação de recursos em projetos, existem pesquisas que utilizam busca tabu (Baar, Brucker & Knust, 1998) e *simulated annealing* (Bouleimen & Lecocq, 2003), essas mantêm apenas uma solução em cada iteração. Outras pesquisas são voltadas para métodos que mantêm um conjunto de solução em cada iteração, como os algoritmos genéticos (Hartmann, 1998).

Em Al-fawzan e Haouari (2004) é formulado um modelo matemático para tomada de decisão na alocação de recursos em um projeto. As restrições de precedências de atividades, disponibilidade de recursos, duração de cada atividade e duração total do projeto são tratadas pelo modelo.

Os trabalhos relatados resolvem o problema de alocação de recursos em cenários específicos que não contemplam as restrições de uma fábrica de software. É preciso ter um modelo que leve em consideração a heterogeneidade de competências dos recursos. Ou seja, a capacidade do recurso de desenvolver ou não certas atividades e sua afinidade para executar estas tarefas.

3.2.2 RCMPSP

O modelo RCMPSP tem a particularidade de ser voltado para otimizar a alocação de recursos levando em consideração vários projetos simultâneos. A ideia do modelo é a mesma do RCPSP, com o acréscimo de variáveis para representar os n projetos e critérios para priorização destes projetos.

Um número de projetos deve simultaneamente repartir recursos limitados, satisfazendo às condições de precedência de atividades tendo como objetivo minimizar a soma dos custos



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP) II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)

de alocações de cada recurso a todas as atividades dos projetos, (Bowers, Groom & Morris, 1998)

Em Hartmann (1998) o problema de alocação de recursos em múltiplos projetos é tratada através de um algoritmo genético. O autor propôs um algoritmo para otimizar o uso de recursos limitados na alocação em atividades de um conjunto de vários projetos simultâneos. Os indivíduos característicos em algoritmos genéticos no problema de alocação são representados por sequência de atividades. A escolha do indivíduo deve sempre obedecer às regras de precedência, estas precisam ser armazenadas para que o algoritmo atenda a essa restrição. As mutações da população de indivíduos não devem violar as restrições.

No trabalho de Gambini, Renato e Saturo (2008) uma nova abordagem para o problema de otimização de recursos em projetos é apresentada. O algoritmo proposto também é utilizado para realizar alocações em vários projetos simultâneos e trata as relações de precedência de atividades, como diferencial, o algoritmo leva em consideração o custo para realizar cada atividade para definir a prioridade. Para cada atividade disponível a ser realizada, as atividades com maior prioridade serão agendadas mais cedo com relação as outras de prioridade inferior.

No estudo de Gagnon (2012), foi apresentada uma abordagem de programação de múltiplos projetos para auxiliar os gerentes a decidir sobre o melhor cronograma a ser seguido pela equipe. Foi abordado que existem diversos softwares que auxiliam os gerentes de projetos na construção do cronograma, mas nenhum tem a finalidade de otimização de recursos. A alocação sempre é uma atividade manual.

Um fato que tem a se observar, que os trabalhos RCMPSP relatados, são propostos mecanismos para auxiliar o uso de recursos em vários projetos da organização. Porém, as alocações são propostas considerando recursos multidisciplinares, ou seja, qualquer recurso tem competência para realizar qualquer atividade do projeto. Essa realidade se adequa a vários cenários de mercado. Porém, não é uma característica de projetos de TI executados em fábricas de softwares.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste trabalho serão instanciados modelos matemáticos para o RCPSP e RCMPSP, como forma de representar e gerar alocações dos recursos e atividades de projetos de TI. O cenário analisado será de uma fábrica de software, considerando a heterogeneidade de perfis dos recursos humanos e as diferentes afinidades em desempenhar as atividades previstas dos projetos.

Para contabilizar os resultados será analisado o parâmetro custo. Confrontam-se os resultados alcançados no uso destes modelos com os custos reais do projeto com recursos humanos. Mostra-se a diferença de custos em diferentes cenários analisados.

4.1 Modelo RCPSP

O modelo RCPSP pode ser instanciado para diferentes cenários, neste trabalho o objetivo foi de alcançar uma alocação que levasse em consideração a heterogeneidade dos recursos humanos. A otimização deve buscar o menor custo com recursos para o projeto, a priorização na alocação deve se basear no custo e afinidade do recurso em desempenhar cada atividade. A formalização do modelo proposto pode ser observada no Quadro 01.



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP) II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)

Quadro 01 – Modelo proposto para o RCPSP

Conjuntos:

- I** // Os instantes no horizonte “h” para execução do projeto. (1...h)
R // Os recursos do projeto. (1...n)
A // As atividades do projeto. (1...m)
RA (r, a) // Indica os recursos **r** aptos a desempenhar a atividade **a**
AI (a, i) // Indica as atividades **a** alocadas a cada instante **i**
RAI (r, a, i) // Os recursos **r** que podem executar a atividade **a** no instante **i**
Início (a, i) // Indica que a atividade **a** inicia no instante **i**

Parâmetros:

- Disp**(r) // Disponibilidade do recurso **r**
Custo (r, a) // custo por unidade de tempo para o recurso **r** executar atividade **a**
Estimativa (r, a) // estimativa de tempo para o recurso **r** executar atividade **a**
Duração(a) // duração (em dias) da atividade **a**

Variáveis:

$$X(r,a) = \begin{cases} 1, & \text{se o recurso } r \text{ é usado para realizar a atividade } a; \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

$M(r,a)$ = duração em tempo do recurso r realizar a atividade a ;

$$Y(r,a,i) = \begin{cases} 1, & \text{se o recurso } r \text{ é usado para realizar a atividade } a \text{ no instante } i; \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

Modelo (RCPSP):

// Minimizar o custo do projeto com recursos humanos;

$$(RCPSP) \text{ Minimizar } \sum_{r \in R} \sum_{a \in A} \text{Custo}_{r,a} M_{r,a} \quad (\text{Eq. 5.1.0})$$

// A alocação de um recurso não pode ultrapassar a sua disponibilidade de tempo;

$$\sum_{r,a \in RA} M_{r,a} \leq \text{Disp}_r, \forall r \in R \quad (\text{Eq. 5.1.1})$$

// Para cada atividade em dado instante de tempo somente pode ter um recurso alocado a ela;

$$\sum_{(r,a,i) \in RAI} Y_{r,a,i} \leq 1, \forall (a,i) \in AI \quad (\text{Eq. 5.1.2})$$

// No início da atividade a tem que haver um único recurso r alocado para ela

$$\sum_{(r,a) \in RA} Y_{r,a,i} = 1, \forall (a,i) \in \text{Início} \quad (\text{Eq. 5.1.3})$$

// Uma atividade uma vez iniciada com certo recurso r tem que ir até o final com ele

$$\sum_{(a,i) \in AI} Y_{r,a,i} \leq M_{r,a}, \forall (r,a) \in RA, \quad (\text{Eq. 5.1.4})$$

$$\text{Estimativa}_{r,a} X_{r,a} \leq M_{r,a} \leq \text{Duracao}_a X_{r,a}, \forall (r,a) \in RA, \quad (\text{Eq. 5.1.5})$$

// As variáveis de decisão são binárias

$$X_{r,a} \in \{0,1\}, \forall (r,a) \in RA, \quad (\text{Eq. 5.1.6})$$

$$Y_{r,a,i} \in \{0,1\}, \forall (r,a,i) \in RAI, \quad (\text{Eq. 5.1.7})$$



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP) II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)

Como pode ser observado no Quadro 01, o modelo representa os instantes de tempo de duração do projeto, as atividades a serem desempenhadas e os recursos disponíveis para execução das atividades. Respectivamente os conjuntos I, R e A.

Buscando otimizar e automatizar o processo de alocação, foi definido no modelo o conjunto RA. Esse conjunto associa para cada par ordenado de recurso/atividade o custo e estimativa de tempo necessário para aquele recurso desempenhar a atividade em questão definidos nos parâmetros $Custo(r,a)$ e $Estimativa(r,a)$.

Os recursos utilizados no modelo são heterogêneos, ou seja, têm competências distintas e são capazes de desempenhar apenas um subconjunto de atividades do projeto. Para o cenário onde um recurso não tem competência para desempenhar a atividade, na instanciação do modelo, foi usada a estratégia de associar ao par ordenado RA correspondente, um valor de estimativa e custo elevados. Com isso, o modelo se encarrega de não utilizar os recursos que não têm competência para desempenhar determinada atividade.

O modelo considera que as atividades têm duração e início definidos “a priori”, para representar esse cenário foi definido o parâmetro DURACAO, e o conjunto INICIO. Isto retira um pouco a missão de planejamento (“Scheduling”) do modelo, e foca na alocação de recurso, no entanto é possível adaptá-lo à condição de escala, porém aumentando-se razoavelmente o número de restrições do modelo. Como nosso foco não é este, seguiremos apenas com a visão ortodoxa sobre os recursos e a realização das atividades.

Com relação às restrições do modelo, algumas situações foram tratadas de acordo com a realidade de uma fábrica de software. O modelo considera que um recurso só pode executar até uma atividade num dado instante de tempo (Eq. 5.1.2) e que no início de uma atividade deve haver alocação de um único recurso (Eq. 5.1.3). Ou seja, ou o recurso está ocioso ou executando uma única atividade em dado instante de tempo.

A restrição (Eq. 5.1.1) define que as alocações de um recurso não podem ultrapassar sua disponibilidade. As restrições (Eq. 5.1.4 e 5.1.5) indicam que o recurso deve seguir na execução da atividade até o seu término. Aqui também se define que uma atividade não deve ultrapassar a sua duração. Como o tempo de execução de uma atividade por um recurso foi determinado pelo método de previsão analisado, é de se esperar que o tempo gasto na execução da atividade seja menor que a duração estabelecida. Estas restrições garantem também que não haverá atividades sem alocação, pois para que o projeto seja finalizado todas as atividades precisam ser executadas.

O modelo não revê o caminho crítico, pois as tarefas iniciam em tempos definidos. As últimas tarefas, se reduzidas no tempo pela especificidade do recurso, é que provocam a possível diminuição do caminho crítico. De qualquer modo, se determinado recurso puder ser usado para reduzir o tempo de uma tarefa, irá conseqüentemente ajudar a rever o início das tarefas a montante, onde a primeira é predecessora.

Na função objetivo temos a minimização de custo do projeto (Eq. 5.1.0). A alocação deve levar em consideração o custo de cada recurso, alocando para cada atividade o recurso de menor custo e que possui maior afinidade em desempenhar a atividade. O modelo aloca apenas os recursos necessários, buscando diminuir que recursos fiquem ociosos.

4.2 Aplicação do RCPSP na fábrica de software

Atualmente, o mecanismo para criar os cronogramas na fábrica de software, ou seja, a forma que é conduzida a alocação dos recursos humanos nas atividades dos projetos são feitas baseadas em projetos já encerrados. Portanto, alguns projetos que foram concluídos servem como referência para os novos projetos, e toda estrutura do cronograma é usada como fator de reuso. Essa forma de criar os cronogramas é passível de erros e problemas, visto que além de



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP) II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)

ser uma atividade manual, cada projeto tem características particulares, e os cronogramas deveriam então ter distribuições diferentes das atividades. A adoção de um método de otimização para gerar essas alocações torna-se uma ferramenta útil para os gerentes de projetos nas organizações.

Para ilustrar os resultados alcançados com a aplicação do modelo RCPSM foram utilizados quatro projetos da fábrica de software. Em cada projeto foi realizado o levantamento das informações necessárias para fazer as simulações da instância.

Para cada instância foi contabilizada a duração do projeto (instantes de tempo), as diferentes atividades, a duração em dias de cada atividade, bem como suas relações de precedência. Somado a essas informações, foi realizado um levantamento dos recursos humanos designados com informações de seu custo e disponibilidade. Com essas informações foi possível realizar as simulações para análise.

Na Tabela 01 podemos observar algumas dessas informações para os projetos em questão. Respectivamente temos a duração (instantes de tempo), os recursos alocados e as atividades a serem realizadas no projeto.

Tabela 1 - Característica das instâncias dos projetos do modelo RCPSM

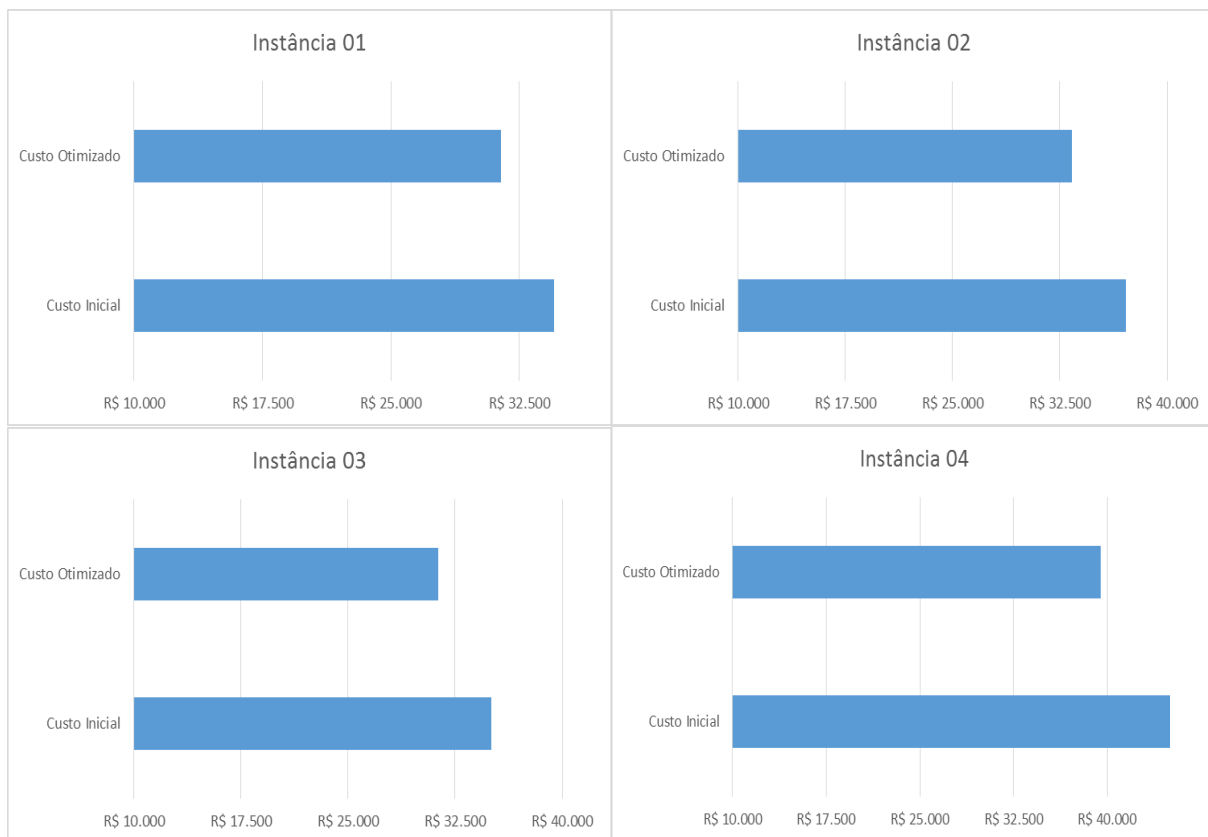
Instância	Duração (em dias)	No Recursos	No Atividades	Variáveis Binárias	Restrições
01	83	7	48	1611	1199
02	73	8	42	1617	1178
03	74	8	44	1681	1232
04	83	8	49	1725	1223

Além das informações do projeto, a Tabela 01 mostra as variáveis binárias e restrições geradas pelo modelo após execução da simulação. Pode-se observar que quanto maior o prazo, recursos e atividades, maior é o número de variáveis geradas pelo modelo. Para executar o modelo foi utilizado a versão 14.00 ilimitada do LINGO, gentilmente cedida pela LINDO Systems para esta pesquisa.

O indicador analisado será o de custo de pessoal. O objetivo é verificar o quanto realmente foi gasto com recursos humanos em um projeto, e comparar com o valor otimizado gerado pelo modelo sobre a instância. Nos gráficos 01, 02, 03 e 04 pode-se observar a relação do custo real e o custo otimizado desprendido com os recursos humanos para cada instância. O custo real foi calculado de acordo com o batimento de horas destes recursos na fábrica de software, enquanto que o custo otimizado é o resultado da simulação utilizando o modelo RCPSM na instância correspondente.



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP) II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)



Gráficos 01, 02, 03 e 04 – Comparativo do custo das instâncias 01,02,03 e 04 do RCPS

O custo otimizado após a utilização do modelo proposto foi inferior ao custo real despendido para o projeto em todas instâncias analisadas de acordo com os gráficos 01, 02, 03 e 04. As economias obtidas nos quatro projetos analisados nesse grupo de experimentos foram de respectivamente 9.85%, 11.39%, 11.98% e 14.68%.

Quando se estuda modelos matemáticos, um fator que deve ser considerado são os limites do modelo, ou seja, qual o intervalo de cenários em que o modelo proposto pode gerar resultados satisfatórios em tempo para obtenção da solução ótima. Neste caso específico, o modelo é misto – linear e binário, e possui uma complexidade inerente que deve ser investigada.

Para testar os limites do *solver* do LINGO para este modelo, pode-se fazer simulações aumentando o tamanho das instâncias do problema. Com o aumento do número de variáveis e restrições, a tendência é que haja um aumento da complexidade do modelo, que irá gerar soluções satisfatórias até um limiar onde não se consegue obter uma solução ótima em tempo aceitável.

Para o modelo RCPS foi utilizado o cenário de fixar o número de recursos e prazo do projeto e verificar como se comporta o modelo se mudarmos o número atividades.

Foi fixado o número de 7 recursos e um prazo de 83 dias, o que corresponde a quatro meses de projeto. Nas simulações foi alterado o número de atividades do projeto e avaliado os resultados. Ao final dos experimentos, foi observado que para esse cenário o modelo consegue alocar até 174 atividades distintas, o que gera um total de 7.221 variáveis binárias, com um tempo de execução de 15 segundos. Para uma quantidade maior de atividades o modelo não alcançou uma solução.



4.3 Modelo RCMPSP

O modelo RCMPSP difere por tratar da alocação de recursos humanos em múltiplos projeto. O modelo pode ser instanciado para diferentes cenários, porém assim como no RCPS, neste trabalho o objetivo foi de alcançar uma alocação que levasse em consideração a heterogeneidade dos recursos humanos da fábrica de software.

Primeiro o modelo deve priorizar quais projetos deve executar de acordo com o retorno financeiro que cada um possui. Em seguida realizar a otimização de buscar o menor custo com recursos, nesse caso de um conjunto de K projetos. A priorização na alocação deve se basear no custo e afinidade do recurso em desempenhar cada atividade. Como no primeiro modelo não consideramos a revisão do início das atividades. A formalização do modelo RCMPSP pode ser observada no Quadro 02.

Quadro 02 – Modelo proposto para o RCMPSP

<u>Conjuntos:</u>	
I	// Os instantes no horizonte “h” para execução do projeto. (1...h)
R	// Os recursos do projeto. (1...n)
A	// As atividades do projeto. (1...m)
PROJETOS	// Os projetos analisados em concomitância. (1...k)
RA (r, a)	// Indica os recursos r aptos a desempenhar a atividade a
AI (a, i)	// Indica as atividades a alocadas a cada instante i
PA (p, a)	// Indica as atividades a presentes no projeto p
PAI (p, a, i)	// Indica no projeto p as atividades a alocadas a cada instante i
RAI (r, a, i)	// Os recursos r que podem executar a atividade a no instante i
PRAI (p, r, a, i)	// No projeto p os recursos r que podem executar a atividade a no instante i
Início (p, a, i)	// Indica que no projeto p a atividade a inicia no instante i
<u>Parâmetros:</u>	
Disp (r)	// Disponibilidade do recurso r
Custo (r, a)	// custo para o recurso r executar atividade a
Estimativa (r, a)	// estimativa de tempo para o recurso r executar atividade a
Duração (a)	// duração (em dias) da atividade a ;
Valor (p)	// valor financeiro do projeto p ;
<u>Variáveis:</u>	
$X(r,a) =$	$\begin{cases} 1, \text{ se o recurso } r \text{ é usado para realizar a atividade } a; \\ 0, \text{ caso contrário.} \end{cases}$
$M(r,a) =$	duração em tempo do recurso r realizar a atividade a ;
$Y(p,r,a,i) =$	$\begin{cases} 1, \text{ se no projeto } p \text{ o recurso } r \text{ é usado para realizar a atividade } a \text{ no} \\ 0, \text{ caso contrário.} \end{cases}$
$Z(p) =$	$\begin{cases} 1, \text{ se projeto } p \text{ é selecionado;} \\ 0, \text{ caso contrário.} \end{cases}$



Modelo (RCMPSP):

// Maximizar o retorno financeiro, menos o custo do projeto com recursos humanos;
(RCMPSP) *Maximizar* $\sum_{p \in \text{Projetos}} \text{Valor}_p Z_p - \sum_{r \in R} \sum_{a \in A} \text{Custo}_{r,a} M_{r,a}$ (Eq. 5.2.0)

// A alocação de um recurso não pode ultrapassar a sua disponibilidade de tempo;
 $\sum_{r,a \in RA} M_{r,a} \leq \text{Disp}_r, \forall r \in R$ (Eq. 5.2.1)

// No início da atividade a tem que haver um único recurso r alocado para ela
 $\sum_{(r,a) \in RA} Y_{r,a,i} = Z_p, \forall (p,a,i) \in \text{Inicio}$ (Eq. 5.2.2)

// Uma atividade uma vez iniciada com certo recurso r tem que ir até o final com ele
 $\sum_{(p,a,i) \in PAI} Y_{p,r,a,i} \leq M_{r,a}, \forall (r,a) \in RA,$ (Eq. 5.2.3)

Estimativa $_{r,a} X_{r,a} \leq M_{r,a} \leq \text{Duracao}_a X_{r,a}, \forall (r,a) \in RA,$ (Eq. 5.2.4)

// As variáveis de decisão são binárias

$$X_{r,a} \in \{0,1\}, \forall (r,a) \in RA, \quad (\text{Eq. 5.2.5})$$

$$Y_{p,r,a,i} \in \{0,1\}, \forall (p,r,a,i) \in RAI, \quad (\text{Eq. 5.2.6})$$

$$Z_p \in \{0,1\}, \forall p \in \text{Projetos}, \quad (\text{Eq. 5.2.7})$$

O modelo RCMPSP formalizado no Quadro 02 é uma adaptação do modelo RCPSP definido inicialmente no Quadro 01. Para que o modelo funcione para N projetos, foi necessário realizar algumas customizações.

Inicialmente foi preciso definir o conjunto PROJETOS, que representa os projetos que estão sendo executados de forma simultânea. Para representar quais atividades fazem parte de cada projeto foi criado o conjunto PA. E para definir em que instantes cada uma dessas atividades se desenvolve foi criado o conjunto PAI.

Algumas restrições são mantidas do modelo RCPSP para o RCMPSP, como a que define as alocações dos recursos que não podem ultrapassar sua disponibilidade (Eq. 5.2.1). Outra restrição diz respeito que um recurso deve continuar alocado até o final uma vez que inicia uma atividade (Eq. 5.2.3). A restrição referente a que no início de uma atividade deve haver um recurso alocado foi adaptada para levar em consideração o projeto que esta atividade se encontra (Eq. 5.2.2). O modelo RCMPSP também não revê o caminho crítico, pois as tarefas iniciam em tempos definidos.

A função objetivo do modelo RCMPSP é diferente do modelo RCPSP. Além de escolher as alocações de recursos com os menores custos e maiores afinidades, o modelo deve selecionar quais projetos devem ser priorizados.

O modelo RCMPSP seleciona dentre um conjunto de projetos quais tem um melhor retorno financeiro para organização. Em seguida, os recursos humanos da fábrica de software devem ser alocados nestes projetos com a finalidade de termos ao final, os projetos com maior retorno e com o menor custo possível com recursos humanos (Eq. 5.2.0).

4.4 Aplicação do RCMPSP na fábrica de software

Para ilustrar os resultados alcançados com a aplicação do modelo RCMPSP de alocação foi utilizado a seguinte abordagem:

1. Definir um intervalo de tempo para análise;



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP) II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)

2. Instanciar o conjunto de projetos disponíveis a serem executados nesse período;
3. Rodar o modelo RCMPSP e verificar o custo otimizado;
4. Comparar o custo otimizado com o custo real;

O intervalo de tempo escolhido foi de 15 dias úteis, ou seja, três semanas, o que corresponde em gerenciamento de projetos como uma SPRINT. Para cada instância a ser analisada no modelo um conjunto de projetos são executados de forma simultânea no decorrer dessa SPRINT.

Na Tabela 02 podem ser observadas as características das quatro instâncias analisadas para o modelo RCMPSP.

Tabela 2 - Característica das instâncias dos projetos do modelo RCMPSP

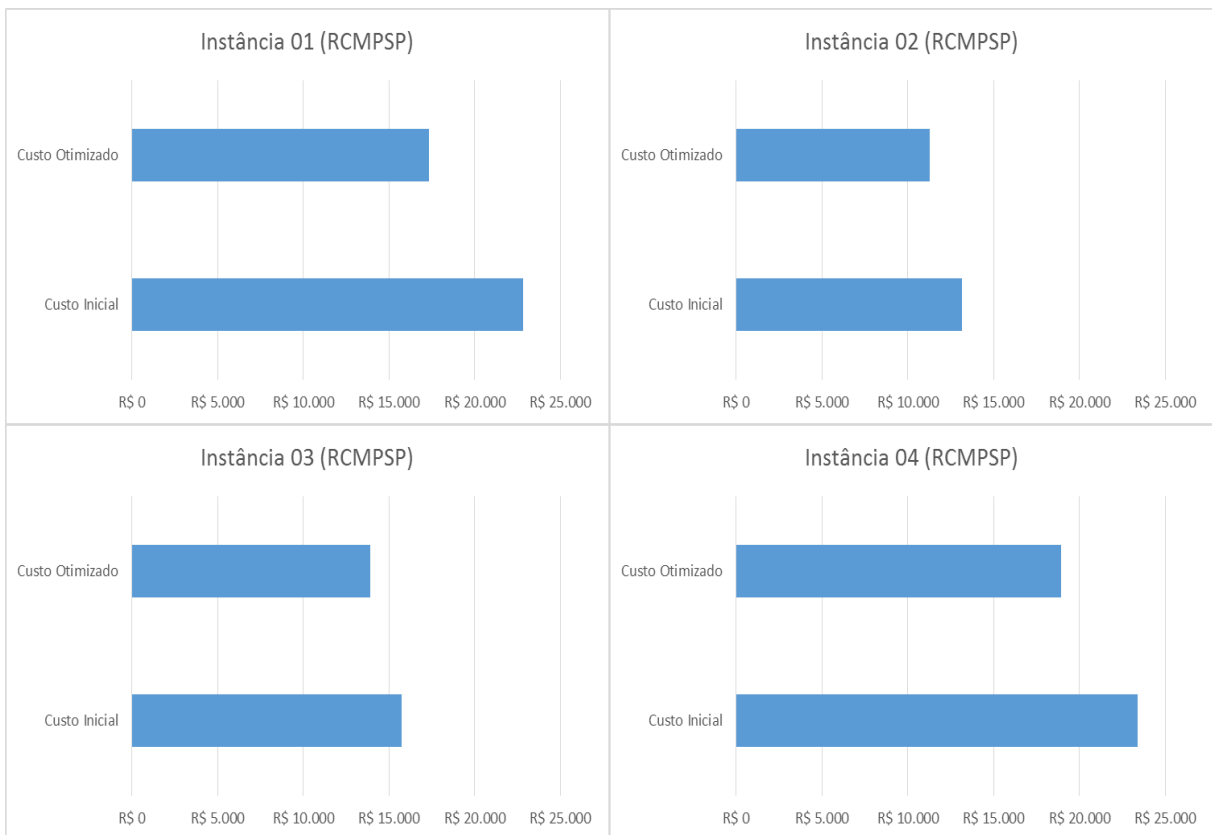
Instância	No Projetos	No Projetos priorizados	No Recursos	No Atividades	Variáveis Binárias	Restrições
01	04	03	08	32	1111	812
02	04	02	06	32	835	618
03	05	03	08	39	1272	937
04	06	04	08	46	1497	1112

Como pode ser observado (Tabela 02), o modelo seleciona uma quantidade de projetos para priorizar. Essa priorização como visto no Quadro 02 acontece de acordo com o valor do retorno financeiro de cada projeto. Os demais projetos são descartados, por não existir recursos disponíveis para alocação em todos os projetos. Em seguida o modelo executa a alocação dos recursos de acordo com seu custo e afinidade com as atividades dentre os projetos priorizados.

O indicador para fazer a análise de otimização será o de custo, o objetivo é comparar o quanto realmente foi gasto com recursos humanos nestes projetos e comparar com o valor otimizado gerado com a aplicação do modelo. Com base nisso, foi executado o modelo RCMPSP nas quatro instâncias. As relações dos custo reais com os otimizados podem ser observados nos gráficos 05, 06, 07 e 08.



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP) II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)



Gráficos 05, 06, 07 e 08 – Comparativo do custo das instâncias 01,02,03 e 04 do RCMPSP

Os gráficos 05, 06, 07 e 08 mostram os ganhos com adoção do modelo RCMPSP em instâncias de cenários reais. Esse ganho foi calculado fazendo a divisão do custo otimizado após a utilização do modelo com o custo real gasto nesse cenário. Os ganhos foram de respectivamente 24.07%, 14.06%, 11.74% e 19.08%. Assim como nas instâncias do modelo RCPSP, vale ressaltar que na análise dos custos do RCMPSP consideram-se apenas os custos com pessoal do projeto.

Assim como analisado no modelo RCPSP, também foi verificado os limites do modelo RCMPSP. Analisar qual o intervalo de cenários em que o modelo proposto pode gerar resultados satisfatórios em tempo de obtenção da solução ótima.

Para testar os limites do solver do LINGO para este modelo, as simulações foram semelhantes às utilizadas para o modelo RCPSP. Busca-se aumentar o tamanho das instâncias do problema e verificar o limiar para gerar soluções satisfatórias em tempo aceitável.

Para o modelo RCMPSP foi realizada uma análise para verificar quantos projetos simultâneos e quantas atividades a fábrica de software em questão consegue executar, de acordo com o número de recursos humanos disponíveis.

Fixou-se o número de recursos humanos em doze e o intervalo de tempo de quinze dias úteis, em seguida verificou-se como se comporta o modelo com o aumento da quantidade de atividades e do número de projetos simultâneos. O limite alcançado com o modelo para esse cenário foi o de rodar 12 projetos simultâneos e 134 atividades distintas. Para essa situação foram utilizadas 8.955 variáveis binárias e um tempo de processamento de 18 segundos.



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os modelos propostos neste trabalho para otimização da alocação de recursos alcançaram resultados excelentes. Em todas as simulações realizadas, foi possível gerar alocações com custos menores no tocante aos custos de recursos humanos dos projetos analisados.

Chega-se à conclusão que tanto o modelo RCPSP, quanto o modelo RCMPSP podem ser usados com sucesso para o cenário de recursos heterogêneos de uma fábrica de software com no máximo 12 projetos simultâneos. Os ganhos aconteceram em todas as instâncias analisadas, seja quando feita análise de projetos em separado (instâncias RCPSP), quanto para projetos concomitantes (instâncias RCMPSP).

Após utilizar o modelo de otimização nas simulações foi possível observar que os cronogramas apresentaram para cada atividade, o recurso com mais afinidade e com menor custo disponível naquele momento. O trabalho de montar a alocação dos recursos do projeto atualmente é desempenhado de forma manual, que além de ser muito custoso, é passível de falhas visto a quantidade de fatores a serem considerados na alocação.

A automatização e otimização do processo de alocação faz com que os riscos do projeto sejam minimizados, uma vez que a distribuição das atividades são definidas de acordo com o modelo e não dependendo de uma alocação manual.

Outro ganho que pode ser inferido diz respeito à qualidade do produto no final da execução do projeto. Com cada recurso executando atividades que têm mais afinidade, aumenta-se a produtividade, assim como aumenta a probabilidade do recurso ter sucesso na execução da atividade, tendo assim condições de entregar a tarefa com mais qualidade e no menor tempo possível.

O modelo proposto portanto é de grande valia para o planejamento e execução de projetos em fábricas de software. Os ganhos com adoção destas técnicas estão relacionados diretamente para diminuir os prazos e custos do projeto.

Como perspectiva de trabalho futuro, vislumbra-se melhorias para o modelo de alocação. O modelo pode ser aperfeiçoado para rever o caminho crítico, ajudando ainda mais no processo de alocação. Por fim, um ponto potencial de evolução é a realização de mais estudos e simulações da aplicação do modelo com base em dados de outras empresas afins, objetivando avaliar a aderência a diversos cenários de fábricas de softwares.

REFERÊNCIAS

Al-fawzan, M.A., Haouari, M. (2004) **A bi-objective model for robust resource-constrained project scheduling**. International Journal of Production Economics 96, 175–187.

Baar, T., Brucker, P., Knust, S. (1998) **Tabu-search algorithms and lower bounds for the resource constrained project scheduling problem. Meta-heuristics: advances and trends in local search paradigms for optimization**. Dordrecht: Kluwer; pp. 1–8.

Boctor, F.F. (1993) **Heuristics for scheduling projects with resource restrictions and several resource-duration modes**. International Journal of Production Research, v. 31, n. 11.

Bowers, M. R., Groom, K., Morris, R. (1998) **A practical application of a multi-project scheduling heuristic**. Production and Inventory management Journal, v. 37, n. 4.



III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP) II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)

- Bouleimen, K., Lecocq, H. (2003) **A new efficient simulated annealing algorithm for the resource– constrained project scheduling problem and its multiple modes version**, European Journal of Operational Research 149, pp. 268–281.
- Gagnon, Michel. (2012) **Resource-constrained project scheduling through the goal programming model: integration of the manager’s preferences**. International Transactions Inoperational Research, v. 19.
- Gambini, H., Renato, A., Saturo, L. (2008) **New effective algorithm for Dynamic Resource Constrained Project Scheduling Problem**. EngOpt – International Conference on Engineering Optimization.
- Hartmann, S. (1998) **A competitive genetic algorithm for resource-constrained project scheduling**, Naval Research Logistics 45, pp. 733–750.
- Kerzner, Harold. (2003) **Project management: a system approach to planning, scheduling, and controlling**, 8. Ed. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Kolisch, R., Hartmann, S. (2006) **Experimental investigation of heuristics for the resource constrained project scheduling**. European Journal of Operational Research, v. 174, n. 1, pp. 123-137.
- Lamoréa, F. M. M, Higashi, T. B., Ruschel, R. C., Fabricio, M. M. (2007) **Técnicas de coordenação: o uso de extranets, sobreposição de projetos e listas de checagem**. In: Workshop Brasileiro de gestão do processo de projetos na construção de edifícios, Curitiba.
- Murch, R., (2000) **Project Management – Best Practices for IT Professionals**, 1ª Edição, Estados Unidos, Prentice Hall.
- Project Management Institute (PMI). (2013) **PMBOK – Project Management Body of Knowledge**. 5º Edição: Autor.
- Reifer, D. (2002) **A Little Bit of Knowledge Is a Dangerous Thing**. IEEE Software, v. 19, n. 3 (Maio/Junho), pp. 14-15.
- Rus, I., Halling, M., Biffi, S., (2003) **Supporting Decision-Making in Software Engineering With Process Simulation and Empirical Studies**. International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering, v. 13, N. 5, pp. 531-545.
- Vargas, R. V. (2009) **Gerenciamento de projetos: estabelecendo diferenciais competitivos**. 7 ed. Rio de Janeiro: Brasport.