

ÁREA TEMÁTICA: GESTÃO DE INOVAÇÃO

AVALIAÇÃO DE UM MODELO DE OTIMIZAÇÃO PARA A RESOLUÇÃO DE JOB SHOP PROBLEM COM UTILIZAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS ESPECIALISTAS EM PROJETOS

AUTORES

DANIEL REED BERGMANN

UNINOVE – Universidade Nove de Julho
danielrb@usp.br

RENATO PENHA

UNINOVE – Universidade Nove de Julho
renato.penha@atento.com.br

CLAUDIA TEREZINHA KNISS

UNINOVE – Universidade Nove de Julho
kniesscl@gmail.com

CÉSAR AUGUSTO BIANCOLINO

UNINOVE – Universidade Nove de Julho
biancolino@gmail.com

Resumo

Um projeto pode ser definido como um sistema complexo. Esse exige o emprego de recursos (recursos humanos, materiais, tecnologia, entre outros), alocados entre fins alternativos, como meio de atingir objetivos específicos, mediante a presença de restrições de diferentes ordens. O planejamento, alocação e priorização de recursos humanos, inclusive Recursos Humanos Especialistas (RHE), é realizada por meio do gerenciamento de projetos de forma única, projeto a projeto. Este tratamento pode causar disputa interna pela utilização do mesmo recurso ou até mesmo a sua subutilização, e pode se agravar em ambientes de desenvolvimento de softwares devido ao alto grau de interdependência, incerteza e risco de cada projeto. Tal necessidade está relacionada ao chamado *Job Shop Problem* (JSP). Neste contexto, esse trabalho tem como objetivo avaliar um modelo de otimização para resolução de JSP com a utilização de RHE em projetos de desenvolvimento de software. Foram observadas algumas características do modelo de Laslo (2010) em relação à aderência e eficácia na solução de JSP. O modelo, por se tratar de ser um modelo matemático paramétrico, possui comportamento eficaz em modelos de JSP com dimensão até 10x10 (10 máquinas x 10 atividades – Jobs). Em relação aos custos, o modelo se apresenta de maneira expressiva efetuando o cálculo do custo por atividade (custo associado ao recurso e custo associado às penas contratuais da atividade) e do custo total de cada projeto. Para o escalonamento das atividades, o modelo não permite a priorização de atividades, apenas efetua o tratamento dos atrasos de cada atividade

Palavras-chave: gerenciamento de projetos, desenvolvimento de software, job shop problem - JSP

ABSTRACT

A project can be defined as a complex system. This requires the use of resources (human, material, technology, etc.), allocated among alternative uses, as a means to achieve specific goals by the presence of constraints of different orders. The Planning, allocation and prioritization of resources, including Human Resource Specialists (HRE), is performed by means of project management in a single project to project. This treatment can cause internal strife by using the same resource or even its underuse, and may worsen in software development environments due to the high degree of interdependence, uncertainty and risk of each project. This need is related to the so called Job Shop Problem (JSP). In this context, this study aims to evaluate an optimization model for solving JSP with the use of HRE in software development projects.

Keywords: project management, software development, job shop problem – JSP

1. INTRODUÇÃO

Organizações são sistemas abertos e complexos que processam os recursos como meio de atingir objetivos na presença de múltiplas restrições, internas e externas (TAVARES, 2002). Particularmente, o gerenciamento de projetos compreende os esforços destinados a conceber, preparar, organizar, dirigir e controlar certas ações orientadas a alocação de recursos mediante a presença de múltiplas restrições (TAVARES, 2002). Nesse sentido, projetos também podem ser definidos como sistemas abertos e complexos orientados a algum tipo de propósito (desenvolver um produto ou processo, atender um pedido de um cliente, responder a um choque tecnológico, entre outros). Ao absorver uma quantidade limitada de recursos, tais empreendimentos demandam o uso de técnicas gerenciais destinadas a integrar ações, objetivando garantir um equilíbrio entre as restrições primárias de escopo, prazo, custo e qualidade. Como apontado por Shenhar e Dvir (2010), as ações devem superar um conjunto mais amplo de restrições (novidade, complexidade, urgência e ritmo).

De acordo com o PMI (2008), cada uma das atividades de um projeto possui certo conjunto de atributos (relação de precedência, especificação de duração, definição de datas de início e término, estimativas de recursos, estimativa de custo, etc.). Dada a disponibilidade de recursos, tal ação sempre condicionará a definição do prazo de duração bem como o custo de cada uma das atividades e do projeto como um todo (VASCONCELOS, 2007). Desse modo, abstraindo outros aspectos, um dos fatores que relaciona umbilicalmente diferentes projetos é a dotação limitada de recursos. Assim, sempre há um *trade-off* na busca de melhor desempenho quando um ou mais projetos é priorizado em detrimento dos demais (ARTTO, MARTINSUO e AALTO, 2001). Recursos ordinários (máquinas ou recursos humanos não especializados) podem ser substituídos, (re) programados e ou (re) contratados com relativa facilidade. O grande desafio surge quando os diferentes projetos demandam ou concorrem por uma quantidade limitada de um mesmo recurso escasso ou que apresenta dificuldades em termos de substituição. Do ponto de vista desse estudo, tal recurso será denominado como recurso especialista – RE. Um RE pode ser definido como: (i) um recurso escasso (que pode ser uma máquina ou recurso humano especializado), (ii) relativamente caro ou oneroso, (iii) de difícil contratação e ou substituição, (iv) que realiza tarefas específicas de alta complexidade necessárias à execução de atividades de um ou mais projetos, (v) que, sob o ponto de vista desses, apresenta acesso limitado (sendo disputado em diferentes atividades de diferentes projetos) e que, por essa razão, (vi) demanda a fixação de critérios de acesso por parte do gerente de portfólio de projetos, os quais (vi) visam tender um dado objetivo do ponto de vista da gestão de projetos (minimização de custo, minimização de prazo, entre outros), que (viii) pode ou não ser mutuamente excludente (VASCONCELOS, 2007).

Com efeito, dada à definição de recurso especialista, o problema da Programação de Projetos com Restrição de Recursos (Resource Constraint Project Scheduling Problem – RCPSP) consiste na definição da Programação (Scheduling) das atividades de um projeto com o objetivo atingir um dado objetivo (VASCONCELOS, 2007). No entanto, tal como apontado por Laslo (2010), o RCPSP também se encontra relacionado ao gerenciamento de projetos. Não obstante, um dos principais problemas em RCPSP está associado ao *job shop problem* – JSP. Tecnicamente o JSP consiste em definir uma forma de garantir a alocação eficiente e eficaz de recursos especialistas, sujeito a diferentes restrições (momento de iniciação do projeto, tipificação das relações de precedências, etc), fundamentalmente a presença de relações de precedências arbitrárias (discretionary). Desse modo, o que caracteriza o JSP é o fato de as atividades de diferentes projetos dependerem e ou competirem entre si pelo uso de um ou mais RE, sendo necessário o estabelecimento de critérios orientados ao gerenciamento do acesso a esses. O critério estará associado à definição prévia de objetivos a serem perseguidos. Esses podem ser: minimização do custo total do projeto, minimização do prazo total do projeto (VASCONCELOS, 2007), minimização da penalidade associada a atrasos

(LASLO, 2010), maximização do valor presente do projeto – NPV, entre outros, que podem ou não ser mutuamente desprezados.

Diante desse cenário, o JSP surge em função da interdependência entre diferentes projetos e está associado à necessidade de alocar uma quantidade limitada de recursos (fundamentalmente recursos especialistas ou RE) entre esses. Dadas as suas características, o JSP é muito comum na indústria de software. Segundo Pressman (2006), o desenvolvimento de softwares é caracterizado por três elementos: (i) produção sob encomenda, (ii) foco no desenvolvimento e (iii) ênfase no ciclo de vida do produto. De acordo com Shenhar e Dvir (2010), a depender de sua complexidade, novidade, ritmo e ou urgência, o desenvolvimento de softwares pode exigir tanto o emprego de recursos humanos ordinários como também dada quantidade de recursos humanos especializados – RHE (LASLO, 2010).

Como apontado por Laslo (2010), sem a definição e implantação de métodos que orientem a tomada de decisões em gerenciamento de projetos na presença de JSP, podem ocorrer disputas e a ingerência de lobbies internos que tendem a inviabilizar certas operações e aumentar os custos dos empreendimentos, uma vez que concorrem pelos mesmos recursos. Dentro desse contexto, este trabalho tem como objetivo identificar e avaliar as contribuições do modelo de otimização proposto por Laslo (2010) para a resolução prática de problemas de JSP em projetos de desenvolvimento de software.

2. PROBLEMA DE PESQUISA E OBJETIVO

O modelo matemático proposto neste estudo procura resolver os problemas de JSP referentes ao escalonamento e sequenciamento de atividades, tendo como agravante os problemas relacionados à alocação de recursos humanos especialistas. Como resultado, este trabalho procura responder a seguinte questão:

“Quais as contribuições do modelo de otimização proposto por Laslo (2010) para a resolução prática de problemas de JSP em projetos dentro de um ambiente de desenvolvimento de software.?”

Desse modo, o objetivo deste trabalho é analisar o modelo de otimização e suas contribuições para a resolução de Job Shop Problem em projetos de desenvolvimento de software com a utilização de RHE, apontando as vantagens e limitações do modelo em um ambiente projetizado de desenvolvimento de software com restrição de RHE.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo o PMI (2008), o gerenciamento de projetos - GP está relacionado com a aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas em atividades não rotineiras destinadas a atender às necessidades e expectativas específicas, internas e externas à organização. Do ponto de vista desse estudo, dar-se-á grande importância ao ambiente interno. Ao se remeter ao ambiente interno, o principal desafio dos gestores é garantir a alocação eficiente e eficaz de recursos em suas atividades, sejam rotineiras (operações) ou não rotineiras (projetos). Seja qual for a forma de classificação, o ambiente compreende um espaço amplo onde interagem diferentes fatores e ou forças econômicas e sociais que condicionam as escolhas, o emprego de recursos e o êxito dos empreendimentos. Tais forças interferem na escolha, viabilidade, formatação do(s) projeto(s) e em sua(s) provável(eis) chance de sucesso ou fracasso (CLELAND; IRELAND, 2004). Estas interferem direta e indiretamente na priorização de ações e emprego de recursos organizacionais entre fins alternativos com implicações sobre certos parâmetros do projeto, tais como duração, níveis de custo, riscos, etc. Um aspecto crítico, diretamente associado ao ambiente interno, é que diferentes projetos concorrem por uma quantidade limitada de recursos humanos e materiais (CAMPANARIO *et. al.*, 2009).

Do ponto de vista operacional, o GP compreende esforços destinados à criação de produto(s) e ou serviço(s) único(s) por meio de esforços temporários em meio a um contexto mais amplo que o do próprio projeto (KERZNER, 2009). Assim, as práticas de GP cada vez mais se encontram associadas à identificação e o melhor uso de recursos corporativos escassos, (PINTO; KHARBANDA, 1996).

Em certas indústrias, devido às suas particularidades inerentes, há um esforço no sentido de desenvolvimento de abordagens customizadas em GP. Tal é o caso da indústria de softwares, que foi objeto de estudos por parte de diversos autores, entre eles: Boehm (1988), Boehm (1990), Boehm e DeMarco (1997), Fairley (1994) e Presman (2006). Devido à natureza do produto, que visa atender necessidades específicas em diferentes contextos, a indústria de software se caracteriza por elevado grau de projetização. De fato, certas características comuns do processo de desenvolvimento de softwares contrastam com o processo de desenvolvimento de produtos manufaturados. Segundo Pressman (2006) o desenvolvimento de softwares é caracterizado por três elementos: (i) produção sob encomenda, (ii) foco no desenvolvimento e (iii) ênfase no ciclo de vida do produto. Pressman (2006) assevera que empresas que operam em indústrias que produzem sob encomenda devem possuir certas competências críticas: boa capacidade de planejamento e de controle da produção; criação ou adoção de ferramentas que sustentem a programação das ordens de produção; garantia de alocação e emprego de recursos (internos e externos) de maneira exequível e confiável, evitando subutilização e estrangulamento nos processos de execução (causados por competição interna pelo mesmo recurso); desenvolvimento de competências específicas em engenharia de projeto, produto e serviços; capacidade comercial e de oferta de serviços de assistência técnica pós-venda, entre outras. Devido ao alto conteúdo de urgência, complexidade e unicidade, possíveis ocorrências de desvios no orçamento e nos custos são recorrentes nessa indústria. Em parte esses estão associados ao que se denomina *job shop problem* – JSP, tal qual explorado nos estudos de Laslo (2010), Fattahi *et. al.* (2006), Ahmed *et. al.* (2004) Golenko-Ginsburg e Laslo (2004).

Adicionalmente, as questões apontadas por Galway (2004) e Daneshkhan (2004) asseveram à importância do planejamento destinado à alocação de recursos em diferentes projetos. Na verdade, qualquer tomada de decisão em projetos demanda a necessidade de obtenção de estimativas de prazo e de custo. Estritamente relacionadas, essas são função da produtividade e disponibilidade de recursos. Ocorre que em certos ambientes tais estimativas também é função das demandas de outros projetos que competem internamente pelos mesmos recursos. Com efeito, um aspecto importante associado ao gerenciamento de projetos – GP, mas que é pouco explorado na literatura, diz respeito ao enfoque que orienta o planejamento e a alocação de uma quantidade limitada de recursos em diferentes projetos (FATTAHI, *et. al.*; 2006, GOLENKO-GINZBURG e LASLO, 2004; VASCONCELOS, 2007; LASLO, 2010). Em se tratando de alocação de recursos, Laslo (2010) aponta que o planejamento e a programação de recursos ocorrem entre fins alternativos em diferentes projetos, no contexto de certos objetivos (minimização de prazo, minimização de custo, ou outros.), remete a aplicação de técnicas de otimização por meio do emprego de abordagens ligadas ao *job shop*. O que é plausível em um ambiente que demanda o emprego de técnicas de gerenciamento de projetos. Assim, o modelo *job shop* está relacionado à atuação em ambientes de planejamento marcados pela presença de restrições associadas à disponibilidade limitada de recursos. (LASLO, 2010).

Fattahi *et. al.* (2006) definem o JSP como o problema em se determinar um cronograma de alocação de recursos com o sequenciamento de atividades pré-determinados em um ambiente de multi-projetos. Tal discussão sobre JSP também é apresentada por Ahmed *et. al.* (2004) como uma das mais complicadas tarefas em se tratando de alocação de recursos. Os autores definem o objetivo da alocação de recursos como à busca de um algoritmo para se

efetuar a otimização do uso de tais recursos. Dentro de um ambiente projetizado, o planejamento, alocação e o uso de vários recursos em um ou mais projetos se tornam complexos.

Ainda sobre alocação e utilização de recursos, Fattahi *et. al.* (2006) apontam que o agendamento de recursos especializados é muito importante no campo da gestão de produção, mas é difícil de alcançar uma solução ótima para resolver este problema com o melhor desempenho de otimização possível, devido à alta complexidade do ambiente computacional. Por fim e de acordo com Fattahi *et. al.* (2006), as abordagens tradicionais de gerenciamento de projetos esta questão de forma simples, tratando os recursos, inclusive os especialistas, sem restrição de alocações. Fato que, como apresentado anteriormente também foi apontado por Mendes (2003).

Mendes (2003) define que um dos principais benefícios em se utilizar de forma otimizada os recursos por um determinado período de tempo em um projeto é a liberação do recurso o mais rápido possível para alocação em outros projetos da carteira e redução dos riscos de não cumprimento dos prazos previamente estabelecidos. Neste cenário, o grande desafio é definir a relação de precedência entre as atividades dos projetos e o tempo total de espera de alocação de um determinado recurso, pois existe, em um ambiente de múltiplos projetos, a restrição de recursos e a necessidade de redução de prazo das atividades. Finalmente, ao se tratar dos desafios associados à necessidade de balanceamento de recursos especialistas entre os múltiplos projetos. Laslo (2010) aponta que o grande problema é estabelecer uma regra que permita que a organização opere diferentes projetos em um ambiente de escassez dos recursos especialistas e demandas trazidas pela estratégia da empresa. Baker (1974) aponta que se o processo de sequenciamento e escalonamento de atividades não for efetuado de forma correta, problemas relacionados à alocação de recursos humanos especialistas ao longo do tempo podem ocorrer. Desse modo, almeja-se nesse estudo uma contribuição diferenciada, ao passo que para avaliar a aderência do modelo de Laslo (2010) em projetos, foi utilizada uma pesquisa de uma empresa de desenvolvimento de software. A próxima seção apresenta as questões propostas e discute os procedimentos metodológicos adotados para a avaliação do modelo de otimização proposto por Laslo (2010).

4. METODOLOGIA

4.1. Tipo de pesquisa

De acordo com Acevedo e Nohara (2006), Cooper e Schindler (2008), Gil (2006), Vergara (1988), o tipo de pesquisa exploratório tem como objetivo promover uma aproximação ou entendimento inicial de um dado tema. Tal estratégia deve viabilizar uma melhor compreensão do problema a ser estudado, entendimento de suas variáveis e inter-relacionamento entre essas, decomposição e ou estratificação de fases necessárias para sua solução e bem como o levantamento e análise de informações disponíveis associadas a um problema. Nesse tipo de investigação, a pesquisa parte de certas premissas, onde tais informações são geralmente originadas por meio de estudos bibliográficos e ou levantamento de dados por meio de entrevistas.

Tendo em vista a tipologia explicitada acima, o presente estudo se enquadra como exploratório. Esse será desenvolvido levando-se em conta a busca de integração entre as linhas de pesquisa relacionadas ao gerenciamento de projetos. Como procura abordar o problema da alocação de recursos humanos especialistas em projetos, o tratamento das linhas de pesquisa enfatiza os processos de GP levando-se em conta a presença do JSP.

Segundo Vergara (1998), uma pesquisa pode ser classificada quanto aos seus objetivos e meios de investigação. Neste sentido, quanto à natureza, optou-se pela pesquisa exploratória, pois se pretendeu, com seus resultados, um entendimento melhor do JSP no contexto de projetos de desenvolvimento de softwares.

4.2 Procedimento Metodológico

A questão de pesquisa descrita nesse trabalho é abordada por meio de avaliação do modelo de otimização para o problema de *Job Shop Problem* – JSP proposto por Laslo (2010) em um ambiente projetizado de desenvolvimento de software, conforme procedimento explicitado a seguir.

Num primeiro momento foi realizada a descrição do modelo de otimização proposto por Laslo (2010) para o entendimento dos parâmetros do modelo e sua contribuição para a resolução do problema de *Job Shop Problem*.

Para a identificação e avaliação das contribuições do modelo de Laslo (2010) para o objeto em estudo, foram criados os seguintes indicadores a partir de requisitos previamente estabelecidos:

- (i) dimensão (que avalia o modelo através de do tamanho da dimensão do modelo);
- (ii) custos (finalidade de estimar o tratamento do custo por atividade e em relação ao custo total do projeto);
- (iii) escalonamento (com a finalidade de avaliar o tratamento do modelo em relação à priorização da data de entrega do projeto e o atraso das atividades ou atraso total do projeto);
- (iv) características (determinam o tipo de modelo matemático usado e seu comportamento em relação ao JSP e estimam a utilização do modelo em um ambiente de desenvolvimento de software) com o objetivo de avaliar o comportamento e a eficácia do modelo dentro de um ambiente de desenvolvimento de software;
- (v) resumo (apresenta as características ideais do uso do modelo em relação ao JSP).

Para a validação dos resultados obtidos por meio da avaliação dos requisitos descritos anteriormente, foi avaliada a aderência do uso do modelo proposto Laslo (2010) na prática, em uma empresa de desenvolvimento de desenvolvimento de software. Foi realizada uma entrevista semiestruturada com o gestor de projetos de uma empresa, de acordo com a seguinte estrutura:

- a) Qual a média anual da alocação de recursos (humanos e máquinas) nos projetos de sua competência?
- b) Como são tratados os atrasos em relação aos projetos?
- c) Em caso de desvio de prazo de entrega do projeto, quais são os fatores críticos que são analisados?
- d) Como é feita a alocação de recursos humanos especialistas nos projetos, principalmente para projetos com alto nível de criticidade?
- e) A priorização da data de entrega dos projetos é uma prática frequente dentro da carteira de projetos?
- f) Como um modelo matemático poderia ajudar no processo de alocação de recursos em projetos?

A empresa é uma companhia líder no mercado de idioma hispano-português de Contact Center. Iniciou suas atividades no Brasil no estado de São Paulo, no ano de 1999, no ramo de Call Center. Atualmente a empresa é considerada uma das maiores empregadoras privadas no território brasileiro além de ser uma das mais importantes formadoras de mão-de-obra qualificada no Brasil.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Modelo proposto por Laslo (2010)

O modelo proposto por Laslo (2010) é situado dentro do contexto da hierarquia dos modelos de soluções ótimas para a resolução para o problema de *Job Shop Problem*, como método de programação dinâmica, baseado pelo fato que: quando as variáveis do problema não estão

totalmente envolvidas e a solução pode ser apresentada de modo eficiente tendo como base técnicas de otimização como a Programação Dinâmica, Ballard e Brown (1982).

O modelo proposto por Laslo (2010) é um modelo matemático não paramétrico para cálculo da melhor solução ótima para o problema de JSP baseado no processo de otimização e alocação de recursos humanos especialistas. Para isso utiliza transferências desses recursos de seus departamentos para determinados projetos por um período de tempo pré-determinado, obtendo assim melhores resultados.

O modelo de Laslo (2010) faz o tratamento da minimização de penalidades contratuais. Para isso, baseia-se na informação da contratação de recursos especialistas entre diferentes projetos de um portfólio. As definições de variáveis associadas ao início, precedências, duração e probabilidade de finalização do projeto utilizadas pelo modelo são apresentadas no Quadro 1 e suas respectivas notações estão relacionadas nos Quadros 2, 3, 4 e 5.

Quadro 1: Notação e definição de variáveis associadas ao início, precedências, duração e probabilidade de finalização do projeto e portfólio de projetos. (*)

ID	Notação	Definição e descrição da variável
1A	R_k	Momento que o k-ésimo projeto é aceito. O tempo que o h-ésimo projeto é aceito $1 \leq k \leq m$ (pré-determinado).
2A	G_k	Trata-se de um Partial Ordered Set - POSET ou Conjunto Parcialmente Ordenado e inicial das atividades dos projetos. Para cada k-ésimo projeto, esse descreve o Direct Acyclic Graph – DAG inicial de atividades sendo $1 \leq k \leq m$ (onde m = número de projetos).
3A	G_{k_t}	Ponto no tempo em que se obtém a atualização do POSET das atividades dos projetos. DAG que descreve no tempo t o up-to-date POSET das atividades do k-ésimo projeto $A_{k,i,j} R_k \leq t < F_{k,i,j}$.
5A	D_k	Tempo contratual para conclusão do projeto. Tempo contratual de conclusão do k-ésimo projeto $1 \leq k \leq m$ (pré-determinado).
6A	F_k	Tempo de conclusão de todos os projetos. Tempo de conclusão real do k-ésimo projeto $F_k = \text{Max}_i(F_{k,i,q_k})$.
7A	F	Tempo de conclusão de todas as tarefas. Tempo final do Makesplan $F = \text{Max}_k(F_k)$.
8A	p_k^*	Probabilidade de o projeto ser executado antes do tempo contratual estipulado. A probabilidade de confiança exigida (restrição chance) do k-ésimo projeto ser realizado antes ou no momento de conclusão contratual D_k (pré-determinado).

Fonte: Laslo (2010, p. 612).

(*) O makesplan corresponde ao momento no tempo em que a execução de todas as atividades associadas a um projeto é finalizada.

O Quadro 2 relaciona os parâmetros associados ao enquadramento das atividades nos diferentes projetos do portfólio, os nós de início e término e a duração estocástica das diferentes atividades.

Quadro 2: Notação e definição de variáveis associadas às atividades, momento de início e término nos nós, ao início, relação de precedência, duração e probabilidade de finalização do projeto. (*)

ID	Notação	Definição e descrição da variável
1B	$A_{k,i,j}$	Atividade executada no período. Atividade de k-ésimo projeto que pode ser executada de forma contínua no período compreendido entre as ocorrências de eventos (nós) i e j, $1 \leq i \leq q_k - 1, 2 \leq j \leq q_k, A_{k,i,j} \in G_k$ (q_k – número de nós em DAG G_k)
2B	$S_{k,i,j}$	Tempo que a atividade realmente se inicia. Tempo em que a atividade $A_{k,i,j}$ realmente começa (valor aleatório).
3B	$F_{k,i,j}$	Tempo real de conclusão de cada tarefa por projeto O tempo em atividade $A_{k,i,j}$ é realmente realizado, $F_{k,i,j} = S_{k,i,j} + t_{k,i,j}$ (valor aleatório).
4B	t	Ponto de decisão do Makesplan Ponto de decisão no agendamento de tempo dentro do makesplan [0,F]
5b	$t_{k,i,j}$	Duração de cada tarefa de cada projeto Duração aleatória de $A_{k,i,j}$ com valor esperado $E(t_{k,i,j})$ e variância $V(t_{k,i,j})$.

Fonte: Laslo (2010, p. 612).

(*) O makesplan corresponde ao momento no tempo em que a execução de todas as atividades associadas a um projeto é finalizada.

O Quadro 3 apresenta os parâmetros relacionados ao emprego de recursos especializados em cada projeto do portfólio bem como o tempo previsto de contratação (ou alocação do respectivo recurso nos diferentes projetos), data de liberação e custo direto associado ao emprego do recurso por período de tempo.

Quadro 3: Notação e definição dos parâmetros de tipo, custo e momento de contratação e liberação associadas ao emprego de recursos especialistas.

ID	Notação	Definição e descrição da variável
1C	I_h	Número de especialistas. O h-ésimo especialista $1 \leq h \leq n$ (n – número de especialistas).
2C	$n_{k,i,j}$	Indica o índice do especialista para execução da atividade. Índice do especialista individual para executar a atividade de projeto $A_{k,i,j}$, $1 \leq n_{k,i,j} \leq n$ (pré-determinado).
3C	T_h^*	Tempo previsto de contratação do especialista. O tempo previsto da contratação de especialistas individuais I_h
4C	T_h^{**}	Tempo de liberação do especialista. Tempo de liberação do especialista individual I_h (valor aleatório).
5C	C_h^I	Custo do especialista por período de trabalho Custo do salário de cada especialista I_h por unidade de tempo dentro do período $[T_h^*, T_h^{**}]$ (pré-determinado), $1 \leq h \leq n$.

Fonte: Laslo (2010, p. 612).

O Quadro 4 apresenta as variáveis associados aos custos fixos e variáveis relacionados as penalidades caso o projeto termine após a data de término contratualmente estabelecida.

Quadro 4: Notação e definição dos parâmetros associados à penalidade fixa e variável em função do atraso no k-ésimo projeto do portfólio.

ID	Notação	Definição e descrição da variável
1D	C_k^d	Custo da penalidade por não conclusão do projeto no prazo contratual. Componente fixo da função de custo da pena por não completar o k-ésimo projeto no tempo $D_k, F_k > D_k$ (pré-determinado).
2D	C_k^v	Custo da penalidade por unidade de tempo de trabalho Componente variável da função de custo da pena por unidade de tempo de atraso dentro do prazo $[D_k, F_k]$ se $F_k > D_k$ (pré-determinado).

Fonte: Laslo (2010, p. 612).

Finalmente, o Quadro 5 apresenta as variáveis associados aos custos totais associados à ociosidade dos recursos especialistas, custo associado à penalidade por atrasos e gasto total relacionado a essas variáveis em termos de múltiplos projetos.

Quadro 5: Notação e definição do custo total fixo e variável do atraso e emprego de recursos especialistas. (*)

ID	Notação	Definição e descrição da variável
1E	Z	Despesas pendentes contidas no Makesplan. Planejamento / programação de despesas dependentes, ou seja, despesas de dependentes de T_h^* dentro do Makesplan $[0, F]$, $Z = Z_1 + Z_2$
2E	Z_1	Custo ocioso do especialista dentro do Makesplan. Custo dos salários ociosos dos especialistas individuais dentro do makesplan $[0, F]$
3E	Z_2	Custo da pena do atraso das despesas. Pena de despesas de atraso.

Fonte: Laslo (2010, p. 612).

(*) O makesplan corresponde ao momento no tempo em que a execução de todas as atividades associadas a um projeto é finalizada.

Dadas essas variáveis, Laslo (2010) propõe um modelo de otimização heurística que também utiliza procedimentos de simulação computacional para a solução do JSP no contexto de GP. Trata-se de um modelo de minimização baseado nas Equações (1), (2), (3), (4) e (5). O modelo está orientado para a minimização do valor esperado com as despesas $Z = Z_1 + Z_2$ associados à definição de T^*h (tempo de contratação do recurso especialista).

O exercício de minimização está sujeito a aspectos bem conhecidos na literatura de gerenciamento de prazo em projetos associados às datas de início e término de cada atividade. Assim, as atividades não se iniciam antes: do momento R_k de o projeto ser aceito (Equação 2); do término de todas as atividades antecessoras (Equação 3); antes de o recurso especialista executar a atividade sob sua responsabilidade (Equação 4). Adicionalmente, um mesmo recurso especialista não pode estar alocado em mais de uma atividade no mesmo momento no tempo (Equação 5). Finalmente, a Equação 6 indica a chance de isso ocorrer. Então o modelo

proposto por Laslo (2010) apresenta um modelo de minimização de custo, tendo como base a definição de T^*h condicionado as seguintes restrições: início do projeto, término de atividades antecessoras, conclusão de atividades dos recursos especialistas, execução simultânea de atividades pelo recurso especialista antes do makesplan.

$$E(Z) = \underset{\{T_h^*\}}{\text{Min}} [E(Z_1) + E(Z_2)] \quad (1)$$

$$S_{(k,i,j) \in G_k} \geq R_k, 1 \leq k \leq m \quad (2)$$

$$S_{(k,i=x,j) \in G_k} \geq \underset{i}{\text{Max}} (F_{(k,i,j=x) \in G_k}), 2 \leq x \leq q_k - 1 \quad (3)$$

$$S_{(k,i,j) \in G_k} \geq T_h^* \text{ se } n_{k,i,j} = h, 1 \leq k \leq m, 1 \leq h \leq n \quad (4)$$

$$[S_{z,x,y}, F_{z,x,y}] I [S_{(k,i,j) \in G_k}, F_{(k,i,j) \in G_k}] = \theta \text{ se } n_{z,x,y} = n_{k,i,j} \quad (5)$$

Fica implícito que aplicação do modelo de minimização proposto por Laslo (2010), sujeito as três ordens de restrição apresentadas anteriormente, se baseia como parâmetros dos projetos (momento de início, relação de atividades, relações de precedência, duração, etc.), sua implementação por meio de funções que assegurem a verificação das restrições (2) e (3). Já as restrições (3) e (4) são construídas por meio de funções lógicas, sendo o critério de alocação dos recursos especialistas – RE.

$$\text{Pr}(F_k \leq D_k) \geq p_k^*, \quad 1 \leq k \leq m \quad (6)$$

Associadas diretamente ao problema de minimização apresentado sumariamente, as Equações (7), (8), (9), (10) e (11) apresentadas abaixo representam, respectivamente: o custo de relacionado ao tempo de fluxo ou lead time ou ainda o custo da ociosidade dos especialistas, uma vez dadas às condições (3), (4) e (5), pode haver janelas de tempo ocioso na programação; o momento aleatório no tempo onde o recurso especialista individual I_h será liberado; a probabilidade de que isso aconteça; o dispêndio associado à penalidade por atraso; o termo binário que capta a existência ou não desse atraso.

$$ZI = \sum_{h=1}^n C_h^I \left(T_h^{**} - T_h^* - \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{q_k-1} \sum_{j=2}^{q_k} t_{k,i,j} \delta_{k,i,j}^h \right) \quad (7)$$

$$T_h^{**} = \underset{(k,i,j) \in G_k}{\text{Max}} (F_{k,i,j} \delta_{k,i,j}^h), \quad 1 \leq k \leq m \quad (8)$$

$$\delta_{(k,i,j) \in G_k}^h = \begin{cases} 1 & \text{se } n_{(k,i,j) \in G_k} = h \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad 1 \leq h \leq n \quad (9)$$

$$Z_2 = \sum_{k=1}^m \gamma_k [C_k^d + C_k^v (F_k - D_k)] \quad (10)$$

$$\gamma_k = \begin{cases} 1 & \text{se } F_k > D_k \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad 1 \leq k \leq m \quad (11)$$

O Quadro 6 apresenta as contribuições do modelo proposto por Laslo (2010) e seus respectivos resultados para o tratamento de JSP, por meio da avaliação de requisitos e indicadores pré-definidos.

Quadro 6: Indicadores de eficácia do modelo de otimização propostos por Laslo (2010) para a solução de JSP.

Requisito	Indicador	Resultado
Dimensão	Modelos até 10x10 (quantidade de máquinas x quantidade de jobs - operações)	De acordo com Gonçalves, Mendes e Resende (2002), a utilização de modelos matemáticos paramétricos (modelo proposto por Laslo (2010) para a busca da solução ótima para o JSP tem obtido resultados eficazes para modelos de até 10x10).
	Modelos superiores a 10x10 (quantidade de máquinas x quantidade de jobs - operações)	Para modelos com dimensões superiores a 10x10, Gonçalves, Mendes e Resende (2002) asseveram a necessidade do uso de modelos heurísticos (modelos Não Paramétricos).
Custos	Por job (atividade)	O modelo trata o custo direto associado ao emprego do recurso por período de tempo e o custo da penalidade por unidade de tempo em atraso.
	Total	O modelo trata o custo da penalidade por não conclusão do projeto no prazo contratual.
Escalonamento	Priorização da data de entrega	Trata o início e o término de cada atividade, sem a possibilidade de priorização.
	Tratamento ao atraso	Em caso de atraso, o modelo calcula as despesas do makesplan, a ociosidade dos recursos humanos especialistas e o custo das despesas de atraso.
Características	Modelo matemático usado	Modelo de solução ótima (Paramétrico) com utilização de Programação Dinâmica com exercício de Minimização.
	Uso do modelo em ambiente de softwares	O uso do modelo através de software ou planilha pode se tornar inviável devido a grande

		quantidade de equações, restrições e parâmetros de entrada dos algoritmos.
Resumo	Características apropriadas de uso	Modelos JSP até 10x10. Necessidade de informações de custos associados ao desvio de prazo das atividades. Necessidade de informações de custos associados à ociosidade dos recursos humanos especialistas. Cálculo das despesas em caso de atraso no prazo de entrega contratual.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2 Aspectos relacionados à resolução de JSP em um caso prático de uma empresa de desenvolvimento de software

O Quadro 7 apresenta as perguntas e respostas derivadas da entrevista realizada com o gerente de projetos de uma empresa de desenvolvimento de software para avaliar a aderência do modelo proposto por Laslo (2010) ao ambiente de desenvolvimento de software em caso prático.

Quadro 7: Aspectos relacionados a entrevista realizada com o gestor de projetos de uma empresa desenvolvimento de software

Pergunta 1:	Qual a média anual da alocação de recursos (humanos e máquinas) nos projetos de sua competência?
Resposta:	Nove recursos
Pergunta 2:	Como são tratados os atrasos em relação aos projetos?
Resposta:	O líder de projetos identifica o desvio no cronograma e reúne o grupo de projetos para discussão de alternativas. Geralmente utilizamos as técnicas de compressão ou paralelismo de atividades para contornar o desvio de tempo.
Pergunta 3:	Em caso de desvio de prazo de entrega do projeto, quais são os fatores críticos que são analisados?
Resposta:	- Quantidade de projetos superior à quantidade de recursos; - Falha no gerenciamento de projetos (acompanhamento das atividades x checkpoint); - Falha no gerenciamento do escopo (escopo x entendimento x expectativa).
Pergunta 4:	Como é feita a alocação de recursos humanos especialistas nos projetos, principalmente para projetos com alto nível de criticidade?
Resposta:	O líder de projetos solicita a alocação de recursos levando em consideração a estimativa de horas pré-definida para cada atividade. O gestor responsável pelos recursos avalia o escopo de projeto, seu grau de complexidade e determina a alocação de um recurso levando em consideração o grau de senioridade exigido.
Pergunta 5:	A priorização da data de entrega dos projetos é uma prática frequente dentro da carteira de projetos?
Resposta:	Sim. Principalmente levando em consideração o dinamismo da prestação de serviços e a necessidade de mercado.
Pergunta 6:	Como um modelo matemático poderia ajudar no processo de alocação de recursos em projetos?
Resposta:	Como a maioria dos recursos são seniores, eu conseguiria reduzir o prazo

	de resposta das alocações, levando em consideração quantidade de demanda x quantidade de recursos x capacidade máxima, conseguindo identificar e reduzir a ociosidade destes recursos que por seu grau de especialidade e custo, não podem gerar improdutividade.
--	---

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nas respostas descritas no Quadro 7, o Quadro 8 demonstra a aderência do modelo de otimização proposto por Laslo (2010) a cada indicador de eficácia ao ambiente de desenvolvimento de software da empresa objeto deste estudo:

Quadro 8: Aderência do modelo de Laslo (2010) x indicador de eficácia

Requisito	Indicador	Resultado
Dimensão	Modelos até 10x10	Aderente.
	Modelos superiores a 10x10	Não Aderente.
Custos	Por Job (Atividade)	Aderente.
	Total	Aderente.
Escalonamento	Priorização da data de entrega	Não Aderente.
	Tratamento ao atraso	Aderente.
Características	Modelo matemático usado	Aderente.
	Uso do modelo em ambiente de softwares	Aderente.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dos resultados obtidos anteriormente é possível fazer as seguintes considerações:

- a) Em relação à dimensão do modelo de JSP:
O modelo proposto por Laslo (2010) é eficaz para modelos até 10x10 - modelo utilizado pela empresa, tornando o indicador “dimensão” do modelo aderente ao ambiente da empresa.
- b) Em relação aos custos:
A empresa necessita do custo por atividade devido à restrição e ociosidade de recursos humanos e recursos humanos especialistas disponíveis. A empresa também necessita do custo por penalidade por desvio de prazo total para a entrega do projeto. O modelo de Laslo (2010) efetua o cálculo das despesas referentes à ociosidade dos recursos humanos especialistas, as despesas do atraso no makesplan e o custo associado à despesa de atraso de cada atividade, tornando os requisitos de custo do modelo aderente ao ambiente da empresa.
- c) Em relação ao escalonamento:
Devido a grande volatilidade de alocação dos recursos humanos e recursos humanos especialistas e do nível de criticidade dos projetos, a priorização da data de entrega dos processos é uma prática utilizada pela empresa. Assim, o indicador “Priorização da data de entrega” não está aderente ao ambiente da empresa. Para a empresa, a informação do custo de ociosidade dos recursos humanos especialistas é de grande importância e atualmente o gestor dos projetos não possui esta informação.

Desse modo, o indicador “Tratamento ao atraso” se torna aderente ao ambiente da empresa.

d) Em relação às características do modelo:

Os modelos de solução ótima, como Laslo (2010), tem a finalidade de determinar o menor tempo para a solução (caminho mais curto) do problema. Para a utilização destes modelos de forma computacional, Pacheco e Santoro (1999) definem que modelos que utilizam algoritmos baseados na otimização (minimização) do problema são viáveis apenas quando utilizados para modelos de JSP 10 x 10 devido à dimensão combinatória do problema, tornando os indicadores do requisito “Características” aderente à necessidade da empresa.

5.3 Limitações da pesquisa

Levando-se em consideração os resultados obtidos, é relevante destacar algumas limitações da pesquisa:

- a) As perguntas utilizadas fazem parte de uma amostra específica. Testes com diferentes perguntas podem trazer diferentes avaliações;
- b) A avaliação da aderência do modelo proposto por Laslo (2010) a empresa objeto deste estudo está condicionada a dimensão do modelo de JSP.

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho procurou avaliar as contribuições do modelo de otimização proposto por Laslo (2010) para a resolução prática de problemas de JSP em projetos dentro de um ambiente de desenvolvimento de software. Como discutido, um dos grandes desafios destas empresas é quando diferentes projetos necessitam ou concorrem por uma quantidade limitada de um mesmo recurso humano. Este cenário torna-se agravante quando a disputa é em relação a recursos que executam tarefas de alta criticidade, denominados recursos humanos especialistas. Este cenário contribui para a formulação de um dos maiores desafios a serem solucionados – o JSP. As informações apresentadas neste estudo têm como objetivo avaliar a aderência da utilização do modelo de otimização para o JSP proposto por Laslo (2010) em projetos de desenvolvimento de software.

Para isso, foram observadas algumas características do modelo de Laslo (2010) em relação à aderência e eficácia na solução de JSP. O modelo, por se tratar de ser um modelo matemático paramétrico, possui comportamento eficaz em modelos de JSP com dimensão até 10x10 (10 máquinas x 10 atividades – Jobs). Em relação aos custos, o modelo se apresenta de maneira expressiva efetuando o cálculo do custo por atividade (custo associado ao recurso e custo associado às penas contratuais da atividade) e do custo total de cada projeto. Para o escalonamento das atividades, o modelo não permite a priorização de atividades, apenas efetua o tratamento dos atrasos de cada atividade. Em se tratando de atraso das atividades, o modelos de Laslo (2010) faz o tratamento dos custos causados pela ociosidade dos recursos humanos e principalmente, recursos humanos especialistas. A implementação dos modelos de Laslo (2010) através de um software customizado ou através de planilhas pode ser uma tarefa árdua devido a grande quantidade de equações, restrições e parâmetros de entrada necessários para a execução do modelo.

A partir do envio de um questionário para o gestor de projetos da empresa foi possível identificar através das respostas, a aderência dos indicadores à necessidade de resolver os problemas de escalonamento e alocação de recursos causados pelo JSP. Ficou evidente que o modelo proposto neste estudo é eficaz em modelos de JSP até 10x10, o que reflete o cenário atual da empresa. Tal fato é aderente aos indicadores de custos e características. Em relação

aos custos, foi identificado que uma das maiores dificuldades da empresa é calcular o custo associado à ociosidade dos recursos humanos nos projetos, também são tratados pelo modelo. Já para as características do modelo, os indicadores estão em conformidade pelo fato que o modelo de JSP apresentado pela empresa (10x10) é aderente ao modelo matemático em busca da melhor solução para o problema de alocação de recursos, além do modelo proposto por Laslo (2010) ser possível de criado com a utilização de algum software ou planilha. Para os indicadores de escalonamento, o modelo é aderente ao tratamento ao atraso das atividades. Em relação ao indicador de priorização da data da entrega, o modelo de Laslo (2010) não é aderente, uma vez que a priorização da data de entrega dos processos é uma prática utilizada pela empresa em seus projetos.

Como sugestão para trabalhos futuros destaca-se a realização de pesquisas relacionando a aplicação do modelo de Laslo (2010) em relação à aderência de outros indicadores. Entende-se também como relevante uma análise comparativa através da utilização de outro modelo de otimização para a resolução do problema de JSP em projetos.

BIBLIOGRAFIA

Acevedo, C. R.; Nohara, J. J. (2006). *Monografia no curso de administração, guia completo de conteúdo e forma*. 2.a edição, Editora Atlas, São Paulo.

Ahmed, P.; Moghaddam, R. T.; Jolai, F; Vaziri, F. (2004). Solving stochastic job shop scheduling problems by a hybrid method. *University of Wolverhampton*.

Arto, K.; Martinsuo, M.; Aalto, T. (2001). Project portfolio management: strategic management through projects. *Project Management Association Finland, Finland*.

Ballard, D., Brown, C. (1982). *Computer vision*, New Jersey: Prentice-Hall.

Baker, K. R. (1974). *Introduction to sequencing and scheduling*. Canada: John Wiley and SonsInc.

Boehm, B. (1988). A spiral model of software development and enhancement. *IEEE Software*, vol. 21, p. 61-72.

Boehm, B. (1990). Software risk management: principles and practices. *IEEE Software*, vol. 8, p. 32-41.

Boehm, B.; Demarco, T. (1997). Software risk management. *IEEE Software*, p. 17-19.

Campanario, M. A.; Maccari, E. A.; Silva, M. M.; Santana, S. G. (2009). Desenvolvimento de um curso de mestrado profissional sob a perspectiva de gestão de projetos. *Revista Brasileira de Gestão de Negócios (São Paulo. Impresso)*, v. 11, p. 423-442.

Cleland, D. I.; Ireland, L. R. (2004). *Project manager's portable handbook*. 2. ed. New York: McGraw Hill.

Cooper; D., R.; P. S. Schindler. (2008). *Métodos de pesquisa em administração*. Porto Alegre: Bookman.

Daneshkhah, A. R. (2004). Psychological aspects influencing elicitation of subjective probability. *The University Of Sheffield*. August.

Fairley, R. (1994). Risk management for software's projects. *IEEE Software*. p 54-66.

Fattahi, P.; Mehrabad, M. S.; Aryanezhad, M. B. (2006). An algorithm for multi-objective job shop scheduling problem. *Journal of Industrial Engineering International*, Vol. 2006, N. 3, p. 43-53.

Galway, L. A. (2004). *Risk Analysis for Complex Projects*, RAND Corporation (WR-112).

Gil, A. C. (2006). *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4.a edição, Editora Atlas, São Paulo.

Golenko-Ginzburg, D.; Laslo, Z. (2004). Chance constrained oriented dispatching rules for flexible job shop scheduling. *Computer Modelling & New Technologies*, Vol.8, N. 2, p. 14-18.

Gonçalves, J.F.; Mendes, J. J. M.; Resende, M.G.C. (2004). A hybrid genetic algorithm for the Job Shop Scheduling Problems. *European Journal of Operational Research*.

Kerzner, H. (2009). *Project management: A systems approach to planning, scheduling and controlling*. Tenth Edition. ed. New York: John Wiley and Sons.

Laslo, Z. (2010). Project portfolio management: An integrated method for resource planning and scheduling to minimize planning/scheduling-dependent expenses. *International journal of project management*. p 609-618.

Mendes, J. J. M. (2003). *Sistema de apoio à decisão para planejamento de sistemas de produção tipo projecto*. 2003. 256 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de engenharia da universidade do Porto, Porto.

Pacheco, R.F.; Santoro, M.C. (1999). Proposta de classificação hierarquizada dos modelos de solução para o problema de job shop scheduling. *Gestão e produção*, Revista do Departamento de Engenharia de Produção, Universidade de São Carlos, p. 1-15.

Pinto, J. K.; Kharbanda, O. P. (1996). How to fail at project management (without really trying). *Software Management*, v. 39, cap. 4, p. 45-53.

Pressman, R. S. (2006). *Engenharia de software*. São Paulo: Makron Books.

PMI (Project Management Institute). (2008). *A guide to the project management body of knowledge: PMBOK guide*. 4. ed. Newton Square: Project Management Institute.

Shenhar, A.; Dvir, D. (2010). *Reinventando gerenciamento de projetos: a abordagem diamante ao crescimento e inovação bem-sucedidos*. São Paulo: Makron Books.

Tavares, M. G. P. (2002). *Cultura Organizacional*. Editora Quality Mark. Rio de Janeiro.

Vasconcelos, R. V. J. C., Ferreira Filho, V. J. M. (2007). “Algoritmo Genético para o Problema de Scheduling de Projetos com Restrição de Recurso: Uma aplicação em Operações em Poços de Petróleo”, *Anais do XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*.

Vergara, S. C. (1998). *Projetos e relatórios de pesquisa em administração*. Atlas, São Paulo.