

**O PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE RECURSOS E SELEÇÃO DE MÚLTIPLOS  
PROJETOS DE TI**

**THE PROBLEM OF RESOURCE ALLOCATION AND SELECTION OF MULTIPLE  
PROJECTS IT**

**Marcos Negreiro**

Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

Professor da Universidade Estadual do Ceará – UECE

E-mail: [negreiro@graphvs.com.br](mailto:negreiro@graphvs.com.br) (Brasil)

**Willame Tiberio Barbosa**

Mestre em Computação pela Universidade Estadual do Ceará – UECE

Professor de Curso de Especialização em Gestão de Projetos da Universidade Estadual do Ceará – UECE

E-mail: [willametb@gmail.com](mailto:willametb@gmail.com) (Brasil)

## O PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE RECURSOS E SELEÇÃO DE MÚLTIPLOS PROJETOS DE TI

### RESUMO

As organizações que possuem projetos ocorrendo simultaneamente se deparam com a tarefa de selecioná-los segundo algum critério, bem como, a necessidade de alocação de recursos certos aos projetos certos nos tempos certos. O problema de Planejamento de Múltiplos Projetos com Restrições de Recurso (PPMPC) pertence à classe NP-Completo. Nele pretende-se criar cronogramas com restrições de recursos. Este problema continua desafiador, mesmo tendo origem na década de 1960, devido essencialmente a sua natureza combinatória. O objetivo deste trabalho é avaliar a utilização de técnicas exatas de otimização, no intuito de obter a alocação ótima de recursos às atividades de múltiplos projetos de TI que usam metodologias ágeis (Scrum), considerando restrição de recursos (analistas e programadores), visando à construção de cronogramas de múltiplos projetos integrados. Trata-se de uma necessidade premente relacionada aos processos de gestão de projetos devido à grande dificuldade e o longo tempo necessário na atribuição de recursos a tarefas e projetos simultâneos. Utiliza-se neste trabalho uma nova abordagem no sentido de se encontrar a atribuição ótima de projetos considerando as suas prioridades relativas, e a avaliação poder ser realizada para um horizonte de planejamento ou enquanto estão em andamento. Mostramos que nosso modelo promove uma adequada avaliação de atribuição ótima de recursos de TI num contexto real de gestão de projetos para instâncias com até 9 projetos.

**Palavras-chave:** RCPSP, Múltiplos Projetos de TI; Técnicas Exatas de Otimização.

## THE PROBLEM OF RESOURCE ALLOCATION AND SELECTION OF MULTIPLE PROJECTS IT

### ABSTRACT

The organizations that have projects occurring simultaneously are faced with the task of selecting the projects according to some criterion, and the need to allocate resources to certain projects in certain times. The problem RCPSP (Resource-Constrained Project Scheduling Problem) belongs to the class of NP-Complete problems, considers perform optimal schedules with resource constraints. This issue remains a challenge, even though the origin in 1960's decade, mainly due to its combinatorial nature. The objective of this study is to evaluate the use of exact optimization techniques in order to obtain an optimal allocation of resources to the activities of multiple IT projects that use agile methodologies (Scrum), considering resource constraints (analysts and programmers), aimed to build schedules between integrated multi-projects. This is a necessity of project management process once the difficulties and time consuming task related in the preparation of the resource assignment in reasonable time. This work shows a new approach that work towards the priorities of projects and the aspects of their progress to be implemented during a certain time horizon. We show that the model can be used in reasonable time to prepare real projects limited to 9.

**Keywords:** RCPSP; Multiple IT Projects; Exact Optimization Techniques.

## 1 INTRODUÇÃO

Toda organização funciona sobre um conjunto de hipóteses sobre o seu negócio, quais são seus objetivos, como produzir valor aos clientes, quem são seus clientes e como entregar esse valor para tais clientes, da melhor forma possível, (DRUKER, 2012). Percebe-se que o gestor tem que buscar respostas para tais questões estratégicas do seu negócio de modo a agregar valor para todas as partes interessadas.

Verifica-se que o gestor deve prover bases para que a organização alcance a visão traçada e ao mesmo tempo garanta a sustentação da situação atual quanto ao atendimento imediato das expectativas de seus clientes e partes interessadas. Para tal, planejar é essencial ao desenvolvimento e manutenção dos negócios organizacionais.

Para tanto, metas e objetivos estratégicos são traçados ao longo do planejamento estratégico, indicadores para medição de desempenho são desenhados e responsabilidades são atribuídas. Com isso é possível a criação de projetos associados aos objetivos estratégicos. De modo que esse conjunto de projetos estratégicos passe a contribuir para o alcance das metas estratégicas traçadas no plano.

Cria-se então um portfólio de projetos com diversos objetivos próprios, atrelados aos objetivos de maior nível, os quais são ofertados por diversas áreas da organização no intuito de satisfazer a necessidade empresarial. No entanto, existe a limitação de recursos sendo necessário selecionar quais deverão ser executados, bem como decidir qual será a ordem de execução destes, após seleção.

Solucionada a problemática da seleção e priorização dos projetos para composição do portfólio, busca-se satisfazer as exigências de tempo e recursos para serem realizadas, visando satisfazer os objetivos dos projetos. Com isso torna-se necessário fazer um planejamento e uma programação adequada, bem como o controle pertinente durante a execução das atividades do projeto.

Contudo, a programação da execução de um projeto é uma tarefa bastante difícil, devido, principalmente, à grande variação na composição e disponibilidade dos recursos envolvidos. Com isso, o problema pode residir na organização e planejamento das tarefas de um projeto com restrições de recursos, buscando a obtenção do menor tempo possível de execução das tarefas, considerando que cada tarefa possui uma duração estabelecida, na qual devem ser respeitadas as restrições de recursos – limitados – que cada tarefa necessita para sua realização.

Pesquisa realizada pelo *Standish Group* (STANDISH GROUP, 2010), constatou-se que, dos 175 projetos analisados, apenas 16,2% tiveram sucesso, ou seja, foram concluídos no prazo, no orçamento e com todos os requisitos especificados. Verifica-se que 52,7% foram concluídos com atrasos, além do orçamento ou com menos requisitos implementados. E 31,1% foram cancelados ao longo de sua execução.

Segundo (ARCHIBALD, 2010), em pesquisa sobre a maturidade em gestão de projetos em 345 organizações, observou-se que 71% dos projetos pesquisados estouram o orçamento em acima de 10% de seu valor projetado. E na média, esses projetos também excederam o prazo em 25% do tempo previsto.

Percebe-se, pois, a importância da alocação de recursos em projetos, contudo tal atividade, que possui diversas variáveis a serem consideradas, tais como: prazos, custos, interdependências entre tarefas, planejamentos multiprojetos, replanejamentos, estimações e incertezas, são necessárias e complexas.

O guia PMBOK sugere ferramentas e técnicas para suporte às atividades de gerenciamento de projetos. Softwares de planejamento de projeto, tais como MS Project (Microsoft Corporation, 2010) e Open Project (Serena Software, 2011) são utilizados nesse aspecto. Contudo, essas ferramentas apresentam limitações em relação ao gerenciamento otimizado (SCHWABER, 2002; CHANG et al., 2008), principalmente no que se refere à administração de recursos humanos (PLEKHANOVA, 1998).

Muito embora existam ferramentas, técnicas e guias de boas práticas relacionadas ao assunto, o papel do gerente de projetos, para obtenção de uma solução de qualidade que esteja de acordo com os objetivos da sua organização, faz-se necessário. Para isso, tal solução geralmente é obtida a partir de heurísticas baseadas em sua experiência e conhecimento.

Sem o ferramental matemático preciso, a gestão de projetos quando feita dessa pode comprometer de tal sorte o orçamento dos projetos, que os torna inviáveis de serem operados em conjunto, pela dificuldade inerente à composição e alocação dos recursos. A abordagem baseada no conhecimento possui diversas desvantagens, isso pelo fato do desenvolvimento se tornar dependente de indivíduos e não do processo.

Objetivando superar tais questões, este artigo aborda o problema de planejamento de alocação de recursos em múltiplos projetos e seleção destes projetos utilizando técnicas de otimização combinatória através de modelagem matemática integrando as ferramentas EXCEL<sup>®</sup> e o LINGO<sup>®</sup>, com o objetivo de contornar as limitações atuais por meio de uma abordagem automatizada, e facilitar a gestão de recursos em múltiplos projetos de TI.

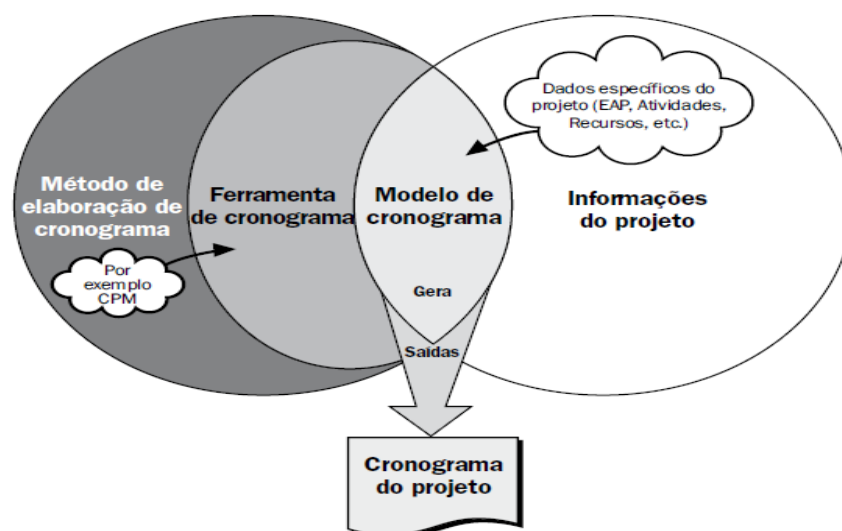
A seguir, este trabalho está organizado do seguinte modo: na seção 1 indica-se sobre o processo de programação de múltiplos projetos, e o que se tem feito nesta direção, na seção 2 indicamos a metodologia de resolução de nosso problema através de modelagem e um exemplo de situação, e na seção 3 apresenta-se detalhadamente como o modelo resolve uma instância específica, assim como se analisa e comenta a solução obtida.

## 1.1 REFERENCIAL TEÓRICO

Em 2004, no Encontro Anual do *PMI College of Scheduling* (PMICoS), alguns problemas relacionados com planejamento foram abordados e, em seguida, trinta falhas em cronogramas de projetos foram listadas e enviadas a gerentes de projetos e planejadores, que começaram a classificá-las em ordem de importância. Dentre as dez primeiras causas apontadas pela pesquisa como responsáveis pela maior parte das deficiências em cronogramas, a falta de consideração dos recursos em seus planejamentos foi a primeira entre elas (GLENWRIGHT, 2007).

Programação de projetos é a aplicação de habilidades, técnicas e intuição adquiridas através do conhecimento e experiência para desenvolver modelos de programação eficaz. O modelo de programação integra e organiza logicamente componentes diversos do projeto, tais como atividades, recursos e relações lógicas, para aumentar a probabilidade da conclusão do projeto de sucesso dentro do período determinado. A figura 1 apresenta um resumo de modelagem de cronograma.

**Figura 1 -** Resumo do desenvolvimento do cronograma.



Fonte: PMI (2008).

Dentro destes métodos, existem várias técnicas, tais como as ondas sucessivas, PERT, Simulação de Monte Carlo, e metodologia ágil. O primeiro passo para criação da programação é a seleção de um método e técnica apropriados. Algumas organizações padronizam-se em uma ferramenta de software específico. Neste caso, a decisão do método de agendamento já foi realizada, pois é inerente à ferramenta, e não precisa ser feita novamente. Pois, o método mais utilizado pelo *Practice Standard for Scheduling* do PMI (2011) é o CPM.

Contudo, problemas podem existir na programação dos projetos que pode envolver um único projeto (*single-project scheduling*) ou vários projetos simultaneamente (*multi-project scheduling*). Sobre o caso de múltiplos projetos, menos comum, tem-se, entre outros, os trabalhos de (KURTULUS & NARULA, 1982, 1985) e (MOHANTLY & SIDDIQ, 1989).

No entanto, há uma delimitação desse problema que, conforme (ICHIRARA, 2002, p.1), o Problema da Programação de Projetos com Limitação de Recursos (RCPSP - *Resource-Constrained Project Scheduling Problem*) que fora introduzido por (KELLEY, 1963) e (WEIST, 1965, 1968), tendem a ter uma importância nos trabalhos desenvolvidos, uma vez que na realidade organizacional os recursos são escassos.

As pesquisas sobre este tipo de problema podem ser classificadas de acordo com dois critérios: a função objetivo e as categorias de recursos (ULUSOY e OZDAMAR, 1994). No que tange à função objetivo, os objetivos mais popularizados são a minimização da duração do projeto (objetivo baseado no tempo) e a maximização do valor presente do projeto. (DOERSCH & PATTERSON, 1977).

Ao longo dos anos diversas soluções ao problema de alocação foram trabalhadas, porém, este não é um problema trivial de ser resolvido. Como fora exposto por (BLAZEWICZ et al. 1983) o problema RCPSP é uma generalização do problema clássico do JSP (*Job Shop Problem*) que pertence à classe de problemas do tipo NP-completo. Tendo-se, NP (Nondeterministic polynomial-time) – Completo: Conjunto de todos os problemas que podem ser resolvidos por um computador não determinístico em tempo polinomial, Lopez (1995). Além disto, sendo **P** um problema da classe NP-Completo e outro **P'** da mesma classe, é possível transformar (ou reduzir) **P** em **P'** em tempo polinomial. Portanto, o RCPSP também é NP-Completo. Por conseguinte, os procedimentos para solucioná-lo podem ser extraídos da Otimização Combinatória através de técnicas apropriadas.

A Otimização Combinatória é uma área da matemática computacional utiliza grupos de procedimentos para resolver problemas de natureza combinatorial. O primeiro grupo, denominado de procedimentos heurísticos, procura produzir soluções de boa qualidade para problemas difíceis

(da classe NP); e o segundo grupo consiste nos procedimentos que procuram produzir a melhor solução ou solução ótima do problema em análise. Estes são classificados como procedimentos ótimos, também conhecidos como exatos ou analíticos, pois, geralmente, envolvem alguma forma de programação matemática com busca enumerativa implícita de soluções ou outro procedimento analítico mais rigoroso.

Dentre os métodos exatos, a técnica de *branch and bound* é a mais utilizada para a resolução de problemas de sequenciamento de projetos com limitação de recursos, (MENDES, 2003).

Outras soluções foram trabalhadas como: algoritmos baseados em árvores de precedência, estes foram propostos por (PATTERSON et al. 1989, apud LEAL, 2007) e melhorados, posteriormente, por (SPRECHER 1994, apud LEAL, 2007), e (SPRECHER & DREXL, 1996).

Verifica-se que as soluções heurísticas, para o RCPSP, dividem-se ainda em seis tipos (STORER, WU & VACCARI, 1992); (KOLISCH, 1996):

1. Programação baseada em regras de priorização de único e múltiplos passos.
2. Procedimentos *branch and bound* truncados, (ALVAREZ-VALDEZ & TAMARIT, 1989).
3. Heurísticas baseadas em programação inteira, (OGUZ & BALAS, 1994).
4. Conceitos de arco disjuntivo, (SHAFFER et al., 1965); (BELL & HAN, 1991).
5. Técnicas de busca local, (SAMPSON e WEISS, 1993); (LEON & BALAKRISHNAN, 1995), (CHO & KIM, 1997).
6. Algoritmos Evolutivos, (LOPEZ, 1995).

Considera-se aqui uma *abordagem independente*, ou seja: uma abordagem onde cada projeto é tratado independentemente no escopo global de completude, as atividades não podem ser reajustadas no tempo (não se revisa o caminho crítico), e os recursos devem ser alocados no sentido de atender a todas as necessidades das tarefas a serem executadas de cada projeto. Os projetos são selecionados para serem executados dentro de uma janela de tempo (horizonte de planejamento) específica.



Escolheu-se fazer esta nova abordagem, pois: (1) é mais realista; (2) este contexto não tem sido estudado pela literatura; (3) apresenta uma maior oportunidade de melhoria, (HERROELEN, 2005) e, essencialmente; (4) a orientação da literatura disponível para tomada de decisão aos gestores sobre múltiplos projetos, até então, é inconclusiva, (BROWNING & YASSINE, 2010).

## 2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa está orientada ao desenvolvimento de um modelo matemático para o O problema de Planejamento de Múltiplos Projetos com Restrições de Recurso (PPMPRC), onde avaliamos o resultado da aplicação do modelo sobre situações reais de projetos simultâneos operacionalizados por uma operadora de planos de saúde.

Como pressupostos da pesquisa, consideramos os seguintes:

1. Um modelo matemático representa e resolve de forma eficiente o PPMPRC;
2. Os limites do modelo matemático (número de projetos, recursos e tarefas) é razoável para atender às necessidades de gestão da operadora de planos de saúde;
3. O tempo de resolução do modelo pelos ambientes de resolução a serem empregados, é bastante superior e garante agilidade no processo de gestão de recursos em múltiplos projetos em comparação ao tempo que leva um gestor para equacionar a mesma alocação com base em seus conhecimentos e heurísticas.

A forma heurística com que os gestores usam para realizar a alocação dos recursos de TI é bastante característica do processo de gestão de projetos. Organizar recursos em múltiplos projetos requer dezenas de horas de um gestor para concluir o processo, e mesmo assim ao final, nada se pode dizer sobre a qualidade da solução projetada para execução. Justifica-se então o uso de formulação matemática e resolvedores (software de programação matemática) que consigam tratar esta formulação, e que possam dar uma ideia clara e rápida sobre os resultados da alocação, permitindo-se ainda posterior alteração nos dados e resultados obtidos.

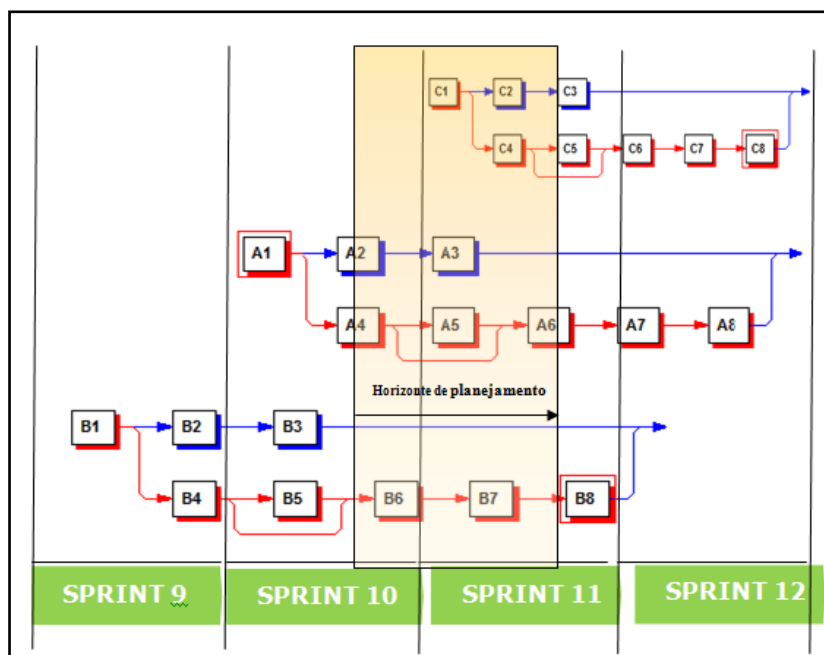
Considera-se que os projetos estejam selecionados para execução e os dados como: lucro e prioridade de cada projeto sejam fornecidos como entrada para que uma ferramenta possa usá-los



em suas restrições. A figura 2 apresenta um exemplo de conjunto com três projetos que necessitam de alocação de recursos humanos para sua devida realização.

Contudo, a alocação dos recursos dar-se-á segundo um horizonte de tempo determinado, devido a sua natureza de escassez de recursos. Na figura 2 verifica-se que os projetos ocorrem em janelas de tempo, horizonte de planejamento, cada horizonte deve receber uma quantidade de recursos para realização das tarefas necessárias a sua conclusão.

**Figura 2** - Diagrama de rede integrado de 3 projetos de um portfólio.



No intuito de receber a atribuição dos recursos às atividades, a matriz representada pela tabela 1 foi construída. Devendo ser preenchida pela resposta do modelo de otimização, desenvolvido na pesquisa, colocando 1 para projeto atribuído e 0 para projeto não atribuído, como mostra a tabela 2.

**Tabela 1 - Matriz de atribuição de recursos**

	MATRIZ DE ATRIBUICAO				
	REQ1	DES1	DES2	DES3	REQ2
A1					
A2					
A3					
A4					
A5					

**Tabela 2 - Matriz de atribuição de recursos preenchida**

	MATRIZ DE ATRIBUICAO				
	REQ1	DES1	DES2	DES3	REQ2
A1	0	1	0	0	0
A2	1	0	0	0	0
A3	0	0	1	0	0
A4	0	0	0	1	0
A5	0	0	0	0	1

Conforme a tabela 2, as atribuições do REQ1 a A2, DES1 a A1, DES2 a A3, DES3 a A4 e REQ2 a A5. Todas as atribuições seguirão as restrições impostas pelo problema estudado.

## 2.1 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO PROBLEMA

Considerando o exposto, uma formulação matemática para o problema foi desenvolvida do seguinte modo:

Seja,

**Tarefas:**  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$  é o conjunto de tarefas a serem executadas. Cada tarefa tem o atributo: duração estimada;

**Recursos:**  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$  são os recursos disponíveis para executar as tarefas:

- $TR_r$  – Tempo contratado para o recurso  $r$ ;
- $CREC_r$  – Custo de usar o recurso  $r$ ;
- $OciosO_r$  – Custo pelo recurso  $r$  estar sem alocação (ocioso).

**Projetos:**  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_o\}$  são os projetos em curso com suas datas de termino e as prioridades definidas.

**Instantes:**  $I = \{i_1, i_2, \dots, i_q\}$  são os instantes do horizonte de planejamento dos projetos, os instantes podem ser horas, dias ou meses, de acordo com a maneira em que os projetos ocorrem.

### Composição de conjuntos

**Tarefas × Instantes -  $T_I$**  – Instante onde a tarefa se verifica;

**Projetos × Tarefas × Instantes -  $P_T_I$**  – Relação das tarefas de cada projeto no determinado instante programado;

**Projetos × Tarefas -  $P_T$**  – Relação das tarefas de cada projeto;

### Parâmetros

$TD_p$  – Tempo de duração do projeto  $P$  dentro do horizonte de planejamento;

$PRIO_p$  – Prioridade do projeto  $P$ ;

$LUCRO_p$  – Lucro do projeto  $P$ ;

### Variáveis

$w_p$  – Seleção de projeto ativo.

$y_{p,t,r}^i$  – Se o recurso  $r$  está alocado a uma tarefa  $t$  do projeto  $p$  no instante  $i$ ;

O modelo matemático proposto para o problema pode ser expresso do seguinte modo:

$$\text{Maximizar } \sum_{p \in P} \text{lucro}_p * \text{prio}_p * w_p - \sum_{r \in R} \text{ocioso}_r * \text{crec}_r$$

Sujeito a:

1. Pelo menos um projeto  $p$  estará ativo

$$\sum_{p \in P} w_p \geq 1, \quad \forall p \in P$$

2. A alocação de um recurso  $r$  no horizonte de planejamento não deverá ultrapassar a sua disponibilidade neste horizonte;

$$\sum_{p \in P} \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} y_{p,t,r}^i + \text{ocioso}_r \leq TR_r, \quad \forall r \in R$$

3. Cada recurso  $r$  deve estar executando uma única tarefa no instante  $i$ ;

$$\sum_{p \in P} \sum_{t \in T} y_{p,t,r}^i = 1, \quad \forall r \in R, \quad \forall i \in I$$

4. Cada tarefa de projeto selecionado deverá possuir pelo menos um recurso alocado a tal;

$$\sum_{t \in T} \sum_{r \in R} y_{p,t,r}^i \geq W_p, \quad \forall p \in P, \forall i \in I$$

5. Todo projeto  $p$  da tarefa  $t$  com o recurso  $r$  poderá ou não estar ativo no instante  $i$

$$y_{p,t,r}^i \in \{0,1\}, 0 \leq w_p \leq 1, \quad \forall p \in P, \forall t \in T, \forall r \in R, \forall i \in I$$

No modelo acima, permite-se que os recursos sejam alocados a projetos que não serão selecionados, com o objetivo de utilizá-los mais plenamente. Este artifício foi incluído de modo a garantir a resolução de instâncias de grande porte, como será visto a seguir.

## 2.2 EXEMPLO DE INSTÂNCIA PRELIMINAR

Uma instância (cenário) com três projetos e cento e dez tarefas pode ser ilustrada aqui. A tabela 3 apresenta o que fora processado pelo modelo nesta instância, ou seja: a quantidade de instantes, a quantidade de variáveis e o número de restrições que este cenário possui.

**Tabela 3** - Configuração dos projetos cenário01.

PROJETO	TAREFAS	INSTANTES	VARIÁVEIS	RESTRICÇÕES
3	110	20	1000	202

A tabela 4 mostra a configuração dos projetos deste cenário.

**Tabela 4** - Detalhamento dos projetos cenário 01.

PROJETO	TD	PRIO
P1	20	1
P2	20	3
P3	20	2

A tabela 5 mostra a configuração com o custo de cada recurso disponível aos projetos, da instância, bem como a sua disponibilidade.

**Tabela 5** - Detalhamento dos projetos do cenário 01.

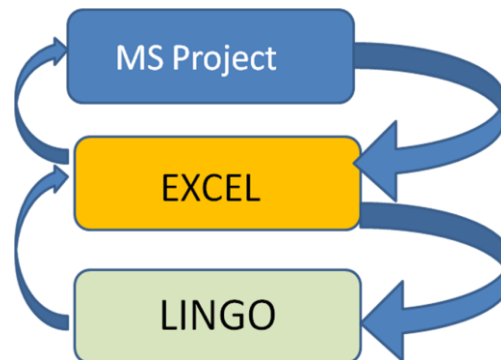
RECURSO	CREC	TR
REG	5000	20
ANA	8000	20
JOA	8000	20
PAU	10000	20

Esta instância apresenta então três projetos e cento e dez tarefas a serem realizadas, com cada projeto tendo uma duração de vinte instantes, quatro recursos que podem assumir qualquer tarefa dos projetos, dispostos para este estudo, em que cada recurso possui um tempo disponível aos projetos de vinte instantes. Contudo, percebem-se que se têm cento e dez tarefas a serem realizadas e apenas quatro recursos, com o tempo disponível total de oitenta instantes, para resolução destas.

A instância foi preparada na planilha Excel<sup>®</sup> e integrada ao LINGO<sup>®</sup>, onde ao se dispor dos dados, a planilha executa uma macro que chama o modelo matemático aqui apresentado sobre os dados da planilha, o resolve em segundos e devolve o resultado diretamente na planilha, de modo que seja possível a visualização da atribuição gerada.

A figura 3 mostra a relação de coordenação entre os 3 softwares na resolução do modelo. Ou seja, o projeto com os dados específicos no formato das planilhas indicadas nas tabelas de 1 a 5 são passados do MS PROJECT para a planilha EXCEL, da planilha EXCEL se finaliza os dados e se dispara uma macro que chama o modelo já com os dados e se processa a resolução do mesmo no LINGO, e ao ser concluída a resolução (transparente ao usuário) do modelo, o LINGO preenche de volta a planilha com os resultados de alocação, e da planilha se alimenta de volta o projeto no MS PROJECT.

**Figura 3** - Diagrama de integração de softwares para resolução do modelo de escala proposto.



Após a execução do processo indicado acima, vê-se que não é possível a realização de todas as tarefas, utilizando apenas os recursos disponíveis aos projetos indicados, sendo necessária a seleção de alguns projetos a serem executados, bem como a alocação dos recursos às tarefas.

Ao ser executado o modelo, a resposta da ferramenta integrada EXCEL e LINGO leva menos de um segundo para responder e indica a solução dos projetos selecionados para execução. Neste caso, foram selecionados dois projetos:

<b>ALOC_PROJ( P1)</b>	<b>0.000000</b>	<b>0.000000</b>
<b>ALOC_PROJ( P2)</b>	<b>1.000000</b>	<b>0.000000</b>
<b>ALOC_PROJ( P3)</b>	<b>1.000000</b>	<b>0.000000</b>

Os projetos P2 e P3 foram selecionados para execução. Se verificada a configuração dos projetos, estes são os de maior prioridade. O projeto P1, com cinquenta atividades, não foi selecionado para execução. Os projetos P1 e P2, juntos, possuem sessenta tarefas a serem executadas. Com isso, vinte instantes de tempo disponíveis, saldo dos oitenta disponíveis. O modelo alocou esse saldo em algumas atividades do projeto P1, no intuito de atender a restrição imposta ao modelo de redução de ociosidade do recurso.

A tabela 6 apresenta o resultado da alocação ótima sugerida pela ferramenta ao projeto P2, e a figura 4 mostra a representação da tabela 6 em forma de cronograma do projeto P2 com as quantidades de recursos, utilizadas pelo modelo para a programação do projeto. Percebe-se que não houve sobrealocação, situação em se alocar mais de um recurso para a mesma tarefa, de recursos no projeto, apesar de isto não ser um impedimento imposto ao modelo. Utilizaram-se quarenta

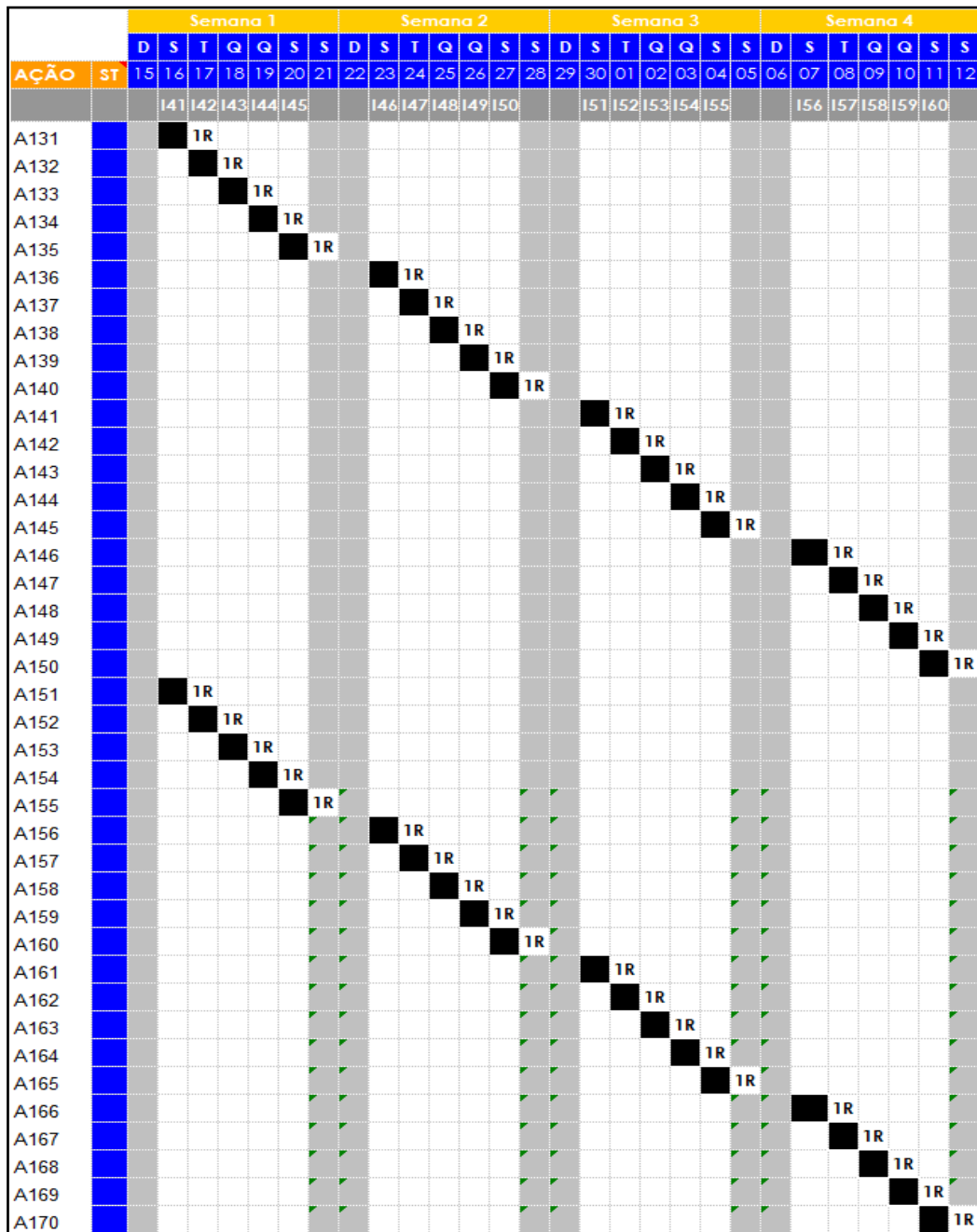


instantes de recursos em quarenta instantes de tarefas requeridas.

**Tabela 6 - Resposta do modelo para projeto P2**

			REC01	REC02	REC03	REC04
P2	A131	I41	0	1	0	0
P2	A132	I42	0	1	0	0
P2	A133	I43	0	0	1	0
P2	A134	I44	0	1	0	0
P2	A135	I45	0	0	1	0
P2	A136	I46	0	0	0	1
P2	A137	I47	0	1	0	0
P2	A138	I48	0	1	0	0
P2	A139	I49	0	0	1	0
P2	A140	I50	0	0	0	1
P2	A141	I51	1	0	0	0
P2	A142	I52	0	0	0	1
P2	A143	I53	0	0	0	1
P2	A144	I54	0	0	0	1
P2	A145	I55	0	0	0	1
P2	A146	I56	0	0	1	0
P2	A147	I57	0	0	0	1
P2	A148	I58	0	0	0	1
P2	A149	I59	0	1	0	0
P2	A150	I60	0	0	0	1
P2	A151	I41	0	0	0	1
P2	A152	I42	0	0	0	1
P2	A153	I43	0	0	0	1
P2	A154	I44	0	0	0	1
P2	A155	I45	0	0	0	1
P2	A156	I46	0	1	0	0
P2	A157	I47	0	0	0	1
P2	A158	I48	0	0	0	1
P2	A159	I49	0	0	0	1
P2	A160	I50	1	0	0	0
P2	A161	I51	0	0	0	1
P2	A162	I52	0	1	0	0
P2	A163	I53	0	0	1	0
P2	A164	I54	0	1	0	0
P2	A165	I55	1	0	0	0
P2	A166	I56	0	0	0	1
P2	A167	I57	0	1	0	0
P2	A168	I58	1	0	0	0
P2	A169	I59	0	0	0	1
P2	A170	I60	1	0	0	0

Figura 4 - Cronograma do projeto P2.



### 3 RESULTADOS COMPUTACIONAIS

Para verificar a pertinência do modelo proposto, dez projetos reais de TI de uma operadora de seguro de saúde foram selecionados e executados no modelo de forma evolutiva a fim de alcançar os objetivos traçados. A tabela 7 apresenta as características básicas dos 8 cenários configurados.

Como fora apresentado na seção anterior, três projetos foram selecionados e executados usando o modelo. Após o resultado satisfatório, outros cenários foram configurados até encontrar o limite de execução do *solver* para este modelo.

**Tabela 7** - Características das instâncias selecionadas.

Cenário	PROJETO	TAREFAS	HORIZONTE	RECURSOS
01	3	110	20	4
02	4	130	20	4
03	5	186	20	8
04	6	206	20	8
05	7	228	20	8
06	8	305	20	16
07	9	347	20	21
08	10	401	20	21

As instâncias do modelo foram executadas em um PC – Intel Core i3(quatro núcleos de 3.27Ghz) com 4GB de RAM e 500GB de HDD, usando a versão 13 do LINGO<sup>®</sup>, cedido gentilmente pela **LINGO Systems** para esta pesquisa. O software EXCEL<sup>®</sup> foi utilizado para abrigar os dados do modelo, e executar automaticamente a chamada do LINGO<sup>®</sup> para preencher as tabelas de decisão que a seguir são usadas para mostrar os resultados de alocação dos múltiplos projetos.

O estudo considerou então a visualização das possibilidades de solução do problema em foco para um grupo de cinco instâncias das mais variadas quantidades de recursos e processos, tabela 8. Os 8 cenários estudados mostraram um enorme potencial de solução das instâncias reais no *solver* LINGO<sup>®</sup>, indicando para situações práticas o *solver* pode ajudar e muito aos gestores de TI na melhor alocação de recursos humanos a projetos.

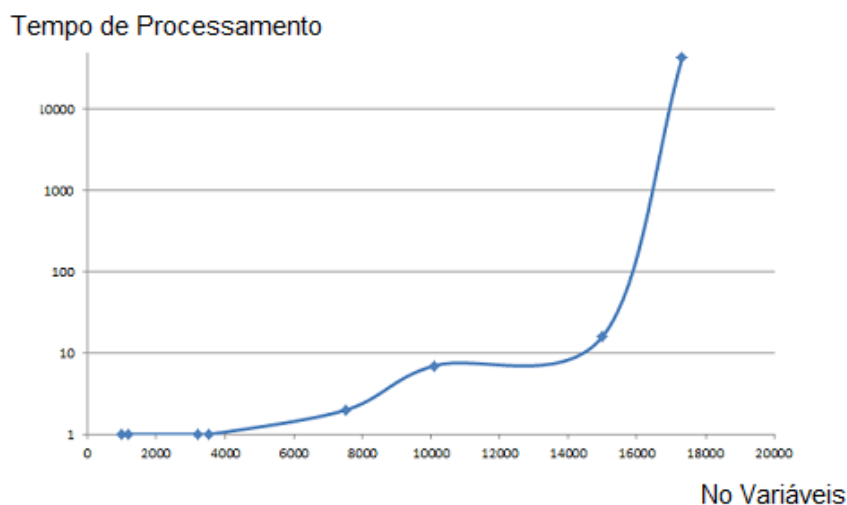
**Tabela 8** - Características das instâncias resolvidas.

CENÁRIO	PROJETOS	TAREFAS	INSTANTES	VARIÁVEIS	RESTRICÇÕES
01	3	110	20	1000	202
02	4	130	20	1181	223
03	5	186	20	3194	366
04	6	206	20	3535	387
05	7	228	20	7516	576
06	8	305	20	10092	654
07	9	347	20	14996	804
08	10	401	20	17319	859

Para entender melhor o comportamento do modelo de estudo, decidiu-se realizar mais um experimento, que configurou o quinto cenário, possível, com nove projetos e 347 tarefas. Essa nova instância de testes resultou em uma redução de variáveis em relação ao quarto cenário em 23%, mas um aumento em relação ao primeiro cenário de 1500%. Tendo o modelo alcançado a solução ótima em dezesseis segundos.

A figura 5 mostra que o tempo de execução do método exato *Branch & Bound* implementado no software LINGO<sup>®</sup> atingiu um limite de planejamento inaceitável para a instância correspondente ao cenário 07, que teve a inclusão de pouco mais de 53 tarefas em relação ao cenário 08. Além disso, percebe-se que com 10 projetos temos um aumento exponencial em relação a 9 projetos no procedimento de alocação e seleção de projetos.

**Figura 5** - Curva de aumento do número de variáveis × tempo de processamento.



Uma das limitações do modelo reside no fato de que os recursos disponíveis aos projetos deverão estar totalmente disponíveis a todos os instantes da instância do projeto. O que pode não ocorrer em situações reais, tendo-se equipes com recursos disponíveis totalmente e parcialmente. No entanto o fato do modelo alocar mais de um recurso a uma atividade indica que o modelo permite ser possível ao gerente remanejar recursos diante das ausências ou dificuldades emergenciais de operação, quando for possível, sendo pois preferível ao gestor esta flexibilidade.

Ao utilizarmos o modelo matemático proposto e uma técnica matemática exata (Branch-&-Bound) para resolvê-lo com o solver LINGO, foi possível realizar o planejamento de um portfólio de projetos com 9 projetos e mais de 300 atividades em 16 segundos e apenas um microcomputador. Solução bem mais viável de considerar pois, no planejamento atual da empresa dedica-se 8 horas de planejamento de um gerente de projetos para cada projeto. Ou seja, para os 9 projetos seriam gastos 72 horas de planejamento, sem considerar que ainda há a necessidade dos gerentes se organizarem para desfazer a alocação comum de recursos entre eles, multiplicando-se ainda mais este tempo.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo mostra que diversos trabalhos foram realizados para solucionar o problema de alocação de recursos, contudo uma abordagem que trabalhe aspectos de consideração do custo do recurso, o custo de sua ociosidade, o lucro do projeto, bem como sua prioridade dentro da organização para sua devida ativação ou não pelo modelo, é algo ainda não pesquisado pela literatura.

O modelo aloca totalmente todos os recursos disponíveis, a fim de eliminar o custo da ociosidade, porém estes são atribuídos a tarefas em projetos que não foram selecionados para execução. Isto não atrapalha o planejamento pois pode-se descartar esta alocação sem qualquer prejuízo para a resposta obtida a priori.

Para todos os portfólios, programas e projetos em que suas configurações sejam similares ao estudado na pesquisa, ou seja, possuam atividades definidas e sequenciadas, com os tempos de duração estimados, recursos multidisciplinares que sejam capazes de realizar qualquer tarefa, e um horizonte de planejamento determinado, este modelo é aplicável.

Porém existem limitações para o trabalho como, por exemplo, a necessidade de que recurso esteja totalmente disponível no horizonte de planejamento para que possa ser utilizado dentro do planejamento. Outra consideração é que o recurso deverá ser multidisciplinar na realização de qualquer atividade disposta a ser trabalhada durante a interação do projeto. Situação comum em projetos de desenvolvimento ágil de software.

Ressalta-se que o resultado da alocação poderá servir de subsídio para que os gestores de projetos possam tomar decisões baseadas nos resultados entregues pela ferramenta. Isso se torna interessante, pois, à medida que se amplia o número de projetos, recursos e possibilidades de execuções e alocações se multiplicam de maneira exponencial. Isso traz dificuldades na tomada de decisão, aspecto em que o modelo desenvolvido atua na facilitação destas decisões.

## REFERÊNCIAS

- Alvarez-Valdes, R., E Tamarit, J. M., Heuristic Algorithms for Resource -Constrained Project Scheduling: a Review and na Empirical Analisis, in: R. Slowinski and J. Weglarz Ed., *Advances in Project Scheduling*, Elsevier, Amstrdam, p. 113-134: 1989.
- Archibald. Pesquisa sobre maturidade em gerenciamento de projetos. 2010.
- Bell, C. E., Han, J. A New Heuristic Solution Method in Resouce-Constrained Project Scheduling. *Naval Res. Logist.* No. 38. P 315-331: 1991.
- Blazewicz, J., Lenstra, J. K., Rinnooy Kan, A. H. G. Scheduling Subject to Resource Constraints: Classification and Complexity, *Discrete Applied Mathematics*, 5, pág. 11-24: 1983.
- Browning, Tr, Yassine, Aa, Resource-constrained multi-project scheduling: Priority rule performance revisited, *International Journal of Production Economics*, vol 126(10), 212-228:2010.
- Chang, C. K.; Jiang, H.-Y.; Di, Y.; Zhu, D. E Ge, Y. (2008). Time-line based model for software project scheduling with genetic algorithms. *Information and Software Technology*, 50(11):1142–1154.
- Doersch, E. H., Patterson, J. H. Scheduling a Project to Maximize its Present Value: a Zero-One Programming Approach. *Management Science*, 23 (8), 882-889: 1977.

Glenwright, Earl. PMICoS 2007 – ANNUAL CONFERENCE, 2007: a survey of the 30 most serious flaws in scheduling. PMI College of Scheduling, 2007.

Herroelen, W.S. Project scheduling—theory and practice. *Production and Operations Management* 14(4), 413–432 : (2005).

Ichihara, Jorge de Araújo. O problema de programação de projetos com Restrição de recursos (resource-constrained Project scheduling problem). XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção Curitiba – PR, 23 a 25 de outubro de 2002. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002\\_TR14\\_0869.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002_TR14_0869.pdf)>. Acesso em: 17.outubro.2012.

Leal, A. J. S., 2007, Algoritmos de Investigação Operacional para um problema de sequenciamento de projectos. Dissertação (Mestrado), Mestrado em Engenharia, Universidade do Minho, Portugal, 123 p.

Kelley, J. E., The Critical Method: Resources Planning and Scheduling. In Muth and G.L. Thompsom, *Industrial Scheduling*, Prentice-Hall, pág. 347-365. New Jersey: 1963.

Kolisch, R., Serial and Parallel Resource-Constrained Project Scheduling Methods Revisited: Theory and Computation. *European Journal of Operational Research*. N. 90, p. 320-333: 1996.

Kurtulus, I.S., Narula, S.C., 1985. Multi-project scheduling: analysis of project performance. *IIE Transactions* 17 (1), 58–65.

Leon, V. J., Balakrishnan, R. Strength and Adaptability of Problem-Space Based Neighborhoods for Resource Constrained Scheduling, *OR Spektrum*, 17, pág. 173-182: 1995.

Lopez Vaca, O. C. Um Algoritmo Evolutivo para a Programação de Projetos Multi-Modos com Nivelamento de Recursos Limitados. Tese de Doutorado. UFSC. Florianópolis: 1995.

Mendes, J. J. M. Sistema de Apoio a Decisão para o Planeamento de Sistemasde Produção Tipo Projecto. Tese de Doutorado - Universidade do Porto, 2003.

Mohanty, R P And Siddiq, M K Multiple projects-multiple resources-constrained scheduling: some studies. *International Journal of Production Research*, 27(2), p. 261–80, 1989.

Oguz, O., Bala, H. A Comparative Study of Computational Procedures for the Resource Constrained Project Scheduling Problem. *European Journal of Operational Research*. N. 72. P. 406-416: 1994.

Plekhanova, V. Capability and Compatibility Measurement in Software Process Improvement. 1998. *Proceedings of the 2nd European Software Measurement Conference*



– FESMA'98. Amsterdam, The Netherlands, October, 1998.

Project Management Institute INC., Practice Standard for Scheduling. PMI Publications, 2011.

Sampson, S. E., Weiss, E. N. Local Search Techniques for the Generalized Resource Constrained Project Scheduling Problem. Naval Research Logistics. N. 40. P. 665-675: 1993.

Shaffer, L. R., Ritter, J. B., Meyer, W. L. The Critical Path Method. McGraw-Hill, New York: 1965.

Schwaber, K. (2002). Agile Software Development with SCRUM. Prentice Hall, 1ª edição.

Sprecher, A.; Drexl, A., 1997, Minimal Delaying Alternatives and Semi-Active Timetabling in Resource-Constrained Project Scheduling. European Journal Operation Research 107: 431-450.

Standish Group, The Chaos Report (2010)

Storer, H. R., Wu, S. W., Vaccari, R. New Search Spaces for Sequencing Problems With Application to Job Shop Scheduling. Management Science, v. 38. n. 10, p. 1495-1509: 1992.

Ulusoy, G., Ozdamar, L. Heuristic Performance and Network/Resource Characteristics in Resource-constrained Project Scheduling, Journal of the Operational Research Society, 40, pág. 1145-1152: 1989.

Weist, J.D. Heuristic programs for decision making. Harvard Business Review. Sep-oct (1965)

Weist, J.D. A heuristic model for scheduling large projects with limited resources. Management Science. Feb (1968)

---

Data do recebimento do artigo: 18/03/2013

Data do aceite de publicação: 23/05/2013

---