



Aplicações da Pesquisa Operacional

Alisson Leigus¹ (DEP/GEPPGO/FECILCAM) alisson.leigus@gmail.com

Amanda Trojan Fenerich² (DEP/GEPPGO/FECILCAM) amanda.fenerich@gmail.com

Márcia de Fátima Morais³ (DEP/GEPPGO/FECILCAM) marciafmorais@yahoo.com.br

Resumo: Enquadrada em uma das dez grandes áreas da Engenharia de Produção, a Pesquisa Operacional (PO), de acordo ABEPRO (2009), é definida como a área responsável pela solução de problemas reais, recorrendo a situações de tomadas de decisão, através de modelos matemáticos. A PO é uma ciência aplicada voltada para a resolução de problemas reais que busca aplicar conhecimentos de outras disciplinas como matemática, estatística, computação para aprimorar a racionalidade nos processos de tomadas de decisões. Algumas das técnicas mais conhecidas e utilizadas de PO são: Programação Linear, Simulação, Teoria da Filas, Análise de Decisão e Scheduling. Tais técnicas permitem a resolução de diversos problemas, dos quais destacam-se: alocação de recursos, localização e distribuição da produção, estoque, substituição e reposição de equipamentos, sequenciamento e coordenação de tarefas, determinação de caminhos em rede, roteamento de veículos, etc., e são aplicadas nos mais diversos setores da economia. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo discutir os principais aspectos teóricos relacionados com a PO, bem como apresentar as técnicas de PO mais utilizadas e suas principais aplicações. A pesquisa aqui relatada classifica-se, quanto aos fins, como descritiva e explicativa e, quanto aos meios, como bibliográfica. O método de abordagem é o qualitativo.

Palavras-chave: Pesquisa Operacional; Tomada de Decisões; Técnicas; Aplicações.

1. Introdução

A Engenharia de Produção é a área da Engenharia que se ocupa com os problemas das operações produtivas, sendo sua ênfase a produção de bens e serviços. Lidar com a diversidade de operações existentes constitui um dos grandes desafios para a Engenharia de Produção.

Na concepção do *American Institute of Industrial Engineers*, segundo ABEPRO (2009), a Engenharia de Produção é a Engenharia responsável projeto, a implantação, a operação, a melhoria e manutenção de sistemas produtivos de bens e serviços, caracterizados pela integração entre homens, materiais, tecnologia, informação e energia, para o incremento

¹ Graduando em Engenharia de Produção Agroindustrial pela Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão. Acadêmico participante do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica da FECILCAM (PIBIC-FECILCAM), com bolsa financiada pela Fundação Araucária. Pesquisador do Grupo de Estudos e Pesquisa em Processos e Gestão de Operações (GEPPGO). Áreas de atuação: Gestão da Produção, e; Gestão do Produto.

² Graduanda em Engenharia de Produção Agroindustrial pela Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão. Acadêmica participante do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica da FECILCAM (PIBIC-FECILCAM), com bolsa financiada pela Fundação Araucária. Pesquisadora do Grupo de Estudos e Pesquisa em Processos e Gestão de Operações (GEPPGO). Áreas de atuação: Gestão da Produção, e; Gestão do Produto.

³ Graduada em Engenharia de Produção Agroindustrial pela Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade de São Paulo – EESC/USP. Professora Assistente do Departamento de Engenharia de Produção Agroindustrial da Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão. Pesquisadora do Grupo de Estudos e Pesquisa em Processos e Gestão de Operações (GEPPGO). Áreas de atuação: Pesquisa Operacional; PPCP; Programação da Produção; Logística, e; Educação em Engenharia de Produção.



da produtividade e da qualidade, bem como pela especificação, prevenção e avaliação dos resultados obtidos destes sistemas para a sociedade e o meio ambiente.

Como área de conhecimento a Engenharia de Produção, fundamenta-se nos conhecimentos especializados da matemática, física, ciências humanas e sociais, conjuntamente com os princípios e métodos de análise e projeto da engenharia e da computação (ABEPRO), constituindo o elo entre a tecnologia propriamente dita e a administração de organizações produtivas (OLIVEIRA NETTO & TAVARES, 2006).

A ABEPRO (2009) enquadra a Pesquisa Operacional em uma das dez Áreas da Engenharia de Produção, definindo-a como a área responsável pela solução de problemas reais, recorrendo a situações de tomadas de decisão, através de modelos matemáticos. Busca aplicar conhecimentos de outras disciplinas como matemática, estatística, computação para aprimorar a racionalidade nos processos de tomadas de decisões, sem descuidar das variáveis que caracterizam os problemas.

Esta grande área, ainda de acordo com a ABEPRO (2009) encontra-se dividida em sub-áreas de conhecimento, que são: modelagem, simulação e otimização; programação matemática; processos decisórios; processos estocásticos; teoria dos jogos; análise de demanda e inteligência computacional

De acordo com a SOBRAPO (2009) a Pesquisa Operacional é uma ciência aplicada voltada para a resolução de problemas reais e tem como foco a tomada de decisões. Para isto, aplicam-se conceitos e métodos de outras áreas científicas, tais como economia, matemática, estatística e informática.

A utilização das técnicas de Pesquisa Operacional justifica-se pela necessidade de evidenciar e tornar mais amplo os estudos feitos nesta área, já que a globalização trouxe consigo um ambiente competitivo, onde se tornam necessários a utilização de recursos que garantam a eficiência e viabilidade de investimento, e aplicações de métodos matemáticos que minimizem as incertezas nas decisões tomadas pelos administradores (SANTOS; SOUZA; MORAIS, 2008).

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo discutir os principais aspectos teóricos relacionados com a Pesquisa Operacional, bem como apresentar as técnicas de Pesquisa Operacional mais utilizadas e suas principais aplicações.

O trabalho relatado neste artigo classifica-se, quanto aos fins, como uma pesquisa descritiva e explicativa e, quanto aos meios, como bibliográfica. O método de abordagem adotado é o qualitativo, pois este visa apresentar e explicar a Pesquisa Operacional e suas principais técnicas, bem como apresentar a utilização das técnicas da Pesquisa Operacional na Engenharia de Produção.

O artigo encontra-se estruturado em 5 seções. A primeira, introduz e contextualiza o assunto, apresenta o trabalho e os procedimentos metodológicos utilizados. A segunda parte aborda a história da pesquisa operacional, tanto a origem quanto seus conceitos. A terceira seção apresenta algumas ferramentas para tomadas de decisões. A quarta seção do artigo aborda as diferentes formas de aplicações da pesquisa operacional e na quinta seção são apresentadas as considerações finais.

2. Pesquisa Operacional

2.1 Origem

Embora muitas referências mencionarem a Segunda Grande Guerra Mundial como sendo o momento histórico do surgimento da Pesquisa Operacional, “acredita-se que foi



durante a primeira revolução industrial que surgiram as situações que seriam tratadas no futuro por essa ferramenta de apoio à tomada de decisão” (COSTA In BATALHA, 1997,p.16).

Durante a Segunda Guerra Mundial, surgiu a denominação de Pesquisa Operacional (do inglês *Operational Research*), que se desenvolveu a partir do trabalho conjunto de cientistas de vários ramos do conhecimento, para resolver problemas de ordem tática e estratégica, tais como: dimensionamento de frotas, utilização dos radares e organização de baterias antiaéreas. E após a guerra, a Pesquisa Operacional encontrou grande espaço de atuação, tanto no processo de reconstrução das fábricas na Inglaterra, quanto na ampliação da indústria bélica norte-americana. (COSTA In BATALHA, 1997).

2.2 Definições e Conceitos

A Pesquisa Operacional é uma ciência que objetiva fornecer ferramentas quantitativas aos processos de tomada de decisão. Um estudo típico de Pesquisa Operacional agrega em sua teoria quatro ciências fundamentais: a economia, a matemática, a estatística e a computação. Um estudo de caso de Pesquisa Operacional completo corresponde à realização de experimentos numéricos com modelos lógico-matemáticos.

Andrade (2002, p.1) definiu a Pesquisa Operacional como um “ramo da ciência administrativa que fornece instrumentos para a análise de decisões” e ainda menciona uma característica importante desta ciência, que é a utilização de modelos, o que facilita no processo de análise de decisão, pois esta abordagem permite a experimentação.

A Pesquisa Operacional para Bronson (1985, p. 6) é tanto uma arte como uma ciência: “a arte reside na habilidade de exprimir os conceitos de eficiente e de escasso por meio de um modelo matemático bem definido para uma determinada situação; a ciência consiste na dedução de métodos computacionais para solucionar tais modelos”.

Já segundo a definição apresentada por Ackoff; Sasieni (1979 apud COSTA, 1997, p. 18) a “Pesquisa Operacional é a aplicação do método científico, por equipes multidisciplinares, a problemas que dizem respeito ao controle de sistemas organizados com a finalidade de obter as soluções que melhor satisfaçam aos objetivos da organização, como um todo”.

Em ambas as definições, pode-se notar a facilidade que as empresas encontram nos processos de tomada de decisão com a utilização métodos da Pesquisa Operacional, podendo uma decisão ser testada e avaliada antes que seja implantada, e o envolvimento desta ciência no que diz respeito à alocação eficiente de recursos, tendo em vista que tais recursos são geralmente escassos ou caros.

No que diz respeito ao seu caráter multidisciplinar, a SOBRAPO (2009) conceituou a Pesquisa Operacional como sendo “uma disciplina científica de características horizontais com suas contribuições estendendo-se por praticamente todos os domínios da atividade humana, da Engenharia à Medicina, passando pela Economia e a Gestão Empresarial”.

“A Engenharia de Produção possui uma grande área de atuação, denominada Gerência da Produção, que utiliza muito as técnicas de Pesquisa Operacional” (COSTA In BATALHA, 1997, p.17). Ainda segundo o autor, existem atualmente diversas associações que congregam pesquisadores e usuários de PO, dentre as quais a Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO).

3 Técnicas de Pesquisa Operacional

Como dito anteriormente, a Pesquisa Operacional (PO) é uma ciência para tomada de



decisões, buscando as soluções mais adequadas para a resolução dos problemas, por meio de diversas técnicas matemáticas. As diversas técnicas de Pesquisa Operacional disponíveis são aplicadas de acordo com a particularidade de cada caso. Algumas destas técnicas são: Programação Linear, Análise de decisão, Simulação, PERT/CPM, Teoria das filas e *Scheduling*.

3.1 Programação Linear

Esta seção trata sobre problemas de alocação de recursos em termos da programação linear. Segundo Costa (In Batalha, 1997, p.28) “os problemas de Programação Linear, em geral, estão associados ao uso ou alocação de recursos escassos (mão-de-obra, materiais, equipamentos, capital), buscando minimizar os custos envolvidos ou maximizar o retorno de capital”. Com o mesmo raciocínio, Andrade (2002, p.22) conclui que

“em geral os recursos disponíveis não são suficientes para que todas as atividades sejam executadas no nível mais elevado que se possa desejar. Assim sendo, o que se procura, nesses casos, é encontrar a melhor distribuição possível dos recursos entre as diversas tarefas ou atividades, de modo a atingir um valor ótimo do objetivo estabelecido”.

Ainda segundo Andrade (2002), a programação linear tornou-se uma importante ferramenta no estudo de gestão, tais como: “organização de transportes, determinação de política de estoques, estudos de fluxo de caixa e investimentos, estudos de sistemas de informação, além dos tradicionais problemas de produção e de mistura de componentes”.

Os problemas de alocação de recursos, que se caracterizam pela existência de um objetivo e de restrições à aplicação dos recursos, são geralmente resolvidos com a utilização do Método dos Pontos Interiores ou o Método Simplex, sendo que o último é mais tradicional e conhecido. (ANDRADE, 2002, p. 22; COSTA In BATALHA, 1997, p. 28)

Lisboa (2002, p. 15) explica que “o Método Simplex, desenvolvido por Dantzig em 1956, caminha pelos vértices da região viável até encontrar uma solução que não possua soluções vizinhas melhores que ela, tendo assim a solução ótima”. Em alguns casos a solução ótima não pode ser encontrada, devido à falta de solução viável para o problema ou então quando uma ou mais variáveis tendem ao infinito, fazendo com que as restrições continuem sendo satisfeitas, o que fornece um valor sem limites para a função objetivo.

3.2 Análise de Decisão

Muitas vezes as decisões são tomadas baseadas em alguma previsão, e definir a probabilidade de ocorrência de eventos futuros é uma tarefa bastante complicada. Esta seção aborda temas relacionados com os processos de análise de decisão.

De acordo com Bronson (1985, p. 212) “processo de decisão é aquele que requer único ou diversos conjuntos de decisões para sua composição. Cada decisão possível tem um ganho ou perda a ele associado, o qual é determinado por circunstâncias externas ao processo”.

Para Andrade (2002, p. 3) “uma decisão apresenta elevada qualidade quando, de modo eficaz e efetivo, garante o alcance dos objetivos preestabelecidos, para os quais os meios e os recursos foram reservados”. Ainda segundo o autor, o processo de tomada decisão é seqüencial, abrangendo aspectos quantitativos e qualitativos, exigindo muita criatividade e imaginação, sendo que atualmente o administrador conta com um vasto instrumental para auxiliá-lo.

Alguns critérios, tais como o minimax, otimista ou mediano, são usados, respectivamente, para relacionar a decisão que minimiza o máximo possível às perdas;



escolher a decisão que maximiza o possível ganho ou então para selecionar a decisão na qual a media dos ganhos máximo e mínimo seja maior possível. (BRONSON, 1985)

3.3 Simulação

Em um mundo com mudanças mais freqüentes e mais rápidas torna-se necessário o uso de ferramentas e metodologias que possam permitir aos gestores tomarem decisões com um nível adequado de confiabilidade. Quando há grande complexidade dos modelos há necessidade de utilizar-se de computadores, que otimizam o tempo da simulação e da construção do modelo matemático, neste contexto desenvolveu-se a simulação. (SANTOS; SOUZA; MORAIS, 2008)

Costa (In Batalha, 1997, p.34) definiu esta técnica como “o braço experimental da pesquisa operacional”. Com a simulação é possível desenvolver experimentos num modelo do sistema real, normalmente computacional, analisar o desempenho das alternativas propostas, manipular os valores dos parâmetros, comprimir o tempo e simular um grande intervalo de tempo em segundos. Estes procedimentos evitam gastos desnecessários, além de economizar tempo e viabilizar tratamentos em situações de alta complexidade.

Ou seja, a simulação é a reprodução do funcionamento de um sistema com o auxílio de um modelo, o que nos permite testar algumas hipóteses sobre o valor das variáveis controladas, sendo muito utilizada nos processos industriais, pois permite ensaios que poderiam comprometer a segurança das pessoas ou a preservação do meio ambiente.

Atualmente com o avanço da informática, é possível fazer simulações de processos no meio virtual no qual você pode identificar problemas e prevenir riscos. Nas indústrias os processos de produção, empregam diversas atividades, envolvendo prioritariamente, aspectos de prazo, transporte, qualidades, custos e segurança, estes estudos em geral são realizados no âmbito da logística, assim as soluções de otimização podem advir da utilização de recursos como os da simulação. (ARAUJO, 2009)

3.4 PERT/CPM

Esta seção apresenta as técnicas PERT e CPM, que são aplicados na programação da produção quando os produtos são únicos e não repetitivos, ou seja, em sistemas de produção unitários ou por projeto.

Conforme Rocha; Raggi; Santos (2005, p. 119) as técnicas denominadas *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) e *Critical Path Method* (CPM) foram “criadas para o desenvolvimento e controle de projetos, e podem ser utilizadas em vários setores como: Construção civil, Projetos de Engenharia, Pesquisa e Desenvolvimento de um Produto, Produção de Filmes e Construções de Navios”. Tais técnicas utilizam-se principalmente de grafos e alguns conceitos de redes.

Segundo Albernaza (2009) o método “CPM é usado basicamente para determinação do tempo total de projetos e também usado para determinar o máximo atraso de tempo de cada atividade de forma a não influir no tempo total do projeto”. Já o PERT, ainda segundo o autor, “é usado quando a duração das atividades ainda não é conhecida com exatidão, sendo usado para determinar a probabilidade de o projeto ser concluído em um dado período de tempo”. Ou seja, a programação das tarefas na técnica PERT consiste em determinar em que tempo uma tarefa deve começar e terminar.

3.5 Teoria das Filas

Um grande problema relacionado a hospitais, bancos, casas lotéricas e demais setores onde envolvam o grande acúmulo de pessoas ou de produtos são as filas (de pessoas ou de



produtos). E um dos temas que a pesquisa operacional aborda é a teoria das filas, que trata de problemas relacionados a congestionamento de sistemas, onde a característica principal é a presença de clientes solicitando serviços de alguma forma.

Um sistema de filas (conjunto de usuários, atendentes e ordem de atendimento) é um processo de nascimento-morte com uma população composta de usuários esperando para serem atendidos e sendo atendidos. Um nascimento ocorre quando um usuário chega ao estabelecimento de prestação de serviço, e a morte ocorre quando o mesmo deixa o estabelecimento. (BRONSON, 1985)

Segundo Araujo (2009) “[...] o sistema de filas é caracterizado por quatro componentes: processo de chegada, processo de atendimento, disciplina nas filas e capacidade do sistema”.

3.6 Scheduling

A Programação da Produção é conjunto de funções de tomada de decisão sobre alocação de recursos e seqüenciamento de tarefas no tempo, para que o Plano Mestre de Produção (PMP) seja atendido. Em outras palavras, visando determinar um programa de produção que atenda ao Planejamento Mestre da Produção, considerando a capacidade existente, as restrições técnicas de produção e o registro de controle de estoques, segundo Tubino (2000) e Correa *et al.* (2001), o Planejamento, Programação e Controle da Produção (PPCP) realizada a atividade de Programação da Produção.

A Programação da Produção consiste, segundo Correa *et al.* (2002), em decidir quais atividades produtivas (ou ordens/instruções de trabalho, ou seja, tarefas) detalhadas devem ser feitas, quando (momento de início ou prioridade) e com quais recursos para atender a demanda, informada através do Planejamento Mestre da Produção, formalizado no PMP.

Objetivando o desenvolvimento e aplicação de métodos, a teoria de *Scheduling* trata dos problemas de Programação da Produção. Esses métodos visam a “melhor programação dos trabalhos que competem por recursos comuns” (COSTA In BATALHA, 1997, p.16).

4 Aplicações da Pesquisa Operacional

Alguns trabalhos apresentados em reuniões da SOBRAPO citam áreas onde a Pesquisa Operacional foi aplicada com sucesso e onde se observa a grande variedade dessas aplicações, são elas: administração e gerencia; agropecuária; economia e planejamento econômico; educação e saúde; energia; engenharia; forças armadas; investimentos e finanças; localização, armazenamento e distribuição; planejamento e controle da produção; planejamento urbano e regional; recursos hídricos; siderurgia; telecomunicações; petróleo; transporte; logística e gestão ambiental. (ROCHA; RAGGI; SANTOS, 2005)

4.1 Agropecuária

Mesmo não sendo tão utilizada como nas áreas de transporte, energia, telecomunicações e finanças, a Pesquisa Operacional na agropecuária é aplicada nas unidades de produção agropecuária, nas agroindústrias e também no planejamento estratégico e desenvolvimento de políticas agropecuárias, usada também em planejamento da colheita, reforma de canaviais,

4.2 Transporte

O problema de roteamento clássico de veículos necessita de um conjunto de rotas de coleta e/ou entrega a partir de um depósito central para vários pontos de demanda, cada um tendo necessidades de serviços, com o objetivo de minimizar a distância total a ser percorrida pela frota inteira. O tratamento dado aos problemas de roteamento de veículos é bastante



diversificado, variando não apenas nos algoritmos utilizados, mas também no tipo de tratamento dado às particularidades próprias de cada problema.

Com o uso da pesquisa operacional aplicada a soluções dos transportes, os resultados são surpreendentes, como diminuição das rotas, ocorre o suprimento da demanda com o custo mínimo (ZAMBONI, 1997).

4.3 Planejamento e Controle da Produção

Segundo BONNEY (2000) a função Planejamento e Controle da Produção e seus sistemas associados tem o objetivo de planejar e controlar a produção de forma que a empresa atinja os requisitos de produção do modo mais eficiente possível. E com a ajuda da Pesquisa Operacional, esta garante que a produção ocorra eficaz, eficiente e produza produto conforme os requeridos pelos consumidores. Isto requer que os recursos produtivos estejam disponíveis: na quantidade adequada; no momento adequado; e no nível de qualidade adequado.

4.4 Saúde

Quando um paciente se encaminha a um hospital, ele espera obter o atendimento o mais rápido possível, e é neste momento que a pesquisa operacional entra, nesta área pode ser utilizada a técnica da teoria das filas, já que o grande problema no Brasil em hospitais públicos são as enormes filas.

A pesquisa operacional irá buscar explorar toda capacidade do atendimento, além da melhor distribuição de pacientes entre cidades e até mesmo em redes de hospitais.

4.5 Agroindústrias

As agroindústrias são ramos de atividades que necessitam muito das técnicas relacionadas a pesquisa operacional por exemplo, otimizar as misturas de rações, datas de alojamento e de abate, previsão de suprimento de matéria-prima, compra e estoque de ingredientes em múltiplos períodos; planejamento de vendas para os mercados interno e externo, roteamento de entregas e controle de atividades dos abatedouros, compra e estoque de ingredientes. (AGOSTI, 2003).

4.6 Recursos Hídricos

A falta de eficiência no gerenciamento de sistemas de abastecimento de água tem se tornado um sério problema na atualidade. Isto limita o desenvolvimento econômico, degrada o meio ambiente e afeta o bem-estar da sociedade. Estudos mais recentes apresentam graves previsões de que a demanda de água irá exceder o abastecimento sustentável em curto prazo (Coelho, 2001).

Assim aplicando-se a pesquisa operacional, poderíamos solucionar muitos problemas como abastecimento de água, melhores distribuições para que populações não ficassem sem água potável para o consumo.

A pesquisa operacional e suas técnicas se bem aplicadas e estudadas podem solucionar vários problemas, pois esta é uma ferramenta que vem sendo usado cada vez mais para tomada de decisões e soluções de problemas.

5. Considerações Finais

Com a realização deste trabalho pode-se perceber o importante papel da Pesquisa Operacional nos processos de tomada de decisão nas empresas em geral. Desde o seu “surgimento” na Segunda Guerra Mundial, o campo de aplicações desta ciência ampliou-se muito, em função do aperfeiçoamento dos métodos já utilizados e do desenvolvimento de novos métodos.



Mesmo já sendo amplamente usada em vários setores nas diferentes empresas, a Pesquisa Operacional ainda precisa ser alvo de estudos, para o desenvolvimento de métodos mais eficazes, bem como para aplicação destes métodos.

Referências

ABEPRO. *Áreas e Sub-áreas de Engenharia de Produção: Pesquisa Operacional*. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/interna.asp?p=399&m=424&s=1&c=362>>. Acesso em: 12 ago. 2009.

AGOSTI, C. *Apostila de Pesquisa Operacional*. Santa Catarina: UNOESC, 2003. Disponível em: <www.geocities.com/ApostilaPO.pdf>. Acesso em 12 ago. 2009.

ALBERNAZ, M. A. *Pesquisa Operacional II: PERT/CPM*. Disponível em: <<http://venus.rdc.puc-rio.br/marcoalb/PO-II/Pert-Cpm.PDF>>. Acesso em: 12 ago. 2009.

ANDRADE, E. L. *Introdução à Pesquisa Operacional*. 3^a. edição. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

ANDRADE, E. L. *Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e Modelos para Análise de Decisões*. 3.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

ARAUJO, R. M. *Simulação*. Disponível em: <www.geocities.com/manhaes2020/Simulacao.pdf>. Acesso em 13 ago.2009.

BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. V. *Introdução à Engenharia*. 5^a. edição. Florianópolis: Editora da UFSC, 1997.

BONNEY, M. *Reflections on production planning and control (PPC)*. Gestão & Produção. 7^a Edição. São Carlos: Editora da UFSCar, 2000.

BRONSON, R. *Pesquisa Operacional*. Tradução Bernardo Severo da Silva Filho; Othon Guilherme Pinto Bravo. São Paulo: McGraw-Hill, 1985.

COÊLHO, A.C. *Manual de Economia de Água: Conservação de Água*. Recife: Comunigraf Editora, 2001.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. *Administração de Produção e Operações: manufatura e serviços*. São Paulo: Atlas, 2004.

COSTA, M. A. B. *Pesquisa operacional aplicada à Agroindústria*. In BATALHA, M.O (Coord.). *Gestão Agroindustrial*. Volume 2. São Paulo: Atlas, 1997.

LISBOA, E. *Pesquisa Operacional*. Apostila do curso, 2002. Disponível em: <<http://www.ericolisboa.eng.br>>. Acesso em: 13 ago. 2009.

MARTINS, P. G; LAUGENI, F. P. *Administração da Produção*. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

ROCHA, M. N; RAGGI, L. A; SANTOS, H. N. *Pesquisa Operacional I: Programação Linear e Programação em Redes*. Universidade Federal de Viçosa, 2005. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/apostila-pesquisa-operacional-pdf-a13878.html>>. Acesso em: 12 ago. 2009.

RUSSOMANO, V. H. *Planejamento e Controle da Produção*. 6. ed. São Paulo: Pioneira, 2000.

SANTOS, M. P; SOUZA, J. V; MORAIS, M. F. A simulação como ferramenta de apoio à tomada de decisão. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL, 3., 2008, Campo Mourão. *Anais...* Campo Mourão: Editora da Fecilcam, 2008. CD-ROM.

SOBRAPO. *Pesquisa Operacional*. Disponível em: <<http://www.sobrapo.org.br/sitesobrapo.htm>>. Acesso em: 12 ago. 2009.

TUBINO, D. F. *Manual de Planejamento e Controle da Produção*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

ZAMBONI, L. V. S. *Técnicas de Roteirização de Veículos aplicadas ao Transporte Escolar*. Dissertação de Mestrado - Métodos Numéricos em Engenharia / Programação Matemática. Curitiba. Universidade Federal do Paraná, 1997.