

ANÁLISE DA PRODUÇÃO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO

PRODUCTION ANALYSIS IN PRODUCTION SYSTEMS

DIVONIR RIBAS TEIXEIRA TORRES

Professor do Departamento de Economia da
UEPG

RESUMO

O paradigma de suporte para a análise da produção em Sistemas de Produção ainda não está consolidado, razão pela qual torna-se um campo de disputa. O artigo tenta mostrar que esta é uma questão menor frente às necessidades de bem adequar a produção no contexto estratégico da empresa. Em regra, a boa adequação envolve uma análise multidisciplinar.

Palavras-chave: economia da produção, sistemas de produção, funções custo, análise da Produção, Modelos para a Análise, Objetivos de Desempenho

A análise da produção em sistemas de produção é um procedimento que deve ser respaldado no conhecimento científico acumulado. Não obstante esta assertiva inequívoca, permanece a questão do paradigma de referência, uma vez que este pode ser definido em relação ao “fluxo” que for privilegiado dentro do sistema de produção. Se a orientação for econômica, o fluxo escolhido será o de custos, se a diretriz for administrativa, a escolha recai sobre o fluxo de informação, o fluxo de materiais será o esco-

lhido na visão da engenharia.

As diferentes abordagens, entretanto, tratam de questões complementares e assim a busca do tratamento integrado, na atualidade, é proposto por duas disciplinas com abrangência multidisciplinar. Uma, Engenharia de Sistemas de Manufatura, originou-se no Japão e explicitamente se preocupa com a integração dos três fluxos. A outra, Economia da Produção, de origem européia trata da integração das áreas da engenharia, administração e economia através da análise e planejamento do sistema de manufatura, da estratégia e do projeto.

A Engenharia de Sistemas de Produção apresenta um grau de consolidação elevado como disciplina curricular em engenharia, já a Economia da Produção se apresenta como campo de pesquisa. O que este artigo pretende mostrar é uma ordenação de idéias no sentido da consolidação disciplinar da Economia da Produção.

Deve-se lembrar que no seu desenvolvimento a teoria da empresa, de origem econômica, trata da firma considerando objetivos de maximização do lucro ou minimização dos custos sem levar em consideração para o desempenho as características de projeto e as estratégias do sistema de produção. Foi na administração e na engenharia que se percebeu que a análise estratégica deve orientar as decisões sobre a performance. Foi a comoção resultante da mudança de liderança na produção manufatureira que levou a busca de alterações no modo de pensar e portanto fazer a produtividade.

Tem-se claramente a explanação desse posicionamento na citação de Bignell et ali., “os desafios dos anos 80 foram expressados com clareza no Relatório Finniston¹, demonstrando como as coisas iam errado no passado e estabelecendo o contexto estratégico para olhar os sistemas de fabricação na atualidade”.

Por outro lado é com Elwood Buffa que vemos a introdução das características de projeto na preocupação da administração da produção para a análise da produção a longo prazo. O processo, e portanto a tecnologia era a característica que se analisava anteriormente.

Tendo-se a estratégia e o projeto como funcionais para a análise da

¹ Levado a público em 1979: Bank of England, Quarterly Bulletin e com estudo iniciado em 1977, como “Committee’s of Inquiry into the Engineering Profession (Chairman Sir Montague Finniston)”. Nos Estados Unidos o artigo de W. Skinner - The Focused Factory - apareceu na Harvard Business Review, may-june 1974.

produção então cabe a Economia da Produção (multidisciplinar) adequar o projeto às necessidades estratégicas.

Nesse sentido e com tal intuito, apresentam-se alguns conceitos, critérios, modelos e métodos utilizados ou utilizáveis pela Economia da Produção na análise dos sistemas de produção.

1. Noções sobre sistemas

Define-se um sistema como um conjunto de elementos interdependentes orientados para a realização de um objetivo determinado.

Os sistemas podem ser classificados quanto a sua origem em *naturais* (sistema solar, sistema nervoso) e *elaborados pelo homem*. Também é possível distingui-los em *sistemas flexíveis*, quando o projeto e a estrutura devem estar adaptados às modificações do meio ambiente e *sistemas rígidos*, em caso contrário (sistema solar, sistema de estradas).

Tem-se também a distinção entre *sistemas manuais* e *sistemas automáticos*.

2. Elementos de um sistema de produção

Todo sistema se cria para executar uma função e cujo cumprimento implica recursos (materiais, financeiros e humanos), os quais devem estar organizados de tal forma que se obtenha um conjunto coerente. Após isto, se terá um verdadeiro sistema, cujos elementos constitutivos são:

- função,
- insumo,
- produto,
- agente humano,
- agente físico,
- seqüência,
- meio ambiente (interno e externo).

Os sistemas produtivos criados pelo homem sempre contêm os sete elementos constitutivos mencionados.

Função

A função de um sistema produtivo é precisamente o motivo pelo qual ele foi criado. Assim constitui a orientação do conjunto de atividades do sistema. Para ilustrar tem-se o departamento de produção (para realizar a produção segundo as especificações do produto, do processo e do planejamento da produção), o departamento de marketing (para assegurar as vendas e a distribuição dos produtos).

Insumos

- Físicos: matéria prima, produtos semi-acabados e outros abastecimentos,
- De informação: dados contábeis e financeiros, quantidade vendida, número de horas trabalhadas, taxa de salário,
- Humanos: pacientes, feridos, estudantes,
- Energéticos: eletricidade, gasolina, gás.

A característica comum é que todos os elementos que passam pelo sistema devem sofrer uma transformação.

Produto

É a finalidade de qualquer sistema de produção: o produto tangível (mercadoria) ou o produto intangível (serviço).

Agente humano

São os recursos humanos que atuam no sistema.

Agente físico

São os recursos materiais que permitem a transformação do insumo em produto. Podem ser classificados em:

- a) recursos com intervenção direta - máquinas, ferramentas etc.,
- b) recursos de apoio - instrumentos de medição, equipamentos da oficina etc.

Seqüência

É a ordem das etapas necessárias para transformação dos insumos em produtos. É o processo de produção.

Meio ambiente

É o meio físico, econômico e humano dentro do qual é habitado o sistema. Este é o meio ambiente interno. O meio ambiente físico interno envolve o arranjo físico (*layout*), o ruído, as cores, a iluminação, o nível de poluição do ar, a temperatura etc. O meio ambiente interno humano compreende o nível de cultura dos empregados e o seu comportamento social. O meio ambiente econômico envolve entre outras questões o nível de segurança.

O meio ambiente externo compreende as questões sociais, econômicas, tecnológicas e físicas em que está inserido o sistema.

Assim existe uma interação muito importante entre os elementos do sistema e o seu meio ambiente. Para que a existência do sistema seja assegurada é necessário que haja adaptação às condições externas e que o meio interno seja adaptado para os objetivos do sistema.

3. Níveis de um sistema

Os sistemas podem ser decompostos em subsistemas, assim ao considerar-se a empresa como o sistema, os seus departamentos e/ou unidades de produção podem ser considerados como subsistemas interdependentes. Da mesma forma como existem sistemas paralelos, podem existir subsistemas paralelos. Para ilustrar, o subsistema de informática é um subsistema de apoio (não estritamente necessário para a Função) e portanto considerado um subsistema paralelo.

4. Análise de sistemas de produção

Depois de ter apresentado a definição e a conceituação de um sistema de produção, deve-se considerar os critérios básicos e os métodos que são empregados para avaliar o desempenho de tal sistema.

Existem três elementos que permitem ao consumidor expressar sua satisfação ou insatisfação em relação a um produto: o preço, o serviço e a qualidade. Estes também são os três critérios básicos para se avaliar o sistema de produção. Assim o preço de um produto engloba os custos e a margem de lucro: para que um sistema tenha competitividade, deve manter os seus custos os mais baixos. A disponibilidade do produto, os atrasos na entrega e o tempo de espera para um serviço caracterizam o nível de serviço que se presta à clientela. Como síntese, a qualidade de um produto atesta a capacidade técnica do sistema de produção.

Dada a ênfase (ou prioridades) nos objetivos é possível distinguir-se os critérios segundo uma representação polar, com 5 eixos, das prioridades.

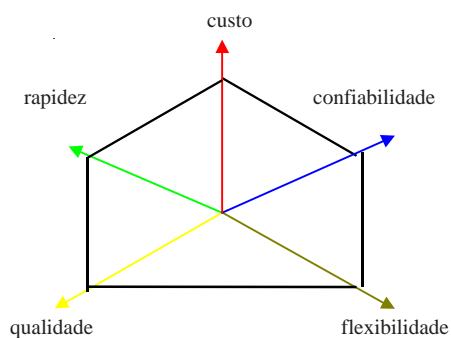


Figura 1.1 - Objetivos de desempenho

A figura 1.1 apresenta do lado esquerdo objetivos visando aos consumidores e do lado direito objetivos que visam a concorrência. O confronto com os critérios de análise acima mostra que a análise de um sistema de produção também pode incluir a confiabilidade (tempo de resposta) e a flexibilidade, isto é pode estabelecer critérios de análise complementar que visem a concorrência.

4.1. Etapas de análise

É importante determinar as etapas essenciais de qualquer processo analítico. O número e o cronograma destas etapas varia segundo a natureza e o contexto do estudo. Cada analista adota as etapas que julga importantes

segundo seus conhecimentos e sua experiência.

Na solução de um problema operacional, na avaliação do desempenho, na tomada de decisão, no projeto ou no melhoramento, deve-se adaptar o processo de análise.

Em geral o processo de análise compreende:

- 1- definição da necessidade ou do problema e suas variáveis relevantes,
- 2- determinação dos objetivos e dos critérios de avaliação ou decisão,
- 3- relacionamento das variáveis com os critérios, ou seja, elaboração do modelo para o problema,
- 4- levantamento das soluções possíveis,
- 5- escolha da solução considerando as restrições,
- 6- aplicação (implementação), controle e avaliação.

4.2. Classificação dos métodos de análise

Os métodos de análise podem ser classificados a partir dos três critérios básicos: custos, serviço e qualidade. Os métodos preferenciais para a análise e avaliação dos custos são: limite da rentabilidade, taxa de rendimento, razões, preço de custo, árvore de decisão, programação linear, lote econômico. Os métodos para análise de serviço compreendem: linhas de espera, simulação, pesquisa comercial, etc. Os métodos para avaliar a qualidade são, em geral, estatísticos.

A metodologia das decisões também pode ser classificada segundo o grau de incerteza na tomada de decisão ou na análise:

| Certeza | Risco | Incerteza completa |
|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| [informação completa] | [informação parcial] | [sem informação] |
| Álgebra: | Análise Estatística: | Teoria dos Jogos |
| Ponto de equilíbrio. | Probabilidades objetivas e subjetivas | |
| Custo \ Benefício | Testes de hipóteses | |
| Cálculo | Regressão e correlação | |
| Programação matemática: | Análise da variância | |
| Linear | Métodos não paramétricos | |
| Não linear | Teoria das Filas | |
| Inteira | Técnicas de Simulação | |
| Dinâmica | Técnicas de Redes | |
| Metas | Teoria da Utilidade | |

Fonte: Monks (1996; p. 12)

4.3. Modelos para análise da produção

Para a análise do sistema é necessário, nos métodos quantitativos, a elaboração de modelos. Estes decorrem de uma necessidade ou de um problema que ocorra no sistema.

No geral as variáveis relevantes de um sistema são os insumos, os produtos, a seqüência (ou processo), os agentes humanos, os agentes físicos e o meio ambiente. Entre estes seis elementos relevantes, a Ciência Econômica engloba os agentes de produção nos insumos e trata a seqüência ou processo, através de uma equação matemática e assim o modelo básico é a função de produção neoclássica $O = f(I)$ ou $O = f(M, K, L)$; o método de análise então é o econométrico.

A consideração explícita do processo leva ao modelo conhecido por análise de processos (ou atividades). Também tal inclusão do processo de produção, no campo da ciência econômica, possibilita a construção das funções de produção com dados de engenharia. O modelo da análise de atividades considera, como regra, funções lineares enquanto o modelo das funções de produção com dados de engenharia considera também como regra funções não lineares. Nestes dois casos os métodos de análise pressupõem a certeza na informação e assim a análise de atividades utiliza a Programação Matemática e os modelos das funções de produção com dados de engenharia utiliza o cálculo ou a álgebra.

Um modelo derivado do equilíbrio geral, também no campo da ciência econômica, utiliza funções de produção lineares conhecidas como funções de produção com fatores limitativos. Este modelo utiliza o método de análise desenvolvido por Leontieff, que é conhecido como análise de Insumo-Produto. Entretanto os seus construtos permitem que este modelo seja transformado em um modelo de análise de atividades.

Quando a produção leva em consideração as variações na demanda do produto, ela não é efetivada só por considerações técnicas e assim o processo (o elemento seqüência) passa a ser analisado com a introdução de uma nova variável, os estoques. Os modelos de estoques, em geral, tratam o volume produzido "O", em lotes de produção e a análise diz respeito aos custos decorrentes de tal procedimento o qual também envolve a armazenagem.

Verifica-se que a introdução das variações da demanda na análise da produção permite a solução de um novo tipo de problema. Desta forma a

análise da demanda pode e deve fazer parte dos estudos para o melhor desempenho da produção em sistemas de produção.

A ampliação da consideração quanto ao conhecimento ou a análise do processo e problemas de produção leva à formulação de modelos para a área de Ciência da Gerência (Management Science) e aqui os modelos se diversificam tanto quanto ao problema que enfocam como quanto ao nível de detalhe e amplitude nos componentes do sistema antes mencionados. O fator que unifica tal diversidade é o método utilizado. Assim tem-se formulações de Programação Linear, Modelos de Rede, Modelos de Programação Inteira, Modelos de Programação Não-Linear e modelos para decisão com objetivos múltiplos. Estes são os principais modelos que empregam a metodologia da programação matemática dentro da tomada de decisão com certeza na informação.

Se há incerteza ou risco na informação, então a produção ou a eficiência dos elementos de um sistema de produção podem ser modelados através de filas de espera ou então de modelos para simulação do desempenho. A tomada de decisão sob incerteza também pode ser modelada e analisada com a metodologia da estatística, a qual também permite a confecção de modelos para previsão.

Na continuação, os modelos a ser considerados referem-se ao fluxo de materiais em um sistema de produção. Tais modelos foram aqui colocados para permitir uma idéia preliminar sobre as interações entre os tipos de projeto e os níveis de mecanização/automação.

5. Modelos de um processo de produção

Modelo de Custo

Adotando como referência básica a tecnologia mecânica de manufatura é possível caracterizar algumas modelagens para o processo de produção. A seleção do melhor “fluxo de materiais”, adotando o critério do menor custo total de produção (C_T), é feita pela escolha da rota que minimiza tal custo. Aceitando-se a aditividade dos custos, os quais compreendem o custo de preparo da matéria prima para o corte na máquina-ferramenta (C_s), o custo total de usinagem (C_o), o custo total da ferramenta de corte (C_f), e o custo total de inspeção (C_i), tem-se o custo de conversão da matéria prima,

em cada estágio (máquina) do processo, pela soma destas componentes do custo. Adiciona-se ao custo de conversão, o custo total de transferência entre estágios (C_t) e o custo total de estocagem entre estágios (C_a).

Ao custo do “fluxo de materiais” é somado o custo do material (C_m) para obter-se o custo total de produção do processo especificado e segundo a rota escolhida, como:

$$C_T = C_m + \sum_{j=1}^N [C_{tj} + C_{sj} + C_{oj} + C_{fj} + C_{ij} + C_{aj}] \quad (1.1)$$

onde, j representa um estágio de produção do processo com N estágios.

Na hipótese de uma instalação industrial em operação, a determinação do “caminho ótimo” para o fluxo de material está baseado nas operações que as máquinas-ferramentas disponíveis executam. Entretanto, deve-se efetuar a análise do *trade-off* que ocorre nos acréscimos de custos operacionais com máquinas existentes menos eficientes e o custo de investimento em máquinas mais adequadas. No entanto, se as máquinas forem eficientes para as tarefas a serem elaboradas, pode-se calcular os custos para cada estágio de produção (refere-se aos custos C_t , C_s , C_o , C_f , C_i e C_a da equação (1.1)) e, na seqüência, efetuar a otimização entre as diversas alternativas de rotas de processamento, entre os estágios.

Alterações no Custo

Automação rígida nos processos de produção, em termos da engenharia de sistemas de fabricação, significa a instalação de linhas de produção ou segmentos de produção com máquinas “Transfer” ou com máquinas dedicadas. Tais linhas de produção são constituídas, assim, por máquinas que executam uma ou algumas operações sobre a matéria-prima ou componentes em processo e na seqüência transferem tal peça, em geral, para um “buffer” (estoque de compensação) que serve de fonte para suprimento da máquina seguinte. Como a alimentação e descarga da máquina também pode ser automatizada – caso das máquinas Transfer –, a redução de trabalho manual é grande. Assim, na fórmula do custo total (1.1)

$$C_T = C_m + \sum_{j=1}^N (C_{tj} + C_{sj} + C_{oj} + C_{fj} + C_{ij} + C_{aj})$$

as componentes C_t , C_s , C_f , são desconsideradas devido à operação se reali-

zar automaticamente. As componentes C_o e C_p são minimizadas devido às características de estabilidade e reprodutibilidade nas velocidades mais indicadas, uma vez que são realizadas em condições programadas. O custo total de produção, então, tem sua variabilidade – para um mesmo material – em função do balanceamento da linha de produção (o que determina o nível dos estoques C_a) e da frequência em que ocorrem falhas nas máquinas.

A tecnologia de manufatura, com as necessidades cada vez mais apontando para a flexibilidade, mas de forma econômica e competitiva, evoluiu para uma alteração do *layout* funcional (*Job Shop*) e do *layout* em linha para células de manufatura manuais.

A flexibilidade é a característica principal das células de manufatura, pois os processos de produção são estabelecidos com capacidade na produção de “famílias” de peças, assim reduzindo os custos de *setup* (C_s). É buscado um sistema de Manufatura com Células Interligadas (SMCI), no qual as células de produção e as células de montagem são interligadas por um sistema de controle de material de “puxar” (Kanban). A disposição adquire vantagens do *layout* em linha sem perder flexibilidade, o que reduz os custos de transferência (C_t), e de inspeção (C_i), uma vez que o próprio operador controla a qualidade. Dado que as máquinas são desacopladas uma das outras pelos quadrados kanban – o material é solicitado quando necessário –, os estoques são mínimos e, portanto, (C_a) é minimizado. Finalmente, a utilização de máquinas programáveis com controle numérico aumentam a eficiência na usinagem, assim reduzindo os custos (C_o) e (C_p).

Do constatado acima verifica-se que as disposições, ou *layout*, em células de manufatura aumentam a flexibilidade ao mesmo tempo que reduzem os custos de manufaturação (C_T). Este é um avanço na tecnologia de manufatura que pode ser alcançado mesmo sem automação.

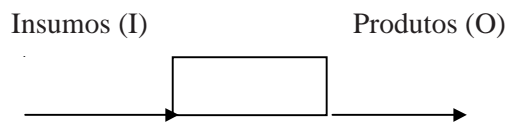
Em resumo, a intensificação da competição, devido à instabilidade econômica e à diferenciação de produto, levou ao desenvolvimento dos sistemas de produção flexíveis. A tônica foi a mudança da economia de escala para a diferenciação. Em outras palavras, tornou-se crescentemente essencial o desenvolvimento de estruturas produtivas que fossem flexíveis em termos de sua capacidade em responder aos modelos de consumo com crescente diferenciação. Não somente eficiência (em termos de insumos utilizados), mas também eficácia (em termos de atendimento às necessidades de mercado) tornou-se um aspecto crescentemente importante para a competitividade de muitas firmas.

6. Análise da produção e características de projetos

O elemento unificador, entre estratégia e características de projeto, na análise da produção são os custos de produção, ou melhor, é a performance. Daí porque entre os objetivos da produção os custos são também decorrência dos demais critérios de análise.

A forma de inserir o “fluxo de custos” na análise é através de modelagens que considerem explicitamente as funções custo para a interação entre o sistema de manufatura e sua estratégia. Quando o sistema de manufatura é representado por uma equação, como nas Ciências Econômicas, então as estratégias são estabelecidas pelo inter-relacionamento entre as funções custo e os objetivos estratégicos². Na situação em que se consideram as demais variáveis do sistema de produção, as estratégias podem se traduzir em Necessidades Funcionais sobre as Características de Projeto e estas avaliadas pelos custos decorrentes. (Torres, 2000)

O modelo mais simples e mais geral é a caixa preta:
sistema



O sistema pode ser modelado por uma equação que representa o processo de produção, nesta hipótese da modelagem do Sistema de Produção através de uma equação tem-se $O = f(I)$ e a função de produção “f” permite a análise. A função custo é obtida fazendo-se $I = f^{-1}(O)$ e com o preço w do insumo, $C_T = wI = w f^{-1}(O)$, custo em função da produção O .

Tendo-se mais de um insumo não é possível obter-se a função inversa (f^{-1}) e assim deve-se trabalhar com um sistema de equações, para tal usam-se as condições de minimização do custo ou maximização do lucro da teoria econômica. Este procedimento permite encontrar a função dual da função de produção.

No caso da modelagem de um sistema de produção pela especificação do processo de produção (um detalhamento da função de produção), se está abrindo a caixa preta do Sistema de Produção. A especificação do processo envolve o relacionamento: a) do equipamento a utilizar, b) da mão-de-obra

² Theil, Henry, 1968

e, c) dos imóveis; como características mínimas para o sistema, além da matéria prima.

Tratando o sistema como uma oficina (*job shop*) então o *layout* é funcional e a seqüência dos lotes do produto (em processo) é por seções com equipamentos similares, cada seção efetuando as operações viáveis de realização com os equipamentos designados. Neste caso tem-se que conhecer a carta (mapa) do processo. O tempo do ciclo completo de operações para realização das peças das máquinas é que determinará o custo de produção das peças. A soma de tais tempos, para todas as peças, determina o custo da máquina produzida.

Especificando o processo com as informações adicionais de engenharia, que contemplem o tempo de máquina (r) e o tempo de setup (s), tem-se um passo adiante para a determinação dos tempos que levam à determinação dos custos. A lógica inerente diz respeito à hipótese de que o tempo de ciclo por peça será $[(s/z)+(r)]$ isto é, o tempo gasto na fabricação da peça quando se somam os tempos de máquina mais os correspondentes tempos de preparo, z é o tamanho do lote de produção.

O custo total será portanto $C_T = F_{ixo} + [(s/z)h''+(r)h'] O$, no qual h'' e h' são os custos que correspondem aos tempos de preparo e de máquina, respectivamente. Isto com a hipótese de uma função custo linear.

As alterações (ou melhorias) a serem feitas correspondem a determinação dos tempos em outros tipos de sistemas (*layout*) com inclusão de equipamentos mais automatizados.

Verifica-se do acima, que o C_T pode ser obtido através da função de produção (especificação agregada do processo de produção) ou pela especificação detalhada do processo de produção. Com a função custo determinada a análise do sistema é feita da maneira habitual, inclusive é possível retornar para a função de produção. Não obstante a análise do sistema em sua especificação mais detalhada e organizada, torna-se mais profícua.

Características de projeto: A vantagem da modelagem em termos de função custo é a possibilidade de analisar-se o sistema segundo as características de projeto. As características capacidade, localização, *layout* e processo se relacionam com o mercado e com os custos.

Recebido para publicação em 6/01

Aceito para publicação em 8/01

ABSTRACT

The supporting paradigm for the analysis of the production in Production Systems is not yet consolidated, which turns it into a matter of debate. The article tries to evince that this is a minor subject when compared to the need to adapt the production to the strategic context of the company. As a rule, a good adaptation involves a multidisciplinary analysis.

Key words: production economy, production systems, cost functions, production analysis, analysis models, performance objectives

Endereço para contato: divonir@interponta.com.br

REFERÊNCIAS

1. BIGNELL, VICTOR. ET AL. **Manufacturing systems: context, applications and techniques.** Oxford UK: Basil Blackwell, 1985.

BUFFA, Elwood S. **Administração da Produção.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979. Tradução de Modern Production Management 3rd edition (1st edition 1961) New York: Willey, 1969.

FINNISTOM, Sir Monty. The finniston report: engineering, manufacturing and national economic needs. In: BIGNELL, Victor et al. **Manufacturing systems: context, applications and techniques.** Oxford UK: Basil Blackwell, 1985.

MONKS, Joseph G. **Administración de Operaciones.** Mexico: McGraw-Hill, 1966.

SKINNER, W. **The focused factory.** In: BIGNELL, V. et al. **Manufacturing systems: context, applications and techniques.** Oxford UK: Basil Blackwell, 1985.

THEIL, Henry. **Optimal decision rules for government and industry.** Studies in mathematical and managerial economics. v.1. Amsterdam: North Holland, 1968.

TORRES, Divonir Ribas Teixeira. **Análise da Produção - Abordagem Multidisciplinar.** Florianópolis, 2000. 155f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.