

Otimização aplicada ao problema de alocação de equipes em uma panificadora

Optimization applied to the problem of team allocation at a bakery

Juliana Triches

Graduada em Engenharia Civil e Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade de Passo Fundo – UPF.
Passo Fundo, RS [Brasil]
julianatriches@yahoo.com.br

Moacir Kripka

Doutor em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – EESC/USP, Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade de Passo Fundo – UPF.
Passo Fundo, RS [Brasil]
mkripka@upf.br

Ilizandro Boscardin

Graduado em Administração e Especialista em Gestão Estratégica de Custos pela Faculdade de Administração da Associação Brasileira de Educação – FABE
Marau, RS [Brasil]
ilizandro.boscardin@yahoo.com.br

Resumo

Alocar uma equipe consiste em atribuir as responsabilidades de uma tarefa a um conjunto de recursos humanos. Os desenvolvedores podem ter capacidades técnicas diferentes e as tarefas podem exigir necessidades distintas. Devido à complexidade de resolução deste tipo de problema, torna-se ideal aplicar técnicas de otimização. Assim, objetivou-se neste estudo oferecer uma ferramenta capaz de apoiar e guiar as decisões no problema de alocação de equipes em uma panificadora, buscando a minimização do tempo ocioso dos funcionários. A resolução matemática do problema é dada por meio da formulação de um modelo de otimização linear, utilizando como base a resolução do Problema de Transporte. Para isso, usou-se o *software* Lingo, uma ferramenta adequada para a resolução de problemas deste tipo. Observou-se que a formulação e resolução do caso como um problema de otimização conduziram a uma distribuição mais uniforme das atividades, respeitando as habilidades e evitando a concentração de tarefas sobre um único funcionário.

Palavras-chave: Alocação de equipes. Otimização. Recursos humanos.

Abstract

To allocate a team is to assign the responsibilities for a task to a group of human resources. Developers may have different technical capabilities, and the tasks may have different needs. Due to the complexity of solving this kind of problem, the ideal solution requires the application of optimization techniques. Thus, the aim of this study was to provide a tool to support and guide decisions in the allocation of teams at a bakery, seeking to minimize idle time. The mathematical resolution of the problem is given through the formulation of a linear optimization model, using as a basis the resolution of the Transport Problem. This was accomplished using Lingo, a software program suitable for solving this type of problem. It was observed that formulating and solving the case as an optimization problem led to a more uniform distribution of activities, respecting employees' skills and avoiding the concentration of tasks on a single individual.

Key words: Human resources. Optimization. Team allocation.

1 Introdução

Os Problemas de Alocação de Equipes e de Escalonamento de Tarefas são difíceis de serem resolvidos em sua otimalidade. Para Rocha (2011), a junção dos dois no intuito de desenvolver o cronograma é um problema ainda mais complexo, pois exige um tempo demasiado e, muitas vezes, inaceitável para o planejamento de cronogramas em projetos de grande porte (envolvendo maior quantidade de atividades e recursos humanos).

O bom gerenciamento de recursos é um ponto-chave para o sucesso de um projeto. Há vários modelos, técnicas e ferramentas que visam a apoiar a gerência de projetos no que tange a alocação de equipes, controle de pessoal e desenvolvimento de cronogramas, seja para projetos em geral ou no âmbito específico de projetos de *software*.

Isto leva a uma questão fundamental: “Dado um grupo de desenvolvedores disponíveis e um conjunto de atividades, como alocar os recursos e como sequenciar as atividades de forma a trazer maiores benefícios à organização?”.

Portanto, neste trabalho, objetivou-se propor uma abordagem otimizada, que envolve o Problema de Elaboração de Cronograma, compreendendo a etapa de alocações de equipes nas atividades do projeto, a fim de alocar as equipes mais qualificadas em cada atividade desenvolvida em uma panificadora. Nesse sentido, o estudo se baseou na busca de uma melhor distribuição das tarefas realizadas, levando em consideração vários aspectos importantes, como o tempo das atividades e as habilidades requeridas para sua prática, os recursos humanos disponíveis, sua carga horária de trabalho e sua capacidade.

Uma formulação matemática foi criada para a resolução do problema como um problema de otimização linear, buscando minimizar o tempo ocioso dos funcionários. A formulação foi inserida no *software* Lingo. Os itens seguintes deste

artigo descrevem a metodologia empregada, bem como os resultados obtidos.

2 A indústria de panificação brasileira

As condições de qualidade, produtividade e competitividade nos mercados interno e externo, assim como a busca pelo atendimento às necessidades dos consumidores constituem os principais fatores responsáveis pela modernização tecnológica na indústria. No entanto, a escassez de trabalhadores qualificados no setor de panificação é ainda muito grande (LÉLLIS et al., 2012). Atualmente, este setor está entre os maiores segmentos industriais do Brasil, relacionando-se com outros setores da economia e constituindo-se num importante gerador de emprego e distribuição de renda.

A indústria de panificação continua em ritmo de progressão, alcançando bons índices nas demandas por esses tipos de produtos. Pode-se observar claramente a expansão dessa indústria nos bairros, desde os populares aos mais ricos. O consumo é notório em todos os tipos de rendas e famílias, e a procura constante das padarias pela adaptação, de acordo com as preferências dos clientes, faz com que o nível de competitividade seja cada vez maior.

3 A empresa

A padaria Pão & Cia foi fundada em 2010, no município de Marau, Rio Grande do Sul. Em pouco tempo de operação, a empresa já se destacou no mercado local. Segundo o gerente de produção, as buscas incessantes pela excelência e qualidade dos produtos vendidos foram os principais motivos do crescimento da organização. Atualmente,

a padaria possui uma vasta gama de produtos, a maioria deles confeitada na própria loja, que está à disposição de seus clientes.

A panificadora é dividida em dois setores: Produção e Vendas. No setor de Produção existem diversas linhas de produtos, como pães tradicionais, pães especiais,ucas, bolachas e lanches. A empresa possui quatro funcionários, distribuídos em grupos de uma a duas pessoas por linha, as quais trabalham nove horas diárias (das 8h às 12h e das 14h às 19h).

Diariamente são produzidos 1200 pães para venda, além de 30 produtos diversos, tais como bolachas, pastéis, doces,ucas, *grostoli*. Dentre esses produtos, o pão francês é o de maior saída e o que gera o maior número de atividades na produção.

Tendo em vista as inúmeras atividades a serem desenvolvidas em uma panificadora, cada qual com seu tempo de duração, habilidades requeridas e frequência, levando em consideração também o número de funcionários, sua carga horária diária, e o horário de maior movimento de clientes da panificadora, buscou-se desenvolver um cronograma diário otimizado, alocando recursos para as atividades, visando a uma melhor utilização da carga horária de trabalho, não sobrecarregando os funcionários no horário de pico da panificadora.

4 Conceitos de otimização

Tão importante quanto complexa, a alocação de recursos é uma atividade que possui diversas variáveis a serem consideradas, tais como prazos, custos, interdependências entre tarefas, planejamentos multiprojetos, replanejamentos, estimativas e incertezas e manipulação direta de recursos humanos.

Ainda que existam ferramentas, técnicas e manuais de boas práticas relacionados ao assunto,

eles não tiram do gerente de projetos a responsabilidade pela obtenção de uma solução de qualidade que esteja de acordo com os objetivos da sua organização. Para isso, tal solução geralmente é obtida a partir de heurísticas baseadas em seu conhecimento, experiência e intuição.

Técnicas de otimização são utilizadas em várias áreas, incluindo diversas disciplinas de engenharia. A abordagem proposta consiste principalmente na utilização de um modelo matemático para formular o problema abordado.

Uma vantagem de uma formulação voltada à aplicação de técnicas de otimização é a facilidade em estendê-la. De acordo com as necessidades da organização ou o desejo do gerente, é possível reformular o problema de modo que ele agregue novos aspectos não considerados na atual formulação.

Nos casos em que a abordagem baseia-se em uma técnica multiobjetivo, novos objetivos podem ser considerados. Um exemplo seria considerar o gerenciamento de riscos no planejamento de cronogramas, incluindo um objetivo de minimização de riscos no qual tarefas de maior risco têm sua execução priorizada. Colares (2010) utiliza uma função objetivo nesse sentido para planejar liberações de um produto de *software*. O desejo do gerente de projetos também pode ser incorporado à formulação inserindo-se novas restrições ao problema. Esse artifício possibilita ao gerente restringir, por exemplo, datas, tamanho de equipes, duração de tarefas e pré-alocações de recursos específicos a tarefas consideradas críticas.

Técnicas aplicadas a um problema de otimização podem ser classificadas em dois tipos: as exatas e as aproximadas. Técnicas exatas são utilizadas para encontrar soluções ótimas, isto é, a melhor solução possível para o problema. No entanto, devido à complexidade intrínseca a grande parte dos problemas, a eficiência computacional é uma barreira para o uso de tais métodos. Surgem como alternativa as técnicas aproximadas, que po-

dem ser eficientemente aplicadas a problemas de maior complexidade e, ainda assim, conseguirem soluções suficientemente boas, ou seja, soluções que geralmente se aproximam do ótimo.

Entre as técnicas exatas, podem-se destacar as clássicas, como *branch and bound*, algoritmos gulosos e o método simplex. Entre as aproximadas, destacam-se as meta-heurísticas, que podem ser descritas como técnicas genéricas para resolução eficiente de problemas complexos. Devido à complexidade da área, a grande maioria dos autores prefere abordar os problemas de engenharia de *software* utilizando meta-heurísticas. Dentre as meta-heurísticas mais tradicionais estão inclusas a busca local, a busca tabu, os Algoritmos Genéticos e o *Simulated Annealing*.

Outra forma de otimização, não diretamente relacionada ao problema aqui abordado, é a otimização do arranjo físico, ou de *layout*. O conceito de arranjo físico assegura economia de tempo e esforço despendido nas operações de uma organização, aproveita melhor o espaço disponível, propicia melhor aparência e, acima de tudo, conforto e bem-estar aos clientes.

A reestruturação do arranjo físico de uma organização deve considerar aspectos preliminares básicos que garantam sua sobrevivência no mercado atual, são eles: qualidade e competitividade dos produtos e da empresa.

De acordo com Slack et al. (2002), no arranjo físico de uma operação produtiva, há uma preocupação com o posicionamento dos equipamentos e em saber como os materiais e as pessoas se deslocam no ambiente de trabalho. Assim, definir o arranjo físico é decidir onde colocar todas as instalações, as máquinas, os equipamentos e o pessoal da produção.

Aliado a estes conceitos pode-se dizer que o arranjo físico está intimamente relacionado com a otimização das tecnologias de processo e projetos de organização do trabalho com o intuito de

melhorar a produtividade e atingir melhores níveis de segurança nos postos de trabalho (BICALHO JÚNIOR et al., 2008).

4.1 Trabalhos relacionados

Em uma pesquisa de Antoniol et al. (2005), foram utilizados algoritmos genéticos, *Simulated Annealing*, Busca Randômica e *Hill Climbing* para resolver o problema de alocação de pessoas. Nesse estudo, os autores também consideraram problemas de retrabalho e abandono de projetos.

Alba e Chicano (2007) apresentaram um estudo sobre o Problema de Escalonamento de Projeto (Project Scheduling Problem – PSP), que consiste em definir quem faz o que ao longo do projeto. Foi utilizado um algoritmo genético para minimizar dois objetivos: o tempo e o custo do projeto. A formulação proposta considera aspectos importantes, como habilidades individuais dos recursos, interdependência entre tarefas e percentual de dedicação dos recursos nas tarefas.

Colares (2010) utilizou um algoritmo genético multiobjetivo para resolver o problema de alocação de equipes e desenvolvimento de cronogramas. A função de aptidão proposta busca minimizar o tempo total do projeto, o custo total, o atraso nas tarefas e as horas extras.

Penta et al. (2011) apresentaram uma modelagem mono-objetivo e outra multiobjetivo para o problema de cronograma e alocação de equipes em projetos de *software*. A abordagem mono-objetivo foi implementada utilizando, para a solução, algoritmos genéticos, *Simulated Annealing* (SA) e *Hill Climbing*.

Especificamente aplicados a problemas de otimização em padarias, poucas referências foram encontradas, sendo a totalidade relacionada ao sequenciamento da produção ou à otimização do leiaute. Exemplificando, Hecker et al. (2013) utilizaram os métodos Enxame de Partículas e Colônia de Formigas no planejamento da pro-

dução de uma padaria, fornecendo resultados otimizados em tempo computacional aceitável. Posteriormente, Hecker et al. (2014) aplicaram Algoritmos Genéticos, Colônia de Formigas e Busca Randômica também na otimização da sequência de produção de uma padaria, desta vez, buscando minimizar tanto o tempo ocioso das máquinas como o tempo para término de todas as tarefas. O problema combinatório gerado foi satisfatoriamente solucionado por meio das técnicas propostas, apresentando melhoras significativas segundo ambos os objetivos.

5 O problema de elaboração de cronograma

O planejamento de cronograma, considerado nesta pesquisa, compreende a junção de dois conhecidos problemas, são eles: o Problema de Alocação de Equipes e o Problema de Escalonamento de Tarefas com Restrição de Recursos.

Alocar uma equipe consiste em atribuir as responsabilidades de uma tarefa a um conjunto de recursos humanos. O Escalonamento de Tarefas determina a ordem de execução de cada tarefa.

A Figura 1 ilustra uma visão geral sobre o problema de alocação e de escalonamento e o problema proposto de Elaboração de Cronograma. Nesse gráfico, percebe-se a existência de duas principais entidades: Os Recursos Humanos e as Tarefas. Os recursos humanos possuem habilidades, cargas horárias e salários individuais e seus períodos de disponibilidades ao longo do projeto. As tarefas possuem interdependências, esforço estimado em homens-hora e habilidades requeridas.

Essas entidades representam os dados de entrada comum aos problemas. Além dos dados em comum, o Problema de Escalonamento recebe as alocações dos recursos humanos. Logo, esse problema resume-se apenas em definir qual a me-

lhor ordem de execução das atividades. De forma análoga, o Problema de Alocação de Equipes, além dos dados em comum, apresenta a ordem de execução das atividades, obtida previamente, cabendo definir qual a melhor forma de alocar os recursos humanos. O problema proposto de Elaboração de Cronograma recebe como entrada apenas os dados em comum, e o objetivo consiste em determinar tanto a melhor forma de alocação dos recursos quanto a melhor ordem de execução das atividades. Em todos os três problemas, buscam-se obter bons cronogramas que, por exemplo, diminuam a duração e/ou o custo do projeto.

A partir do momento em que são conhecidas as atribuições de cada recurso e a ordem de execução das tarefas, pode ser determinado o instante de início de execução de cada tarefa e assim tem-se o cronograma estabelecido por completo.

Pressman (2005) apud Colares (2010, p. 29) define o desenvolvimento do cronograma como “[...] uma atividade que distribui o esforço estimado em toda a duração planejada do projeto alocando esforços a tarefas de engenharia de software específicas [...]”. Em outras palavras, uma vez definidas as tarefas do projeto e estimados os esforços necessários, a alocação de recursos é uma atividade que consiste em alocar os esforços disponíveis às tarefas e arranjá-las num cronograma planejado para o projeto.

São as entradas básicas para definição do cronograma e alocação de recursos:

- uma lista de atividades, incluindo seus atributos, suas interdependências e o esforço estimado para sua realização;
- os recursos necessários e suas especificações, as quais variam de acordo com a área de aplicação do projeto. Para os de *software*, recursos humanos devem receber maior atenção, de forma que devem ser especificados fatores

como habilidades, experiência e disponibilidade de pessoal; e

- outras informações gerenciais, como escopo do projeto, plano de gerenciamento, riscos etc.

São aspectos considerados na formulação do problema:

Tarefas: formulação proposta considera como tarefas quaisquer atividades que precisem ser executadas por recursos humanos para completude do projeto.

Recursos humanos: esse item possui particularidades que precisam ser observadas. Neste estudo, são considerados, por exemplo, habilidades e experiências individuais, disponibilidade e tipo de trabalho.

Habilidades e experiência individuais: as habilidades são quaisquer requisitos pessoais que uma tarefa possa precisar para ser executada. Cada tarefa possui um conjunto de requisitos exigidos, enquanto cada recurso possui suas habilidades, incluindo seu nível de proficiência em cada uma. Cada recurso possui algum ou nenhum grau de experiência em cada uma das tarefas a serem executadas.

Ambas, habilidades e experiência, são consideradas no cálculo da produtividade da equipe e, conseqüentemente, na estimação de tempo para realização das tarefas.

O esforço de desenvolvimento de um projeto é dividido em tarefas. Uma vez que as estimativas de esforço dessas tarefas são traçadas e suas ordens de execução

definidas, uma das mais importantes atividades do gerente de projeto é alocar recursos nessas tarefas. A forma como esses recursos são alocados pode influenciar na duração e/ou no custo do projeto e/ou na qualidade do produto.

Entretanto, essa não é uma atividade simples, há muitas alternativas a ponderar e várias combinações a avaliar, e o gerente pode ter que escolher um time dentre um vasto conjunto de recursos disponíveis. Devido a sua complexidade e ao fato de que normalmente as técnicas tradicionais de apoio à gestão não se propõem a desenvolver uma alocação ótima, esta atividade fica a cargo apenas da experiência e percepção do gerente, uma vez que seria considerado infinito o tempo necessário para ele listar todas as combinações possíveis de alocações de recursos humanos.

Foi mostrado em Coffman Jr. et al. (1997) apud Rocha (2011), que o problema de alocação de recursos pode ser pensado como o Problema do Empacotamento (*Bin Packing*), pertencente a uma classe mais geral denominada de Problemas da Mochila (*Knapsack Problems*) e pertencente

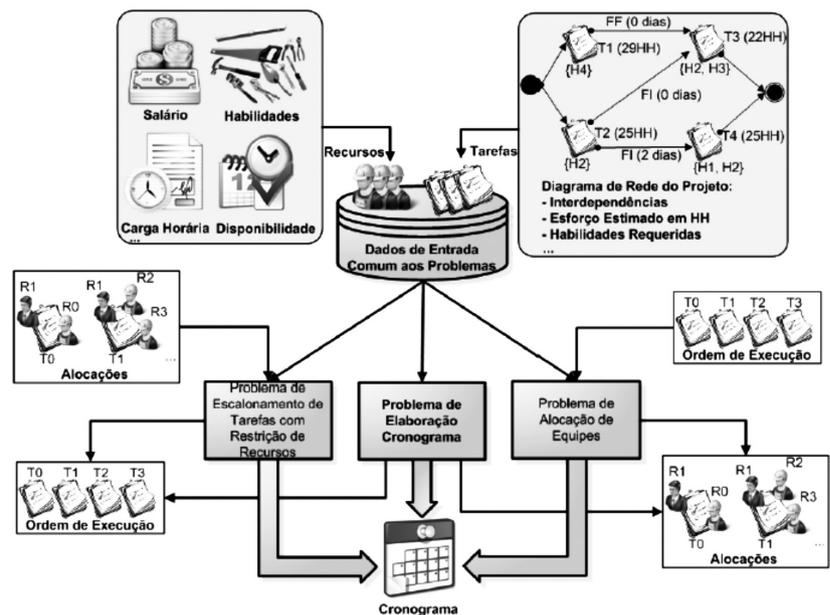


Figura 1: Visão geral do problema de elaboração de cronograma

Fonte: Colares (2010).

à classe de problemas NP-Difícil. No Problema do Empacotamento, objetos de diferentes volumes devem ser colocados dentro de um número finito de caixas a fim de minimizar o número de embalagens usadas, respeitando o limite de capacidade destas.

O problema de alocação de recursos também pode ser modelado; porém, de forma mais limitada, como um Problema de Designação que consiste em designar de maneira ótima cada uma das origens a cada um dos destinos.

Na modelagem do Problema de Alocação de Equipes como um Problema de Designação, é considerada apenas a alocação de um único recurso por tarefa. Nesse caso, um recurso despende toda sua carga horária na execução dessa atividade até que ela seja concluída e, portanto, não poderá trabalhar em mais de uma tarefa no mesmo dia antes da conclusão da corrente.

Essa é uma abordagem mais simples e fácil de ser implementada, porém limitada, pois na prática sabe-se que pode haver mais de um recurso trabalhando em uma determinada tarefa e que um recurso pode estar trabalhando paralelamente em mais de uma tarefa no mesmo dia.

No entanto, com frequência o gerente precisa alocar mais de um recurso em uma tarefa e também um recurso pode desempenhar diferentes atividades paralelamente.

Muitas vezes, pode ser útil remover recursos humanos alocados em uma tarefa em andamento ou alocar outros recursos em uma atividade em execução. No entanto, assume-se nessa modelagem que a equipe alocada em uma tarefa trabalha nela desde o início até sua conclusão, em outras palavras, não é permitido alterar seus membros em uma atividade em execução. Esse procedimento também pode constituir vantagens para o projeto, tais como aumentar a experiência da equipe na atividade em execução e a afinidade entre seus integrantes.

6 Modelagem do problema de otimização

Segundo Arce (2014), basicamente, um problema de otimização linear ou programação linear (PL), é um problema de otimização em que a função objetivo e as restrições são lineares.

Matematicamente, tem-se:

$$\text{maximizar } Z = \sum_{j=1}^p c_j x_j \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^p a_{ij} x_j \leq b_i, i = 1, 2, \dots, q \quad (2)$$

$$x_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, p \quad (3)$$

Nas equações de (1) a (3) c_j , a_{ij} e b_i , são dados (números reais) e x_j representa as variáveis de decisão. A função linear a ser maximizada em (1) é denominada função objetivo. As restrições de não negatividade são conhecidas como triviais.

Alternativamente, é possível modelar o problema apresentado acima como um problema de minimização, que é o caso deste trabalho.

Neste estudo, a resolução matemática do problema se deu por meio de uma formulação de um modelo de otimização linear utilizando como base a resolução do Problema de Transporte.

O Problema de Transporte tem como objetivo transportar itens dos centros de origens aos centros de destinos, sendo conhecidos o custo de transporte de cada item, as quantidades dos itens disponíveis em cada centro e as demandas de cada consumidor. O transporte deve ser efetuado de modo que as limitações de oferta em cada centro sejam respeitadas, a demanda de cada mercado atendida e o custo total de transporte seja míni-

mo. As variáveis são escritas como X_{ij} , em que i é a origem, e j o destino. Assim, o valor assumido pela variável indica quanto é, se o valor for zero, o item não é transportado.

De forma análoga, o problema proposto pode ser resumido da seguinte maneira:

Objetivo

Minimização do tempo ocioso dos funcionários.

Variáveis de projeto

O tempo de cada atividade atribuído a cada funcionário.

Restrições

As atividades devem ser integralmente cumpridas.

As cargas de trabalho de cada funcionário devem ser respeitadas.

Dados do problema

As habilidades requeridas por cada tarefa, e quem pode desempenhá-las.

O tempo máximo de trabalho de cada recurso (funcionário).

A Tabela 1 descreve as atividades que devem ser executadas diariamente, bem como sua duração em minutos e quais os funcionários habilitados a seu desenvolvimento. Já a Tabela 2 lista a carga máxima de trabalho de cada funcionário.

Sejam:

- X_{ij} a quantidade de minutos atribuída da atividade i ao funcionário j .

Em resumo, o tempo disponível pelos quatro funcionários, totalizando 1986 minutos, deve ser consumido no desenvolvimento integral das tarefas listadas na Tabela 1. Cada variável X_{ij} pode

Tabela 1: Atividades realizadas na panificadora e seu tempo de duração

	Atividades	Duração (min)	Habilidade
1	Pão francês	135	Funcionário A; Funcionário B; Funcionário C
2	Pão sovado	70	Funcionário A; Funcionário B; Funcionário C
3	Pão centeio	40	Funcionário A; Funcionário B; Funcionário C
4	Pão fatiado	35	Funcionário A; Funcionário B; Funcionário C
5	Pão caseiro	35	Funcionário A; Funcionário B; Funcionário C
6	Cuca	50	Funcionário A; Funcionário B; Funcionário C
7	Bolachas	60	Funcionário A; Funcionário B; Funcionário C
8	Pastéis fritos	50	Funcionário A; Funcionário B; Funcionário C
9	Pastéis folhados	10	Funcionário A; Funcionário B; Funcionário C
10	Sonho	20	Funcionário B
11	<i>Grostoli</i>	180	Funcionário A; Funcionário B; Funcionário C
12	Doces	30	Funcionário B; Funcionário C
13	Massa pastel folhado	60	Funcionário A
14	Massa pastel frito	50	Funcionário A; Funcionário B
15	Atendimento balcão	540	Funcionário A; Funcionário B; Funcionário C; Funcionário D
16	Limpeza	45	Funcionário C; Funcionário D
17	Caixa	540	Funcionário A; Funcionário D
18	Recebimento de mercadorias	20	Funcionário A; Funcionário D

Fonte: Os autores.

assumir o valor zero ao final do processo (indicando que a atividade i não será desempenhada pelo

Tabela 2: Funcionários que trabalham na panificadora e sua carga horária de trabalho por dia

Funcionário	Carga horária
Funcionário A	540
Funcionário B	540
Funcionário C	453
Funcionário D	453

Fonte: Os autores.

funcionário j), ou diferente de zero, indicando os minutos dessa atividade a cargo do funcionário.

O modelo matemático para este problema foi escrito em *software* para resolução de problemas lineares Lingo 15.0, versão demo, da seguinte maneira:

$$\min = 1986 - (X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} + X_{61} + X_{71} + X_{81} + X_{91} + X_{102} + X_{111} + X_{131} + X_{141} + X_{151} + X_{171} + X_{181} + X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} + X_{52} + X_{62} + X_{72} + X_{82} + X_{92} + X_{112} + X_{122} + X_{142} + X_{152} + X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43} + X_{53} + X_{63} + X_{73} + X_{83} + X_{93} + X_{113} + X_{123} + X_{153} + X_{163} + X_{154} + X_{164} + X_{174} + X_{184});$$

! sujeito a;

!Restrições de não-negatividade das variáveis;

$$\begin{aligned} X_{11} &\geq 0; \\ X_{12} &\geq 0; \\ X_{13} &\geq 0; \\ X_{21} &\geq 0; \\ X_{22} &\geq 0; \\ X_{23} &\geq 0; \\ X_{31} &\geq 0; \\ X_{32} &\geq 0; \\ X_{33} &\geq 0; \\ X_{41} &\geq 0; \\ X_{42} &\geq 0; \\ X_{43} &\geq 0; \\ X_{51} &\geq 0; \\ X_{52} &\geq 0; \\ X_{53} &\geq 0; \\ X_{61} &\geq 0; \\ X_{62} &\geq 0; \\ X_{63} &\geq 0; \\ X_{72} &\geq 0; \\ X_{73} &\geq 0; \end{aligned}$$

!demanda;

$$\begin{aligned} X_{11} + X_{12} + X_{13} &= 135; \\ X_{21} + X_{22} + X_{23} &= 70; \\ X_{31} + X_{32} + X_{33} &= 40; \\ X_{41} + X_{42} + X_{43} &= 35; \\ X_{51} + X_{52} + X_{53} &= 35; \\ X_{61} + X_{62} + X_{63} &= 50; \\ X_{71} + X_{72} + X_{73} &= 60; \\ X_{81} + X_{82} + X_{83} &= 50; \\ X_{91} + X_{92} + X_{93} &= 10; \\ X_{102} &= 20; \\ X_{111} + X_{112} + X_{113} &= 180; \\ X_{122} + X_{123} &= 30; \\ X_{131} &= 60; \end{aligned}$$

$$X_{141} + X_{142} = 50;$$

$$X_{151} + X_{152} + X_{153} + X_{154} = 540;$$

$$X_{163} + X_{164} = 45;$$

$$X_{171} + X_{174} = 540;$$

$$X_{181} + X_{184} = 20;$$

!Capacidade;

$$\begin{aligned} X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} + \\ X_{61} + X_{71} + X_{81} + X_{91} + X_{111} \\ + X_{131} + X_{141} + X_{151} + X_{171} \\ + X_{181} \leq 540; \end{aligned}$$

!Funcionário A;

$$X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} + X_{52} + X_{62} + X_{72} + X_{82} + X_{92} + X_{102} + X_{112} + X_{122} + X_{142} + X_{152} \leq 540;$$

!Funcionário B;

$$\begin{aligned} X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43} + X_{53} + \\ X_{63} + X_{73} + X_{83} + X_{93} + X_{113} \\ + X_{123} + X_{153} + X_{163} \leq 453; \end{aligned}$$

end

!Pão francês;

!Pão sovado;

!Pão centeio;

!Pão fatiado;

!Pão caseiro;

!Cuca;

!Bolachas;

!Pastéis fritos;

!Pastéis folhados;

!Sonho;

!Grostoli;

!Doces;

!Massa pastel folhado;

!Massa pastel frito;

!Atendimento Balcão;

!Limpeza;

!Caixa;

!Recebimento de mercadorias;

!Funcionário C;

!Funcionário D;

Neste problema, foram consideradas restrições determinadas atividades que devem ser realizadas por no mínimo duas pessoas (pães,ucas e bolachas), pois a realização dessas por uma só pessoa seria inviável, devido ao atraso nas atividades. Essa condição, envolvendo os Funcionários

A, B e C, foi escrita definindo um mínimo de dez minutos de um segundo funcionário. As restrições a seguir definem um segundo funcionário para a confecção do pão francês:

$$\begin{aligned} X_{11}+X_{12} &\geq 10; \\ X_{11}+X_{13} &\geq 10; \\ X_{12}+X_{13} &\geq 10; \end{aligned}$$

A Figura 2, a seguir, mostra parcialmente a tela do *software* Lingo, com o problema escrito, pronto para sua execução.

```

!Problema otimização padaria;

!Minimizar tempo ocioso dos funcionários;
min=1986- (X11+X21+X31+X41+X51+X61+X71+X81+X91+X102+X111+
X131+X141+X151+X171+X181+X12+X22+X32+X42+X52+X62+X72+X82+
X92+X112+X122+X142+X152+X13+X23+X33+X43+X53+X63+X73+X83+
X93+X113+X123+X153+X163+X154+X164+X174+X184);

!Restrições;
X11>=0;           !Pão francês;
X12>=0;
X13>=0;
X21>=0;           !Pão sovado;
X22>=0;
X23>=0;
X31>=0;           !Pão centeio;
X32>=0;
X33>=0;
X41>=0;           !Pão fatiado;
X42>=0;
X43>=0;
X51>=0;           !Pão caseiro;
X52>=0;
X53>=0;
X61>=0;           !Cuca;
X62>=0;
X63>=0;
X72>=0;           !Bolachas;
X73>=0;

!demanda;
X11+X12+X13=135;           !Pão francês;
X21+X22+X23=70;           !Pão sovado;
X31+X32+X33=40;           !Pão centeio;
X41+X42+X43=35;           !Pão fatiado;
X51+X52+X53=35;           !Pão caseiro;
X61+X62+X63=50;           !Cuca;
X71+X72+X73=60;           !Bolachas;
X81+X82+X83=50;           !Pastéis fritos;

```

Figura 2: Tela do Lingo

Fonte: Os autores.

7 Resultados obtidos

De modo a comparar os resultados obtidos pelo *software* de otimização, buscaram-se os dados atuais da panificadora, quanto à distribuição de tarefas entre os funcionários, os quais são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Cronograma atual da panificadora

Atividades	Duração (min)	Func. A	Func. B	Func. C	Func. D
1 Pão francês	135	35	50	50	-
2 Pão sovado	70	20	25	25	-
3 Pão centeio	40	10	20	20	-
4 Pão fatiado	35	10	12,5	12,5	-
5 Pão caseiro	35	10	12,5	12,5	-
6 Cuca	50	20	15	15	-
7 Bolachas	60	-	30	30	-
8 Pastéis fritos	50	-	10	40	-
9 Pastéis folhados	10	7	-	3	-
10 Sonho	20	-	20	-	-
11 <i>Grostoli</i>	180	40	70	70	-
12 Doces	30	-	30	-	-
13 Massa pastel folhado	60	60	-	-	-
14 Massa pastel frito	50	15	35	-	-
15 Atendimento balcão	540	40	120	150	230
16 Limpeza	45	-	5	10	30
17 Caixa	540	350	-	-	190
18 Recebimento de mercadorias	20	20	-	-	-
Tempo total em minutos		637	455	438	450

Fonte: Os autores.

Somando-se o tempo de atividades do Funcionário A, observa-se que o resultado ultrapassa sua carga horária, o que evidencia a sobrecarga de trabalho atribuída a este funcionário, uma vez que ele, atualmente, realiza mais de uma atividade ao mesmo tempo. No entanto, os Funcionários B, C e D têm um tempo ocioso (sem realizar atividades) de 85, 15 e 3 minutos respectivamente. Com isto, verifica-se que, enquanto o Funcionário A está sobrecarregado e o D tem pouco tempo ocioso, o B soma um total de 85 minutos sem realização de atividades. Isto causa desgaste não só físico, mas também psicológico do indivíduo sobrecarregado, fazendo com que seu rendimento decaia com o tempo. Do ponto de vista do problema de otimização formulado, tal situação caracteriza uma solução infactível.

Após a análise do problema já descrito, feita por meio do Lingo, foram obtidos os resultados, que estão descritos na Tabela 4, a seguir.

Tabela 4: Resultados obtidos para cronograma otimizado da panificadora

Atividades	Duração (min)	Func. A	Func. B	Func. C	Func. D
1 Pão francês	135	105	30	-	-
2 Pão sovado	70	30	-	40	-
3 Pão centeio	40	20	20	-	-
4 Pão fatiado	35	15	20	-	-
5 Pão caseiro	35	20	15	-	-
6 Cuca	50	25	25	-	-
7 Bolachas	60	30	30	-	-
8 Pastéis fritos	50	50	-	-	-
9 Pastéis folhados	10	10	-	-	-
10 Sonho	20	-	20	-	-
11 <i>Grostoli</i>	180	52	128	-	-
12 Doces	30	-	30	-	-
13 Massa pastel folhado	60	60	-	-	-
14 Massa pastel frito	50	-	50	-	-
15 Atendimento balcão	540	-	172	368	-
16 Limpeza	45	-	-	45	-
17 Caixa	540	87	-	-	453
18 Recebimento de mercadorias	20	20	-	-	-
Tempo total em minutos		524	540	453	453

Fonte: Os autores.

Com a redistribuição das atividades, nota-se uma melhora considerável no cronograma da panificadora, pois o Funcionário A não está mais sobrecarregado como acontecia, e ainda tem um tempo ocioso de 16 minutos. Além disso, os demais têm seu tempo ocupado integralmente na realização das atividades. Assim, nenhum funcionário desta empresa fica com sobrecarga de trabalho.

No que tange a distribuição das tarefas, observa-se que foram atendidas todas as restrições impostas ao problema, em que algumas atividades devem ser realizadas por mais de uma pessoa, e também atividades que requerem habilidades específicas.

Em uma observação mais atenta dos resultados obtidos, a partir da otimização, constata-se que algumas atividades que antes eram desempenhadas por diversos funcionários, em regime de revezamento, passaram a ficar concentradas em um número menor de agentes. Assim, a limpeza caberá a um único funcionário, e não mais a três, conforme o planejamento original. De forma análoga, o atendimento no balcão, antes realizado por todos, torna-se atividade de apenas dois funcionários. Entretanto, o Funcionário D passará a desempenhar apenas o atendimento no caixa, não mais dividindo sua atenção em três atividades distintas.

8 Considerações finais

Verifica-se que os Problemas de Alocação de Equipes e de Escalonamento de Tarefas são difíceis de ser resolvidos em sua otimalidade, devido às várias alternativas a ponderar e às várias restrições a respeitar, bem como a existência de vasta quantidade de soluções possíveis. Diante disso, sugere-se que o uso de técnicas de otimização se faz útil e necessário à resolução do problema de alocação de equipes e desenvolvimento de cronogramas, tornando-se, assim, as mencionadas técnicas em ferramentas valiosas.

Após feita a revisão bibliográfica sobre o problema proposto, bem como sua modelagem e resolução em *software* de otimização, notou-se a falta de material sobre alocação de equipes e desenvolvimento de cronogramas relacionados especificamente a panificadoras. Identificou-se também que, para esse tipo de indústria, a técnica de otimização mais utilizada é a de reestruturação do arranjo físico.

A formulação da distribuição das atividades como um problema de otimização propiciou um melhor aproveitamento dos recursos humanos da padaria. Desse modo, evita-se o desgaste físico

e psicológico dos funcionários sobrecarregados, motivando-os a permanecerem na empresa e aumentando seu rendimento no trabalho. Além disso, como resultado da otimização, evidenciou-se uma atribuição de menor número de tarefas distintas a cada funcionário, e, em alguns casos, um único funcionário ficou responsável por determinada atividade. A atribuição clara de tarefas individuais facilita a avaliação de desempenho do executante e gera, conseqüentemente, um ganho de produtividade.

Apesar de aplicada a um número reduzido de funcionários, a mesma metodologia pode ser facilmente expandida, bem como empregada na resolução de problemas em empresas de outro ramo de atividade. Para isso, basta adequar as variáveis e restrições do problema para outro tipo de atividade e número de recursos humanos. Uma vez que o problema foi formulado a partir de objetivo e de restrições, descritos por funções lineares, sua resolução pode ser efetuada por meio de método consagrado, propiciando a obtenção da melhor de todas as possíveis soluções (ótimo global), e em um tempo computacional bastante reduzido.

Por fim, cabe destacar que a ferramenta empregada é de fácil utilização, sendo a formulação escrita de maneira clara em arquivo a ser executado com um único comando. Assim, em caso de alteração na demanda por determinado produto, ou ainda na alteração da situação funcional de algum empregado, uma nova solução pode ser imediatamente gerada pelo próprio gestor da panificadora, de modo a adequar as tarefas à nova situação.

Referências

ALBA, E.; CHICANO, F. Software project management with GAs. *Information Sciences*, v. 177, n. 2007, p. 2380-2401, 2007.

ANTONIOL, G.; PENTA, M. D.; HARMAN, M. Search-based techniques applied to optimization of project planning for a massive maintenance project. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE MAINTENANCE, 21^{st.}, 2005, Budapest. *Proceedings...* Budapest, Hungary: IEEE, 2005.

ARCE, P. E. B. Modelo de otimização linear para definição da equipe de trabalho de abrigos municipais da assistência social de Campinas. In: CONGRESSO NACIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA À INDÚSTRIA, 2014, Caldas Novas, Goiás. *Anais...* Caldas Novas, Goiás: CNMAI, 2014.

BICALHO JÚNIOR, F. L. et al. Estudo do arranjo físico de uma panificadora. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP, 28., 2008, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: Abepro, 2008.

COLARES, F. *Alocação de equipes e desenvolvimento de cronogramas em projetos de software utilizando otimização*. 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação)–Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2010.

HECKER, F. T. et al. Application of a modified GA, ACO and a random search procedure to solve the production scheduling of a case study bakery. *Expert Systems with Applications*, v. 41, n. 13, p. 5882-5891, 2014.

HECKER, F. T. et al. A case study on using evolutionary algorithms to optimize bakery production planning. *Expert Systems with Applications*, v. 40, n. 17, p. 6837-6847, 2013.

LÉLLIS, J. A. et al. Os impactos no arranjo físico para o processo do pão francês em uma padaria de João Pessoa – PB. In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO (CONNEPI), 8., 2012, Palmas, Tocantins. *Anais...* Palmas: Connepi, 2012.

PENTA, M. D.; HARMAN, M.; ANTONIOL, G. The use of search-based optimization techniques to schedule and staff software projects: an approach and an empirical study. *Software - Practice and Experience*, v. 41, p. 495-519, 2011.

ROCHA, I. M. *Uma abordagem otimizada para o problema de alocação de equipes e escalonamento de tarefas para a obtenção de cronogramas eficientes*. 2011. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação)–Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia. Fortaleza, Ceará, 2011.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da produção*. São Paulo: Atlas, 2002.

Recebido em 17 jul. 2015 / aprovado em 23 nov. 2015

Para referenciar este texto

TRICHES, J.; KRIPKA, M.; BOSCARDIN, I. Otimização aplicada ao problema de alocação de equipes em uma panificadora. *Exacta – EP*, São Paulo, v. 13, n. 3, p. 377-388, 2015.