

Interdisciplinaridades entre Pesquisa Operacional e Ciência da Computação

Bruno Felipe da Silva Rodrigues¹, João Paulo de Oliveira Santos¹, Stella Jacyszyn Bachega¹

¹Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Federal de Goiás – Campus Catalão (UFG/CAC)

Av. Dr. Lamarthine Pinto de Avelar, 1120 – 75.704-020 – Catalão – GO – Brasil

brunofelipesr@hotmail.com, jotape_santos@hotmail.com.br, stella.bachega@catalao.ufg.br

Abstract. *Operations Research (OR) is an area of expertise that has large interdisciplinarity with various sciences. The aim of this paper is to demonstrate the interdisciplinarity among OR techniques and various segments of Computer Science. For this, we used the procedure of theoretical and conceptual research. The following OR techniques were analyzed: linear programming, nonlinear programming, dynamic programming, queuing theory, simulation, heuristics and stochastic methods. We verified applications of these techniques in computer networks, cryptography, computer vision, artificial intelligence, information systems, operating systems, algorithm development and software engineering.*

Resumo. *A Pesquisa Operacional (PO) é uma área do conhecimento que possui grande interdisciplinaridade com diversas ciências. Esse artigo possui o objetivo de evidenciar interdisciplinaridades das técnicas de PO em trabalhos desenvolvidos em diversos segmentos da Ciência da Computação. Para tanto, utilizou-se o procedimento de pesquisa teórico-conceitual. As técnicas de PO analisadas foram: programação linear, programação não linear, programação dinâmica, teoria das filas, simulação, heurísticas e métodos estocásticos. Verificaram-se aplicações dessas técnicas em redes de computadores, criptografia, visão computacional, inteligência artificial, sistemas de informação, sistemas operacionais, desenvolvimento de algoritmos e engenharia de software.*

1. Introdução

A Pesquisa Operacional (PO) é um termo que surgiu durante a Segunda Guerra Mundial, utilizado para designar o desenvolvimento de métodos científicos relacionados à utilização mais eficaz dos recursos e à resolução de problemas militares, como alocação de navios, tipo de avião a utilizar em determinado ataque, dimensionamento de comboios, entre outros (ARENALES et al,2007).

Após o notável sucesso das aplicações de PO na resolução de problemas militares, diversas áreas do conhecimento iniciaram a sua inserção nos ambientes acadêmicos e empresariais (ANDRADE, 2004). A partir do desenvolvimento de estudos e aplicações de métodos nesses novos cenários, começaram a surgir conceitos de diversas técnicas dessa área, como programação linear, programação não linear, teoria das filas, simulação computacional, entre outros, que viriam a ser técnicas importantes e

utilizadas na tomada de decisões para a resolução de problemas. Dentre as áreas de aplicação da PO está a Ciência da Computação.

Visto a enorme abrangência da Pesquisa Operacional, esta pesquisa se faz necessária para esclarecer não apenas aos estudantes de graduação, como a toda a comunidade acadêmica, sobre as principais definições e características da área e suas possíveis interdisciplinaridades. Portanto, o objetivo desse artigo é evidenciar interdisciplinaridades das técnicas de PO em trabalhos desenvolvidos em diversos segmentos da Ciência da Computação, apontando assim possíveis vínculos entre essas áreas.

Para cumprir esse objetivo, o presente artigo é estruturado da seguinte forma: na segunda seção são apresentadas brevemente as principais técnicas de pesquisa operacional; na terceira seção há a metodologia de pesquisa; na quarta seção têm-se as interdisciplinaridades observadas entre PO e Ciências da Computação; e na quinta seção há as considerações finais.

2. Técnicas de Pesquisa Operacional

A seguir são expostas brevemente as principais técnicas de PO, a saber:

Programação linear

A Programação Linear (PL) soluciona problemas que dizem respeito, principalmente, a alocação ótima de recursos escassos para realização de atividades (COLIN, 2007).

Os estudos de programação linear se utilizam de modelos matemáticos na resolução de problemas. Os modelos de otimização linear têm a característica de que todas as funções-objetivo e as restrições impostas pelos problemas são representadas por funções lineares. Entretanto, essas não são as únicas particularidades da técnica. Conforme Colin (2007, p. 07), há quatro características fundamentais para os problemas de programação linear: proporcionalidade, aditividade, divisibilidade e certeza.

Programação não linear

De acordo com Lachtermacher (2004, p. 292), a Programação Não Linear (PNL) trata de “problemas de otimização em que a função-objetivo e/ou pelo menos uma das restrições envolvidas não são funções lineares das variáveis de decisão”.

Assim, a PNL é mais complexa do que a PL devido a não-linearidade que engloba um universo infinito de funções de distintas formas. Hillier e Lieberman (2006) exemplificam alguns tipos de problemas de PNL, a saber: otimização irrestrita, otimização linearmente restrita, programação quadrática, programação convexa, programação separável, programação não-convexa, programação geométrica, programação fracionária e problema da complementaridade.

Programação dinâmica

A Programação Dinâmica (PD) é uma técnica de programação considerada extremamente útil e versátil, pois pode ser utilizada na resolução de diversos tipos de problemas, tais como: lineares ou não lineares, determinísticos ou estocásticos, com horizonte finito ou infinito (COLIN, 2007).

Segundo Hillier e Lieberman (2006, p. 424), a PD “[...] é uma técnica matemática útil para criar uma sequência de decisões inter-relacionadas”. Portanto, pode ser considerada uma técnica de decomposição que utiliza recursividade na resolução dos problemas, onde o problema principal é dividido em subproblemas. Os problemas menores são otimizados e suas resoluções são guardadas para, posteriormente, serem combinadas na resolução do problema principal. Tal abordagem pode ser descrita como uma técnica de *bottom-up*.

Teoria das filas

Arenales *et al.* (2007, p. 433) define a Teoria das Filas como: “um ramo da Pesquisa Operacional que estuda as relações entre as demandas em um sistema e os atrasos sofridos pelos usuários deste sistema”. O autor enfatiza que as filas são formadas quando a capacidade do sistema de fornecer o serviço, dentro de um determinado tempo, é menor do que a demanda.

A análise de sistemas de filas busca quantificar o fenômeno de espera em filas, ou seja, determinam-se medidas de desempenho da espera em filas, como tempo médio de espera para receber um serviço, produtividade da instalação de um serviço, ou o tamanho médio de uma fila (TAHA, 2010).

Simulação

Simulação é um processo de experimentação com um modelo detalhado de um sistema real para determinar como o sistema responderá a mudanças em sua estrutura, ambiente ou condições de contorno (HARREL *et al.*, 2002). Os diversos usos dessa técnica podem ser agrupados em três grandes categorias (BUFFA; SARIN, 1987): i) projeto, ii) diagnóstico, e iii) treinamento.

A simulação pode ser realizada com auxílio de computadores. Conforme Law e Kelton (2000), a simulação computacional é constituída por técnicas que usam computadores para “imitar” ou simular diversos tipos de operações ou processos do mundo real.

Heurísticas

Heurísticas são conjuntos de técnicas e algoritmos computacionais para a resolução de problemas que, segundo Hillier e Lieberman (2006, p. 599), provavelmente encontrarão soluções viáveis, mas não necessariamente uma solução ótima, para dado problema.

As Heurísticas surgiram em resposta à natureza complexa dos problemas de otimização com programas lineares, não lineares e inteiros. Utilizando esforço computacional, as heurísticas garantem a viabilidade ou a otimalidade da solução encontrada (REHFELDT, 2001).

Processos estocásticos

De acordo com Hillier e Lieberman (2006, p. 713), “um processo estocástico é uma coleção de variáveis aleatórias indexadas (X_t), onde t é um índice definido num conjunto T .” Assim, um processo estocástico é a descrição de um fenômeno aleatório que varia com o tempo. Possuem importância em diversas áreas do conhecimento, pois descrevem o comportamento de um sistema que opera ao longo de algum período.

Arenales *et al.* (2007, p. 407) advogam que os processos estocásticos têm sido aplicados em diversas áreas onde alguns dados não são conhecidos com certeza, como em confiabilidade de sistemas, manutenção de máquinas etc.

3. Metodologia da Pesquisa

A pesquisa teórico-conceitual pode ser considerada como uma pesquisa bibliográfica que, na visão de Silva e Silva (2004), possui o intento de explicar um problema a partir de referências teóricas publicadas em documentos, podendo ser efetuada como parte da pesquisa descritiva ou experimental ou, ainda, de forma independente.

De acordo com Berto e Nakano (1998; 2000), esse tipo de pesquisa é fruto de uma série de reflexões fundamentadas em um fato observado ou exposto pela literatura, reunião de opiniões e ideias de diversos autores ou mesmo pela simulação e modelagem teórica. Conforme esses autores, as discussões conceituais baseadas na literatura e revisões bibliográficas são classificadas como pesquisas teórico-conceituais. Neste trabalho foi realizada a pesquisa teórico-conceitual, ou bibliográfica, com o intuito de pré-orientação teórica.

Para tal revisão, foram consultadas bases de dados, sites de busca, bancos de teses e dissertações de universidades nacionais, e anais dos eventos. Dentre eles estão: Periódicos CAPES, SciELO, Google Scholar, Bancos de teses da USP, UFSCar, UNICAMP e UFSC, Anais do ENEGEP, SBPO e SEGET. Dentre as palavras-chave utilizadas estão os nomes completos das técnicas de pesquisa operacional, suas siglas, áreas de ciência da computação, e suas combinações.

Ressalta-se que, no presente momento, a pesquisa bibliográfica não é considerada exaustiva e que será ampliada no decorrer da pesquisa. Portanto, os resultados aqui apresentados mostram algumas das possíveis aplicações de técnicas de PO em algumas áreas da Ciência da Computação. Ainda, as técnicas de PO apresentadas nesse artigo foram selecionadas por serem técnicas mais divulgadas nas referências base da área.

4. Interdisciplinaridades Observadas

Nessa seção há a apresentação de interdisciplinaridades notadas entre técnicas de pesquisa operacional e áreas da ciência da computação.

4.1. Programação linear

A PL tem grande interdisciplinaridade com várias áreas do conhecimento, ela pode ser usada na computação para determinar, por exemplo, o número máximo de processos que uma máquina pode realizar, submetido a restrições de capacidades e de tempo (COLIN, 2007).

Longo (2004) explorou técnicas mais recentes de programação linear inteira em aplicações de problemas de roteamento de veículos, preocupando-se com algoritmos que tenham tempos computacionais mais aceitáveis para encontrar a solução ótima para instâncias de porte razoável.

Algoritmos de PL que preservem a privacidade para utilização em computação segura multiparte foi o foco do trabalho de Deitos (2009), o qual aplicou em problemas de otimização da cadeia logística.

Mapa e Lima (2012) usaram de forma combinada sistemas de informações geográficas para transporte (SIG-T) com programação linear inteira mista na resolução de problemas de localização de instalações.

Portanto, puderam-se notar aplicações de PL nas áreas de criptografia computacional e sistemas de informação.

4.2. Programação não linear

Dentre os usos de PNL está o de Facó e Oliveira (2002; 2003). Esses autores aplicaram computação paralela para resolução numérica de problemas de PNL com restrições. Para realização do trabalho, utilizaram o método do Gradiente Reduzido Generalizado (GRG) e o código computacional LSGRG2.

Vasconcelos (2007) desenvolveu uma metodologia para avaliação e controle de segurança de sistemas elétricos interligados com base em métodos de aprendizagem automática. No decorrer da pesquisa foi utilizado um problema de otimização que inclui ANN (*Artificial Neural Networks* – Redes Neurais Artificiais) como restrição funcional, o que caracterizando um modelo de PNL.

Assim, nessa subseção foram observados usos de PNL em redes de computadores e inteligência artificial.

4.3. Programação dinâmica

Uma aplicação direta da PD na computação é o desenvolvimento de algoritmos *cache-oblivious* para problemas que utilizam programação dinâmica. Como explicitado em Rodrigues (2008), a PD divide seus problemas em problemas menores e necessita de boa memória para guardar as soluções desses subproblemas, o algoritmo *cache-oblivious* se mostrou eficiente no uso da memória *cache*.

Outro trabalho foi a análise e implementação do algoritmo de PD de Nussinov-Jacobson para otimização das diversas características da estrutura secundária do RNA (ou Ácido Ribonucleico), descrito em Rockenbach (2009). Logo, foram identificadas aplicações de PD nas áreas de sistemas operacionais e desenvolvimento de algoritmos.

4.4. Simulação

A simulação é uma ferramenta eficaz e flexível para a modelagem de sistemas. Uma aplicação dessa técnica de PO foi feita por Carvalho (2005) para estudo de melhoria do desempenho de redes de computadores.

Oliveira e Silva (2007) desenvolveram uma pesquisa para construção de um sistema que utiliza simulação e interface gráfica para representar o conceito de máquina de Turing. A interface, construída em Java, foi baseada em técnicas de programação de jogos e possuiu a finalidade principal de auxiliar o processo de ensino-aprendizagem em disciplinas como Teoria da Computação.

Portanto, foram identificadas aplicações de simulação em redes de computadores e desenvolvimento de algoritmos.

4.5. Teoria das filas

Na Ciência da Computação a maioria das aplicações dessa ferramenta da Pesquisa Operacional são processos de algoritmos computacionais esperando para utilizar uma CPU ou um servidor, formando filas que podem ser estudadas pela teoria.

A teoria das filas pode ser utilizada para analisar o desempenho de sistemas de atendimento. Carrión (2007) desenvolveu um estudo em um servidor utilizando essa técnica de PO. Em tal pesquisa, houve a otimização do congestionamento no servidor causado pela enorme quantidade de mensagens que chegam ao mesmo tempo. Entretanto, devido à complexidade em descrever o comportamento do tráfego digital, caracterizado pela distribuição exponencial, diferentes modelos de filas e métodos matemáticos avançados, como distribuições em cauda longa e a transformada de Laplace, foram desenvolvidos para tentar solucionar o problema. Assim sendo, identificou-se um uso de teoria das filas em redes de computadores.

4.6. Heurísticas

As heurísticas são utilizadas quando o tempo requisitado para encontrar a solução de um problema é menor se comparado ao enorme tempo gasto por algumas das técnicas de solução, como a programação dinâmica e os algoritmos *branch-and-bound* e *branch-and-cut*. Assim, os esforços na área de Ciências de Computação estão na elaboração de algoritmos que resolvam, cada vez melhor, problemas complexos, com uso dessa técnica de PO. Exemplos de métodos heurísticos podem ser encontrados em Prestes (2006) para solucionar o Problema do Caixeiro Viajante – PCV. No estudo, diversas abordagens heurísticas, como a Busca Tabu, o Simulated Annealing (SA) e o Greedy Randomized Adaptive Search Procedures (GRASP), são utilizadas para criar algoritmos mais eficientes para solucionar o PCV.

Outros exemplos de aplicações de algoritmos desenvolvidos por meio de heurísticas também podem ser encontrados em: Rehfeldt (2001) e Toffolo *et al.* (2006) utilizaram heurísticas para desenvolverem algoritmos que otimizassem o escalonamento de tarefas, o primeiro de tripulações aéreas enquanto que o segundo na indústria de calçados; e Pileggi *et al.* (2007) utilizaram heurísticas para gerar um algoritmo que abordasse o sequenciamento de padrões de cortes bidimensionais na indústria automobilística.

Logo, foram verificados usos de heurísticas nas áreas de sistemas de informação e desenvolvimento de algoritmos.

4.7. Métodos estocásticos

Domenech e De Biasi (2012) descreveram a arquitetura geral de um sistema e as características principais de um protótipo de ferramenta de software destinada a auxiliar estudantes durante o processo de ensino-aprendizagem de determinados métodos estocásticos como Cadeias de Markov.

Fernandes (2010) aplicou a Estereoscopia (visão estéreo), que é um processo em Visão Computacional 3-D juntamente com métodos estocásticos. Foi utilizada a abordagem estocástica para o processo de combinação de imagens, detalhando três algoritmos de otimização aplicada à correspondência estérea.

Assim, notou-se aplicação de métodos estocásticos em engenharia de software e visão computacional.

5. Considerações finais

O objetivo almejado nesse artigo foi alcançado. Por meio de uma pesquisa teórico-conceitual, evidenciaram-se possíveis interdisciplinaridades entre técnicas de pesquisa operacional com aplicações em diversos segmentos da Ciência da Computação.

Dentre os vínculos das técnicas de PO analisadas com áreas da ciência da computação estão: redes de computadores (aplicações de programação não linear, simulação e teoria das filas), criptografia computacional (aplicação de programação linear), engenharia de software (aplicação de métodos estocásticos), visão computacional (aplicação de métodos estocásticos), inteligência artificial (aplicação de programação não linear), sistemas de informação (aplicações de programação linear e heurísticas), sistemas operacionais (aplicação de programação dinâmica), desenvolvimento de algoritmos (aplicação de programação dinâmica, simulação e heurísticas).

O presente trabalho contribui ao propiciar maior oportunidade para que estudantes de ciência da computação possam focar sua formação acadêmica nas bases da Pesquisa Operacional, desenvolvendo, assim, novas pesquisas e projetos interdisciplinares. Salienta-se que o presente trabalho faz parte de uma pesquisa que visa aplicar técnicas de pesquisa operacional em determinadas áreas da Ciência da Computação.

Referências

- Andrade, E. L. (2004) “Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e Modelos para Análise de Decisões”, LTC, 3ª edição.
- Arenales, M.; Armentano, V.; Morabito, R.; Yanasse, H. H. (2007) “Pesquisa Operacional para cursos de engenharia”, Campos.
- Berto, R. M. V. S.; Nakano, D. N. (1998). Metodologia da pesquisa e a engenharia de produção. In: *XVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP) e IV International Congress of Industrial Engineering (ICIE)*, 1998, UFF/ABEPRO, out.
- Berto, R. M. V. S.; Nakano, D. N. (2000). A produção científica nos anais do encontro nacional de engenharia de produção: um levantamento dos métodos e tipos de pesquisa. In: *Produção*, v. 9, nº 2, p. 65-75, jul.
- Bornatto, G. (2002). Modelagem - Simulação - Informática e a Matemática. In: *Rev. PEC*, Curitiba, v.2, n.1, p.67-71, jul. 2001-jul. 2002
- Buffa, E. S.; Sarin, R. K. (1987) “Modern Production/Operations Management”, John Wiley & Sons, 8ª ed.
- Carrión, E. A. (2007) “Teoria das Filas Como Ferramenta para Análise de Desempenho de Sistemas de Atendimento: Estudo de Caso de um Servidor da UECE”, CCT/UECE/CEFET.
- Carvalho, E. M. (2005). “Modelagem e Simulação de Desempenho de Redes de Computadores”, DC/UEL.
- Colin, E. C. (2007) “Pesquisa Operacional: 170 aplicações em Estratégia, Finanças, Logística, Produção, Marketing e Vendas”, LTC.
- Deitos, R. J. (2009). “Algoritmos de Programação Linear com Atributos de Privacidade para o uso em Computação Segura Multi-Parte”, UFSC.
- Domenech, M.; De Biasi, H. (2012). Ferramenta de Software para o Auxílio ao Processo de Ensino-Aprendizagem de Métodos Estocásticos. In: *UNOESC & Ciência*, v. 3, nº 1, p. 37-46, jan./jun.

- Faco, J. L. D.; Oliveira, L. A. A. (2003). Aplicação de Computação paralela à resolução numérica de problemas de programação não linear com restrições. In: *XXXV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 2003, SBPO.
- Fernandes, J. L. (2010). Aplicação de Algoritmos de Otimização Estocástica à Correspondência entre Imagens em Visão Estéreo. In: *9th Brazilian Conference on Dynamics, Control and their Applications* June 07-11, 2010.
- Harrel, C. R.; Mott, J. R. A.; Bateman, R. E.; Bowden, R. G.; Gogg, T. J. (2002) “Simulação: otimizando os sistemas”, Belge Simulação e IMAM, 2^a ed.
- Hillier, F. S.; Lieberman, G. J. (2006) “Introdução à Pesquisa Operacional”, McGraw Hill, 8^a edição.
- Law, A. M.; Kelton, W. D. (2000) “Simulation Modeling & Analysis. McGraw- Hill, 3rd edition.
- Longo, H. J. (2004) “Técnicas para programação inteira e aplicações em problemas de roteamento de veículos”, PUC-RJ.
- Mapa, S. M. S.; Lima, R. S. (2012). Uso combinado de sistemas de informações geográficas para transportes e programação linear inteira mista em problemas de localização de instalações. In: *Gest. Prod.*, v.19, n.1, p. 119-136.
- Morais, M. L.; Santos, S. A. (2011). Análise Comparativa para o Problema de Localização-Alocação: Modelo Não Linear Geral Versus Modelo das P-Medianas com Variáveis Inteiras: Um Estudo de Caso, IMECC/UNICAMP.
- Oliveira, G. P.; Silva, M. A. S. (2007). Construção de Simuladores Gráficos para Teoria da Computação: Uma Proposta para o Ensino do Conceito de Máquinas de Turing. In: *IV Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia (SEGET)*, 2007, AEDB.
- Pileggi, G. C. F.; Morabito, R.; Arenales, M. N. (2007). Heurísticas Para os Problemas de Geração e Sequenciamento de Padrões de Corte Bidimensionais. In: *Pesquisa Operacional*, v. 27, n° 3, p. 549-568, set.
- Prestes, A. N. (2006) “Uma Análise Experimental de Abordagens Heurísticas Aplicadas ao Problema do Caixeiro Viajante”, PPGSC/UFRGN.
- Rehfeldt, M. J. H. (2001) “Uma Heurística Aplicada a um Problema de Escalonamento na Indústria Calçadista”, PPGA/UFRGS.
- Rockenbach, R. (2009) “Programação Dinâmica Aplicada a Problemas de RNA-Folding”, CCET/UNIOESTE
- Rodrigues, F. C. (2008) “Programação Dinâmica Eficiente com Algoritmos Cache-Oblivious”, IICC/UFRGS.
- Silva, H. H. R.; Silva, M. L. A. (2004) “Metodologia da pesquisa”, Salesiano.
- Taha, H. A. (2010) “Pesquisa Operacional”, Pearson, 8^a edição.
- Tofollo, T. A. M.; Souza, M. J. F.; Pontes, R. C. V.; Silva, G. P. (2006). Heurística de Recobrimento Aplicada à Escala de Tripulações Aéreas. In: *XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO)*, 2006, UCG/SOBRAPO, set.
- Vasconcelos, M. H. O. P. (2007) “Avaliação e Controlo de Segurança de Redes Interligadas com Grande Penetração Eólica com base em Métodos de Aprendizagem Automática”, Universidade do Porto/FEUP.