

Simulação de Monte Carlo aplicada à análise econômica de pedido

Abraão Freires Saraiva Júnior^{a,*}, Cristiane de Mesquita Tabosa^b,
Reinaldo Pacheco da Costa^c

^{a,*}abraaofsjr@gmail.com, USP, Brasil

^bcristianedmt@gmail.com, UFC, Brasil

^crpcosta@usp.br, USP, Brasil

Resumo

A utilização de métodos matemáticos e estatísticos pode auxiliar gestores a lidar com dificuldades do processo de tomada de decisão no ambiente de negócios. Algumas dessas decisões estão relacionadas à otimização da utilização da capacidade produtiva visando a obtenção de melhores resultados econômicos para a empresa. Dentro dessa perspectiva, o presente trabalho objetiva apresentar o estabelecimento de métricas que deem suporte à decisão econômica de atender ou não a pedidos em uma empresa cujos produtos têm grande variabilidade de custos variáveis diretos unitários que gera incertezas contábeis. Para cumprir esse objetivo, é proposto um método em cinco etapas, construído a partir da integração de técnicas providas da contabilidade gerencial e da pesquisa operacional, com destaque à simulação de Monte Carlo. O método é aplicado a partir de um exemplo didático que utiliza dados reais obtidos através de uma pesquisa de campo realizada em uma indústria brasileira de produtos plásticos, que utiliza material reciclado. Por fim, conclui-se que a simulação de Monte Carlo é útil no tratamento da variabilidade de custos variáveis diretos unitários e que o método de suporte à tomada de decisão proposto é válido.

Palavras-chave

Aceitação de pedido. Margem de contribuição. Simulação de Monte Carlo.

1. Introdução

Quando uma empresa se depara com a situação em que um pedido extra é solicitado e que há capacidade produtiva suficiente para processá-lo, algum parâmetro ou critério deve ser estabelecido para embasar a decisão de atender ou não ao pedido. A definição desse critério, em muitos casos, passa pela discussão de formas de melhoria do resultado econômico da empresa. Um dos parâmetros de decisão existentes é a margem de contribuição que tem mensuração econômica (PADOVEZE, 2006) e advém do campo da contabilidade gerencial.

Em alguns processos de produção, o levantamento e análise de custos são dificultados devido à existência de produtos que apresentam elevada variabilidade de utilização de recursos que gera incertezas aos tomadores de decisão. Tem-se, como exemplo, a indústria de fabricação de produtos plásticos a partir de materiais reciclados em que se observa uma considerável variação dos custos variáveis diretos

unitários, variação esta ocasionada pela alternância da quantidade de material e do tempo de processamento demandados por cada produto.

Dentro desse contexto, levanta-se o seguinte questionamento que direciona o estudo: como estabelecer métricas adequadas que alcercem a decisão econômica de atender ou não a pedidos extras cujos produtos têm grande variabilidade de custos variáveis diretos unitários? Para responder a essa questão, o presente estudo faz o uso de técnicas providas da contabilidade gerencial e da pesquisa operacional.

Além desta introdução, o artigo é construído a partir de uma seção de metodologia e de uma seção de fundamentação teórica em que se discute o conceito de margem de contribuição e aspectos inerentes à simulação, com destaque ao método de Monte Carlo. Na quarta seção, é proposto um método para analisar a viabilidade econômica de

aceitação de pedidos em um cenário de variabilidade de custos unitários. A seção cinco expõe uma aplicação do método proposto a partir de dados coletados em uma indústria brasileira de artefatos plásticos. Os resultados obtidos com a aplicação do método são apresentados na seção seis. Na última seção, são relatadas as conclusões dos autores, as limitações da pesquisa e algumas recomendações para trabalhos futuros.

2. Metodologia

Para responder ao questionamento proposto, o estudo foi desenvolvido em três momentos. Com o intuito de encontrar conceitos, teorias e técnicas que fundamentassem a construção de uma resposta para a pergunta de pesquisa, fez-se uma (i) pesquisa bibliográfica que, de acordo com Gil (2002, p. 44), “[...] é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos”. Primeiramente, a pesquisa bibliográfica envolveu a busca de publicações, no campo da contabilidade gerencial, que compreendesse alguma métrica econômico-financeira envolvendo a tomada de decisão sobre novos pedidos. Em seguida, foram buscadas, no campo da pesquisa operacional, publicações que versassem sobre técnicas quantitativas que compreendessem o tratamento de variabilidade e que pudessem ser trabalhadas de forma integrada com a métrica prospectada inicialmente na pesquisa bibliográfica.

De posse do arcabouço teórico prospectado, elaborou-se a (ii) proposição de um método para auxiliar a tomada de decisão relativa à aceitação ou não de um novo pedido. O método constituiu-se de cinco etapas organizadas de forma sequencial e abordadas, principalmente, a partir de expressões matemáticas.

Em seguida, o método proposto foi aplicado em um processo produtivo a partir de um exemplo didático que foi respaldado por uma (iii) pesquisa de campo realizada em uma indústria brasileira de artefatos plásticos que manufatura produtos a partir de material plástico reciclado. Conforme Marconi e Lakatos (2008, p. 188), uma pesquisa de campo

[...] consiste na observação de fatos e fenômenos tal como ocorrem espontaneamente, na coleta de dados a eles referentes e no registro de variáveis que se presumem relevantes, para analisá-los.

Dessa forma, foram realizadas entrevistas com pessoas-chave e coletados dados e informações *in loco* na empresa para se levantar elementos reais relativos ao processo produtivo, à estrutura de produto, aos gastos e aos preços de venda praticados. As principais fontes de evidência coletadas na pesquisa de campo – adaptando os termos de Yin (2005) voltados para o planejamento de estudos de caso – são apresentadas no Quadro 1.

Na empresa estudada, dada a existência de uma variabilidade acentuada na qualidade da matéria-prima (plástico reciclado), identificaram-se quatro variáveis com comportamento aleatório que são fontes de incertezas contábeis e impactam o custo direto unitário, quais sejam: quantidade de matéria-prima, tempo de processamento dos produtos, mão de obra e energia.

Para completar o exemplo didático e inseri-lo no contexto do questionamento, estabeleceu-se um cenário hipotético com a assunção de algumas suposições sobre as condições do pedido extra a ter sua aceitação decidida. Em seguida, dentro do cenário construído, as informações coletadas foram trabalhadas e apresentadas em planilhas eletrônicas para facilitar aplicação do método proposto e a visualização dos resultados alcançados.

Quadro 1. Fontes de evidências coletadas na pesquisa de campo.

Fonte de evidências	Principais elementos trabalhados e materiais coletados
Documentação	- Memorial descritivo do processo produtivos da empresa - Mapa de localização de custos - Especificações técnicas de produtos e de equipamentos
Registros em arquivos	- Relatórios contábeis mensais - Planilhas de centros de custos - Contas de energia
Entrevistas (semiestruturadas)	- Diretor industrial - Diretor financeiro - 2 supervisores de produção - Responsável pela controladoria da empresa
Observações diretas	- Observação de uma reunião de discussão do setor de supervisão de produção
Observação participante	- Participação em 3 reuniões com os diretores da empresa
Artefatos físicos	- Quadro com índices de refugo mensais

3. Fundamentação teórica

3.1. Método de custeio direto/variável

Em sua concepção restrita, o método de custeio variável caracteriza-se por apropriar, aos objetos de custos (por exemplo: produtos, clientes, pedidos e unidades de negócio), somente os custos que variam diretamente com o volume produzido e vendido, “[...] ficando os fixos separados e considerados como despesas do período, indo diretamente para o resultado” (MARTINS, 2006, p. 198). Convém observar que o custeio variável é também chamado por alguns autores como custeio direto (por exemplo, FOSTER; BAXENDALE, 2008). No entanto, nem sempre o custeio variável considera – no custeamento dos objetos de custos – somente os custos que são diretamente mensurados e atribuídos (custos diretos), pois também pode levar em conta custos de difícil mensuração e atribuição, ou seja, custos indiretos variáveis. Dessa forma, o custeio variável pode ser considerado conceitualmente diferente do custeio direto.

Para efeito do corrente estudo, é utilizada a denominação “método de custeio direto/variável”, em uma perspectiva voltada para o custeamento de produtos, para designar o método de custeio que considera custos que variam diretamente com o volume produzido e vendido (custos variáveis) e que podem ser diretamente mensurados e atribuídos (custos diretos) aos produtos. Pela ótica desse método, os custos (e despesas) fixos e indiretos não são inventariáveis (HANSEN; MOWEN, 1997; COSTA, 1998; FOSTER; BAXENDALE, 2008).

O custeio direto/variável, ao identificar os custos de comportamento variável que podem ser diretamente atribuídos aos produtos, permite uma análise gerencial em função do grau de participação de cada componente no custo total do produto, trazendo conclusões objetivas do ponto de vista gerencial (GARRISON; NOREEN; BREWER, 2006). Embora seja utilizado para fins de tomada de decisões gerenciais, o custeio direto/variável não é adequado em relação à legislação e às normas contábeis e fiscais brasileiras (BRUNI, 2006).

3.2. Margem de contribuição

Derivada do custeamento direto/variável, a margem de contribuição (MC) é caracterizada pela diferença entre a receita e a soma de custos e despesas variáveis que podem ser mensurados e atribuídos diretamente aos objetos de custos, fazendo com que seja evidenciado o valor que cada unidade produzida, pedido, cliente ou unidade de

negócio proporciona à empresa de sobra entre a sua receita e o custo que de fato tenha provocado (MARTINS, 2006). Os custos fixos são subtraídos da MC para se obter o lucro operacional líquido da empresa em um determinado período. A Figura 1 apresenta, esquematicamente, o modelo conceitual do método de custeio direto/variável com o cálculo da MC.

A MC propicia informações ao gerente para decidir se é coerente diminuir ou expandir uma linha de produção, para avaliar as alternativas provenientes do *mix* de produtos, para verificar se é economicamente interessante aceitar um pedido ou não, além de verificar quais produtos, pedidos e clientes são mais lucrativos para a empresa (ASSEF, 2005).

Quando a unidade de mensuração é uma unidade de produto, tem-se a margem de contribuição unitária (MCU). Ressalta-se que, em alguns processos, o cálculo da MCU pode ser impactado por incertezas contábeis decorrentes da variabilidade dos itens que compõem a MCU, tais como: custos variáveis unitários de material direto, de mão de obra direta e de utilidades (por exemplo: energia, água, ar comprimido); despesas variáveis diretas unitárias (como comissões de venda e frete de entrega); e preços de venda (PADOVEZE; 2006). Convém ressaltar que há divergências sobre a classificação da mão de obra como custo variável. Por exemplo, Guerreiro (2006) considera a mão de obra como um recurso com custo de comportamento fixo no curto prazo. No entanto, mesmo tendo comportamento fixo, a mão de obra pode ter seu consumo e seu custo mensurados diretamente em termos de produção de uma unidade de produto.

3.3. Simulação

Inserida no campo de conhecimento da pesquisa operacional, a simulação é uma representação da operação de um processo ou sistema real, num dado período de tempo, que envolve a geração de uma história artificial desse sistema e a observação desta para fazer inferências relativas às características do processo real (BANKS; CARSON; NELSON, 1996). Hillier e Liberman (1995) indicam que a realização de uma simulação inicia-se com o desenvolvimento de um modelo que represente o sistema a ser investigado, modelo este que, no entendimento de Pidd (1996), consiste em uma representação explícita e externa de um extrato parcial da realidade vista pela pessoa que deseja usar um modelo para entender, mudar, gerenciar, indicar políticas e controlar parte daquela realidade. A simulação tem sido utilizada na engenharia para tratar situações

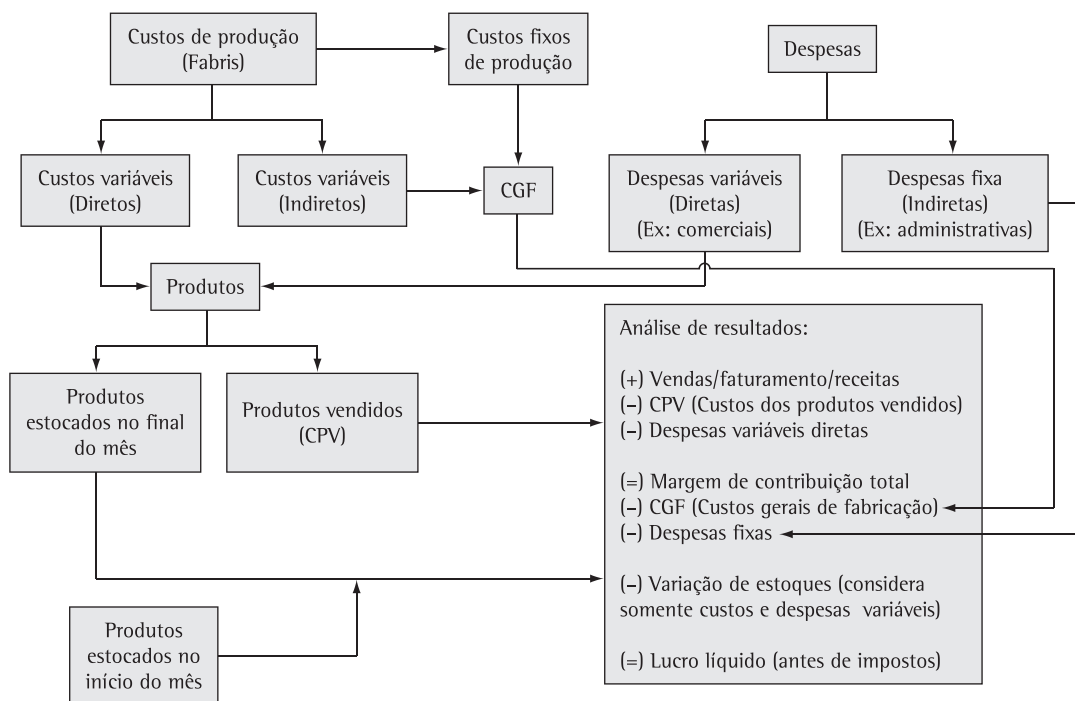


Figura 1. Modelo conceitual do custeio variável/direto com análise de resultados por margem de contribuição. Fonte: adaptado de Costa (1998).

em que se tenta compreender características de um sistema pelo conhecimento de outro que lhe é similar (PRADO, 2004), sendo especialmente útil em situações que envolvem análise de riscos (LUSTOSA; PONTE; DOMINAS, 2004).

A simulação possui dependência com o tipo de variável a ser considerada no modelo. Law e Kelton (1991) e Winston (1994) consideram que existem dois tipos de simulação: (i) de eventos discretos; e (ii) de eventos contínuos. Sakurada e Miyake (2009, p. 26) fazem uma descrição sucinta dos tipos de simulação, argumentando que:

A simulação de eventos discretos abrange o estudo de modelos de simulação cujas variáveis mudam de estado instantaneamente em pontos específicos de tempo, em contraste ao que ocorre com modelos contínuos, cujas variáveis podem mudar de estado continuamente no decorrer do tempo.

No entendimento de Borshchev e Filippov (2004), simulações de eventos discretos abrangem sistemas com médio a alto nível de detalhamento, sendo geralmente aplicadas para modelagem de sistemas com níveis mais baixos de abstração (por exemplo chão de fábrica), ao passo que simulações de eventos contínuos, tais como as baseadas na dinâmica de sistemas (FORRESTER, 1961), é utilizada em modelagem de sistemas agregados com níveis mais altos de abstração (como dinâmicas populacionais).

Buffa (1973) e Winston (1994) sugerem que uma forma de simular um sistema, considerando o comportamento do tipo de variáveis que se pretende analisar, é através do desenvolvimento de um modelo de simulação, utilizando distribuições de frequência de eventos discretos conhecido como método simulação de Monte Carlo, apresentado a seguir.

3.4. Simulação de Monte Carlo

A simulação de Monte Carlo (SMC) envolve o uso de números aleatórios e probabilidades para analisar e resolver problemas. Esse método surgiu no Projeto Manhattan do laboratório de armas nucleares Los Alamos, Estados Unidos, durante a Segunda Guerra Mundial, sendo desenvolvido pelos cientistas John Von Neumann e Stanislaw Ulam. A denominação "Monte Carlo" foi cunhada em referência aos jogos de azar que fazem uso constante de sorteios e de dados, uma atração popular na cidade de Monte Carlo, Mônaco (METROPOLIS; ULAM, 1949; METROPOLIS, 1987).

No entendimento de Lustosa, Ponte e Dominas (2004, p. 251), a simulação de Monte Carlo consiste em um método que "[...] utiliza a geração de números aleatórios para atribuir valores às variáveis do sistema que se deseja investigar". Os

números são obtidos de artifícios aleatórios (por exemplo: tabelas, roletas, sorteios) ou diretamente de softwares, através de funções específicas – para obter mais detalhes sobre métodos de obtenção de números aleatórios, consultar Gentle (2003). A cada iteração, o resultado é armazenado e, ao final de todas as repetições, a sequência de resultados gerados é transformada em uma distribuição de frequência que possibilita calcular estatísticas descritivas, como média (valor esperado), valor mínimo, valor máximo e desvio-padrão, cabendo ainda ao executor das simulações a prerrogativa de projetar cenários futuros de operação do sistema em análise.

O método de simulação de Monte Carlo pode ser aplicado em problemas de tomada de decisão a qual envolva risco e incerteza, ou seja, situações nas quais o comportamento das variáveis envolvidas com o problema não é de natureza determinística (MOORE; WEATHERFORD, 2001; LUSTOSA; PONTE; DOMINAS, 2004). Para operacionalizar a SMC, alguns passos básicos devem ser seguidos, como mostra a Figura 2.

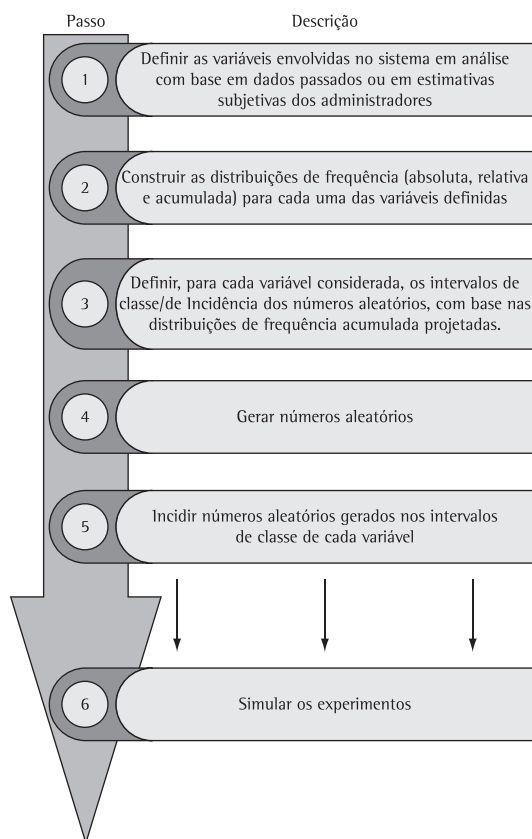


Figura 2. Passos para operacionalização do método de simulação de Monte Carlo. Fonte: Adaptado de Shamblin e Stevens (1974).

Para uma correta operacionalização da SMC, Lustosa, Ponte e Dominas (2004) indicam que a simulação deve ser replicada mais de cem vezes para que se obtenha uma amostra representativa. No entanto, não há recomendação quanto ao número máximo de simulações a serem realizadas. Como instrução básica, deve-se aplicar o maior número de simulações possíveis levando em consideração o poder de processamento do equipamento a ser utilizado, pois o equilíbrio entre precisão e tempo de computação é uma característica importante das simulações baseadas na SMC (ESCLUDERO, 1973).

4. Método proposto

A corrente seção expõe a estrutura do método proposto para auxiliar o processo de análise da viabilidade econômica de aceitação de pedido em uma indústria que possui acentuada variabilidade de custos variáveis diretos unitários. O método é dividido em cinco etapas e utiliza dois *corpus* teóricos: a margem de contribuição e a simulação de Monte Carlo, buscando aproveitar o melhor que cada um pode oferecer tendo em vista a maximização do resultado econômico da empresa. O método aborda a situação em que existe uma demanda a ser atendida (além da que normalmente é suprida pela empresa em um determinado período) relativa a uma encomenda ou pedido realizado por um cliente.

A primeira etapa consiste na verificação do tipo e da quantidade de produtos requerida pelo pedido extra para um determinado período. Na segunda etapa, é realizada uma análise de disponibilidade dos recursos produtivos da operação. Em outras palavras, é verificada a existência ou não de capacidade suficiente para processar o pedido demandado no período requerido. Na etapa três, caso o resultado da verificação anterior seja positivo, é feita uma análise e projeção dos gastos unitários de cada item do pedido, ou seja, dos custos e despesas que incidem em cada tipo de produto demandando, devendo ser minuciosos e possuir uma base de dados confiável, pois tem influência direta nos resultados que embasam a aceitação ou não do pedido. Nessa etapa é verificado, ainda, o preço que o cliente está disposto a pagar por cada tipo de produto do pedido. A etapa quatro consiste na determinação das possíveis margens de contribuição total do pedido (MCTP) para o período em análise, etapa esta que pressupõe as informações extraídas das etapas um e três e é trabalhada através de simulação. Na quinta e última etapa, são projetadas algumas métricas em relação às MCTPs determinadas na etapa anterior, métricas estas que

alicerçam a análise econômica de aceitação do pedido. A Figura 3 mostra, esquematicamente, a estrutura do método proposto.

4.1. Etapa 1 – Verificar tipo(s) e quantidade(s) de produtos solicitados no pedido

Essa etapa consiste no levantamento, dada a solicitação de um cliente, dos tipos e das quantidades de produtos demandados pelo novo pedido para determinado período de interesse. Ressalta-se que não se exclui a possibilidade de um pedido ser composto por apenas um tipo de produto.

4.2. Etapa 2 – Verificar existência de capacidade ociosa suficiente para atender ao pedido

Antes de qualquer análise mais detalhada, é necessário que se verifique se há disponibilidade de capacidade da empresa para atender ao novo pedido no período solicitado. Em havendo, deve-se realizar uma análise minuciosa dos valores monetários envolvidos com o processamento do pedido extra. Essa análise é iniciada na etapa três.

4.3. Etapa 3 – Analisar e projetar gastos unitários do(s) produto(s) solicitado(s) no pedido e o(s) preço(s) máximo(s) que o cliente está disposto a pagar

Para que esta etapa seja concluída com êxito, a estrutura da empresa deve ser conhecida, incluindo o seu funcionamento, mão de obra e matérias-primas utilizadas, produtos fabricados, preços de venda e impostos incidentes.

A etapa três consiste no levantamento e análise de todos os custos e despesas que são variáveis e incidem diretamente no(s) tipo(s) de produto solicitado(s), além do valor que o cliente está disposto a desembolsar para adquiri-lo(s). Para a análise dos custos e despesas com acentuada variabilidade, usam-se dados históricos (variações reais) de um horizonte temporal aceitável. Em seguida, é feita uma avaliação da frequência de incidência desses gastos a fim de projetá-los para o período em análise. Esta projeção é feita através da construção de distribuições de frequência (absoluta, relativa e acumulada) de utilização, por tipo de produto, de cada recurso produtivo. Essas distribuições geradas constituem a base para aplicação de simulação a ser utilizada na determinação da MCTP.

Vale ressaltar que, para efeito do corrente estudo, são trabalhados apenas os gastos variáveis diretos da empresa, pois os gastos fixos (na sua maior parte indiretos), de maneira geral, exercem pouca influência na análise de aceitação de um novo pedido. A seguir, são apresentados os principais custos e despesas considerados no método proposto:

- **Material direto (MD):** Na situação em que o produto é feito a partir de uma mistura de matérias-primas (MP), deve-se levantar, em peso e em valor monetário, cada quantidade/tipo de MP utilizada. O levantamento do quantitativo de material consumido pode ser feito a partir de pesagens de cada lote produzido. Davis, Aquilano e Chase (1999) indicam que o tamanho da amostra a ser testada pode ser de cinco unidades, já que para aplicações industriais do controle de processo é preferível fazer uso de amostras de tamanho pequeno. De posse dessas informações, calcula-se o consumo de matéria-prima para cada produto, para cada lote em análise. Esses valores são projetados a partir de histogramas de frequência e utilizados na determinação da MCU do produto. Vale ressaltar que, no caso de um processo de industrialização no território brasileiro, impostos recuperáveis como ICMS, IPI, entre outros, não valoram os custos, pois são repassados ao consumidor final;

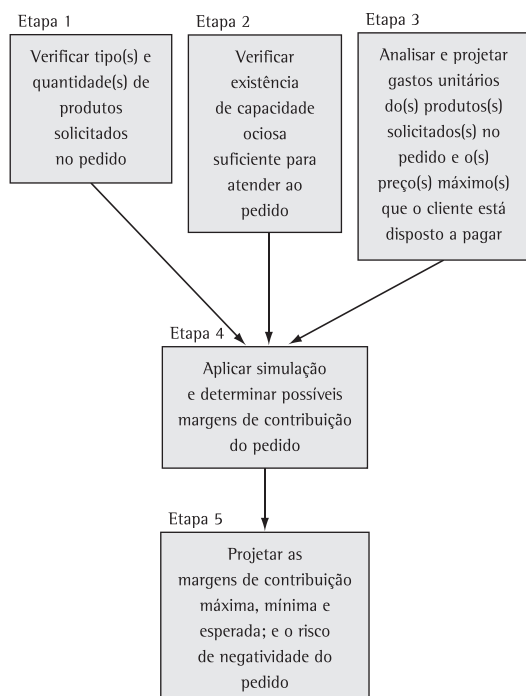


Figura 3. Estrutura do método proposto para análise econômica de aceitação de pedido. Fonte: elaborado pelos autores.

- Mão de obra direta (MOD): Consiste nos salários nominais, encargos sociais e benefícios pagos aos funcionários diretamente relacionados com a fabricação dos produtos. Como esse custo tem relação unívoca com o tempo de processamento destinado pelo operário para cada produto e, no caso desse tempo possuir variabilidade, pode-se fazer uso de distribuições de frequência para projetar esses custos unitários para um determinado período. O levantamento do tempo de trabalho de cada operário pressupõe uma cronometragem *in loco*. Os custos inerentes ao pessoal de apoio à produção, como os supervisores, gerentes, mecânicos, inspetores, faxineiros, entre outros, não compõem a base de cálculo desse gasto, pois são classificados como custos gerais de fabricação (CGF);
- Utilidades: Nos casos em que a fabricação de produtos pressupõe a utilização de maquinário, e este é operacionalizado através de energia elétrica, por exemplo, deve-se determinar quanto custa o consumo energético para cada produto. Ressalta-se que esse custo está diretamente ligado ao tempo do equipamento utilizado para a fabricação de cada produto, aqui denominado tempo de ciclo (TC). Por motivos diversos, como a má qualidade da matéria-prima, por exemplo, verifica-se que esses tempos de processamento podem variar aleatoriamente e gerar incertezas contábeis. De forma similar aos itens anteriores, deve-se analisar o histórico de utilização das máquinas para cada produto. Em seguida, esses dados devem ser projetados na forma de distribuição de frequência;
- Despesas variáveis diretas: Mesmo não relacionado diretamente com o processo produtivo em si, esse tipo de gasto varia com o volume de produtos vendidos e tem influência direta na determinação da MCU. Bernardi (2004) destaca como principais despesas variáveis (que em teoria podem ser diretamente atribuídas aos produtos), os gastos com comissões sobre vendas e distribuição de produtos.

Em suma, o resultado esperado desta etapa é a projeção das distribuições de frequência de utilização de cada recurso em cada unidade de produto a ser produzida, junto aos valores monetários relacionados. Para cada tipo de produto demandado, essas projeções são confrontadas com o preço de venda, definido pelo cliente, multiplicadas pelas quantidades requeridas e utilizadas, através de simulação, na determinação das possíveis MCTPs. Aconselha-se que seja realizado algum tratamento de correção de efeitos temporais. Como sugestão, tem-se a transformação dos dados monetários (custos dos materiais diretos e preços dos produtos finais) em valor constante para o mês de análise a fim de evitar distorções inerentes aos efeitos da inflação.

4.4. Etapa 4 – Aplicar simulação e determinar possíveis margens de contribuição do pedido

Esta etapa consiste na projeção das possíveis margens de contribuição total do pedido (MCTPs) demandado para um determinado período. Primeiramente, estabelece-se a MCU (para cada simulação) de cada tipo de produto demandando a partir do uso de números aleatórios (por exemplo, gerados por algum software específico) que, incidindo sobre as distribuições de frequência extraídas da etapa anterior, resulta em uma determinada quantidade consumida de recurso (como material, mão de obra e utilidades). Multiplicando essas quantidades consumidas, geradas em cada simulação, pelo valor monetário de uma unidade de consumo, consegue-se estabelecer os gastos unitários para cada tipo de produto. A soma desses gastos gerados deve ser dividida por um índice de rendimento, cujo cálculo é exposto na equação 2. Esse índice tem relação com os custos gerados pela fabricação de produtos sem conformidade com a qualidade requerida pelos clientes expressa através de especificações técnicas.

Em cada sorteio ou geração de número aleatório, a probabilidade de um determinado consumo de um recurso ser obtido é igual à probabilidade ou frequência relativa que este recurso tem em relação às demais possibilidades. Destaca-se que cada número aleatório, sendo este não nulo, valoriza-se entre 0 e 1. Para o cálculo da MCTP do pedido solicitado, em cada simulação, faz-se o uso da expressão apresentada a seguir:

$$MCTP_n = \sum_{i=1}^k MCU_{n,i} \times QP_i = \sum_{i=1}^k \left[PV_{n,i} - \left(\frac{CMD_{n,i} + CMOD_{n,i} + CDU_{n,i} + DVU_{n,i}}{IR} \right) \right] \times QP_i \quad (1)$$

onde:

- n - número da simulação realizada;
- i - índice do tipo de produto ($i = 1, 2, 3, \dots, k$);
- $MCTP_n$ - margem de contribuição total do pedido gerada na simulação n ;
- $MCU_{n,i}$ - margem de contribuição unitária do produto do tipo i gerada na simulação n ;
- QP_i - quantidade de produtos do tipo i a ser produzida e vendida para atender ao pedido extra;
- $PV_{n,i}$ - preço de venda do produto do tipo i gerado na simulação n ;
- $CMD_{n,i}$ - custo de material direto do produto do tipo i gerado na simulação n ;

- $CMOD_{n,i}$ - custo de mão de obra direta do produto do tipo i gerado na simulação n ;
- $CDU_{n,i}$ - custo direto de utilidades do produto do tipo i gerado na simulação n ;
- $DVU_{n,i}$ - despesas variáveis unitárias do produto do tipo i gerado na simulação n ; e
- IR - índice de rendimento.

A expressão que define o índice de rendimento é dada por:

$$IR = 1 - \left(\frac{nr}{np} \right) \quad (2)$$

onde:

- nr - número médio de produtos refugados no período; e
- np - número médio de produtos produzidos no período.

Para o cálculo de cada custo unitário ($CMOD_{n,i}$, $CMOD_{n,i}$ ou $CDU_{n,i}$), em cada simulação, utiliza-se a expressão:

$$CUN_{n,i} = CoUN \text{ ALEATÓRIO}_{n,i} \times VURC \quad (3)$$

onde:

- $CUN_{n,i}$ - custo unitário do recurso (material, mão de obra ou utilidades) utilizado no produto do tipo i gerado na simulação n .
- $CoUN$ Aleatório $_{n,i}$ - quantidade de recurso (material direto, mão de obra ou utilidades) utilizado no produto do tipo i e relacionado com o número aleatório gerado simulação n .
- $VURC$ - valor (custo) por unidade de recurso consumido.

O valor da despesa variável direta unitária pode variar, por exemplo, devido à comissão paga aos vendedores pela consecução do novo pedido. Vale ressaltar que o gasto com frete de entrega dos produtos pode também ser considerado como despesa variável direta. Outro ponto a salientar diz respeito à realização do maior número possível de simulações levando em consideração a capacidade de processamento do equipamento a ser utilizado, conforme recomendações de Escudero (1973) e Lustosa, Ponte e Dominas (2004).

4.5. Etapa 5 – Projetar as margens de contribuição máxima, mínima e esperada; e o risco de negatividade do pedido

De posse dos valores provindos da aplicação das simulações, deve-se projetar o valor máximo e mínimo da MCTP para o período em análise. Esses valores extremos servem para informar ao

tomador de decisão quais são os limites financeiros relacionados com a análise de aceitação do pedido. Em seguida, deve-se determinar o valor esperado da MCTP para o período. Esse valor representa a média aritmética de todos os MCTPs extraídos em cada simulação. Finalmente, determina-se a probabilidade da MCTP ser menor que zero, ou seja, de acarretar prejuízo para a empresa. Para efeito do corrente estudo, denomina-se essa probabilidade como “risco de negatividade”. Podem ser projetadas, ainda, as probabilidades das MCTPs sobrepujar determinados valores monetários.

5. Aplicação do método proposto – exemplo didático

5.1. Caracterização da empresa

Esta seção apresenta a aplicação do método proposto a partir de dados e informações coletados em uma indústria que atua na fabricação de produtos plásticos através do beneficiamento de material reciclado. Com mais de 30 anos de existência no mercado, a empresa trabalha com máquinas de injeção e de sopro para fabricar artigos variados como baldes, mesas, cadeiras, dentre outros produtos. Uma pesquisa divulgada pela Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST) revelou que, em 2008, o setor de transformação de plásticos, setor este na qual está inserida a indústria em questão, foi responsável pela geração de 314 mil empregos e apresentou um faturamento de cerca de 41 bilhões de reais, o que mostra a relevância deste setor para a economia do país (ASSOCIAÇÃO..., 2009).

Em um boletim informativo divulgado pelo Compromisso Empresarial para Reciclagem (Cempre), foi afirmado que é possível economizar até 50% de energia com o uso de plástico reciclado (COMPROMISSO..., 2002). Esse fato, aliado ao baixo custo de coleta desse material devido à baixa remuneração dos chamados “catadores”, faz com que o custo desse material seja menor que o custo do plástico “virgem”. Em contrapartida, a qualidade do primeiro tipo de plástico é inferior à do segundo, principalmente no que diz respeito à resistência a esforços mecânicos e à uniformidade de processamento. Uma menor resistência a esforços mecânicos tem impactos negativos sobre a qualidade dos produtos (por exemplo, índices de refugo maiores), enquanto que uma menor uniformidade do processo produtivo acarreta em variabilidade no consumo de recursos produtivos (como material direto; e tempo de mão de obra e de energia elétrica) e, conseqüentemente, nos custos destes.

5.2. Definição do problema

Para efeito do corrente estudo, conjecturou-se que os gestores da indústria em questão necessitavam decidir se atenderiam ou não a um pedido extra para o mês de outubro de um determinado ano. Sabedores de que o processo produtivo da empresa apresentava acentuada variabilidade no consumo de recursos e, conseqüentemente, nos custos, os gestores consideraram como razoável um nível de confiança de 80% para conseguir um resultado econômico positivo com processamento do pedido extra. Dessa forma, os gestores consideraram que correr, no máximo, 20% de risco de obterem um resultado negativo seria razoável tendo em vista a satisfação gerada ao cliente pelo atendimento do pedido. Vale ressaltar que o estudo aborda uma situação hipotética em que são estabelecidas algumas suposições (não descoladas da realidade) sobre o tipo de negócio e sobre o processo produtivo da empresa em questão, suposições estas que balizam o cenário empresarial criado para a aplicação do método proposto de forma a evitar possíveis distorções na análise. As suposições são destacadas a seguir:

- Para o mês de outubro de um determinado ano, prevê-se que a demanda normal não sobrepujará a capacidade de fornecimento da empresa, ou seja, haverá ociosidade no processo produtivo;
- Uma rede de lojas demanda 200.000 unidades do produto “balde para construção” (BCON) para o mês de outubro, com a disponibilidade de pagar até R\$ 1,38 por produto;
- A empresa constata que a capacidade ociosa é capaz de suprir a demanda do pedido extra;
- A empresa fabrica os seus produtos utilizando material reciclado em sete máquinas com características distintas, porém com tempos de ciclo iguais;
- As comissões sobre vendas correspondem a 3% do preço de venda;
- O pedido solicitado não exerce influência na estrutura de custos e despesas fixos/indiretos;
- A empresa não realiza a entrega dos produtos para os clientes.

Nesse contexto, a utilização do método proposto direcionou-se pela seguinte questão: como estabelecer métricas adequadas para alicerçar a decisão econômica de atender ou ao pedido extra de BCON considerando que os custos de produção deste (e, por conseqüência, a margem de contribuição dado que o preço de venda é fixo) sofrem acentuada variabilidade, pois o coeficiente técnico de utilização de material direto (quilograma

de material por unidade de produto) e o tempo de processamento (que influencia o custo de mão de obra e de energia) se modificam com a qualidade da matéria-prima (plástico reciclado)?

Na empresa em estudo, a utilização do método proposto baseado na simulação de Monte Carlo ateve-se ao tratamento estatístico das variáveis que são fontes de incerteza contábeis (quantidade de matéria-prima, tempo de processamento dos produtos, mão de obra direta e energia direta) e que impactam os custos diretos variáveis unitários de produção do produto em questão. Analisando-se um horizonte histórico de dados reais dos nove meses anteriores ao mês em apreciação (outubro), foram levantadas distribuições de frequência das variações (reais) que serviram como base para o tratamento das incertezas envolvidas com a decisão de aceitar ou não o pedido demandando da indústria em apreciação. A aplicação do método proposto é apresentada em detalhes na seqüência do texto.

5.3. Aplicação das etapas 1 e 2

As etapas 1 e 2 foram abrangidas, respectivamente, pela segunda e terceira suposições do estudo. Assim, a definição de métricas para auxiliar a decisão de aceitação do pedido em questão passou pela execução das etapas 3, 4 e 5 do método proposto.

5.4. Aplicação da etapa 3

Para cumprir esta etapa, primeiramente, fez-se um levantamento dos itens que compunham BCON. Constatou-se que uma unidade do produto era composto de uma alça de aço galvanizado 4,0 mm (0,057 Kg) e de material plástico reciclado (B/B Preto), cuja quantidade consumida era variável.

Como a empresa utiliza plástico reciclado como matéria-prima, dependendo da qualidade desta há uma variação no consumo de material e no tempo de fabricação do produto no decorrer do ano. Com isso, fez-se um levantamento histórico dos nove meses anteriores ao período de análise do consumo de material plástico. Os consumos foram segmentados ao máximo com o intuito de se identificar o quanto cada um representava em cada um dos itens produzidos. Para efeito do estudo em curso, analisou-se apenas a variação dos gastos diretos unitários, variação esta que foi projetada na forma de distribuições de frequência para ser trabalhada através de simulação. A Tabela 1, referente ao produto BCON, apresenta o histórico de consumo de material plástico. Vale ressaltar que o levantamento foi realizado através

Tabela 1. Distribuição de frequência do consumo de material plástico reciclado do produto BCON.

Média amostral de consumo de B/B preto. Rec.(Kg)	Frequência absoluta de consumo - balde p/ construção									Consolidado (jan. à set.) - balde p/ construção			
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maió	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Consumo de B/B preto. Rec.(Kg)	Frequência absoluta	Frequência relativa (%)	Frequência acumulada (%)
0,630	200	100	100	200	400	-	400	400	300	0,630	2.100	0,52	0,52
0,631	300	100	-	100	900	-	600	500	800	0,631	3.300	0,82	1,34
0,632	600	300	200	300	1.700	-	800	800	1.300	0,632	6.000	1,49	2,83
0,633	500	500	400	500	2.300	-	1.500	1.200	1.800	0,633	8.700	2,16	4,98
0,634	900	400	700	700	3.200	100	2.100	1.800	2.500	0,634	12.400	3,07	8,06
0,635	1.300	900	700	900	3.900	500	2.800	2.400	3.900	0,635	17.300	4,29	12,34
0,636	1.900	1.600	1.100	1.300	3.300	200	3.500	3.200	5.800	0,636	21.900	5,43	17,77
0,637	2.600	2.300	1.500	1.600	3.100	100	4.200	4.074	5.000	0,637	24.474	6,07	23,84
0,638	3.000	3.100	1.600	1.900	2.995	600	5.100	3.900	4.800	0,638	26.995	6,69	30,53
0,639	3.700	3.900	1.500	2.100	2.500	400	4.500	3.500	4.300	0,639	26.400	6,54	37,07
0,640	4.500	4.700	2.100	2.600	2.100	900	3.800	2.900	3.600	0,640	27.200	6,74	43,82
0,641	5.200	4.200	2.400	2.900	1.800	1.200	3.500	3.200	3.985	0,641	28.385	7,04	50,85
0,642	4.600	3.900	2.889	3.400	1.700	1.400	3.000	2.500	2.800	0,642	26.189	6,49	57,34
0,643	4.000	3.600	3.100	3.836	1.500	900	2.400	2.600	2.700	0,643	24.636	6,11	63,45
0,644	3.200	3.700	3.500	3.700	1.400	1.600	1.800	2.400	2.500	0,644	23.800	5,90	69,35
0,645	2.700	2.900	3.800	3.600	1.200	1.900	1.460	2.100	2.200	0,645	21.860	5,42	74,77
0,646	1.500	2.000	4.200	3.000	800	2.300	900	1.800	2.200	0,646	18.700	4,64	79,40
0,647	1.400	1.494	4.400	2.600	500	2.000	500	1.500	2.000	0,647	16.394	4,06	83,47
0,648	1.300	1.300	3.900	2.100	600	3.200	300	1.000	1.800	0,648	15.500	3,84	87,31
0,649	700	1.300	3.600	1.500	300	3.800	200	700	1.300	0,649	13.400	3,32	90,63
0,650	600	600	2.900	800	200	4.300	-	400	1.700	0,650	11.500	2,85	93,48
0,651	800	800	1.500	400	-	4.400	100	300	1.800	0,651	10.100	2,50	95,98
0,652	698	500	1.100	200	100	3.500	200	-	1.300	0,652	7.598	1,88	97,87
0,653	300	300	900	-	-	2.400	-	100	900	0,653	4.900	1,21	99,08
0,654	100	100	500	100	-	1.300	-	-	500	0,654	2.600	0,64	99,73
0,655	-	200	200	-	-	500	-	-	200	0,655	1.100	0,27	100,00
Produção total	46.598	44.794	48.789	40.336	36.495	37.500	43.660	43.274	61.985	Soma	403.431	100,00	

de amostras de cinco produtos coletadas a cada lote de cem unidades fabricadas e que os dados foram projetados na forma de distribuições de frequência (absoluta, relativa e acumulada).

Em seguida, foram coletadas informações referentes aos preços de aquisição dos materiais, já sendo considerados os efeitos da inflação, para determinar os custos por quilograma de consumo. Vale ressaltar que há produtos formados por mais de um componente, como o produto em questão. De cada componente, foram retirados os impostos sobre compra de matéria-prima, pois estes são recuperados posteriormente na venda. Assim, calculou-se o custo da matéria-prima por produto ou componente, o que resultou no custo de R\$ 1,62 por quilograma comprado de plástico B/B Preto e R\$ 2,464 por quilograma de aço galvanizado 4,0 mm. O custo do material foi alocado diretamente no cálculo do gasto unitário de cada produto.

Para determinação dos custos unitários de mão de obra direta, foi realizado um procedimento similar ao utilizado na determinação dos custos

unitários anteriores. Como os custos unitários de mão de obra direta relacionavam-se diretamente com o tempo despendido pelos operários em cada produto e que, no caso da empresa em questão, esse tempo estava limitado à duração do processamento de cada unidade, foi feito um levantamento histórico dos tempos de ciclo (TC) no horizonte de nove meses. Para esse levantamento, fez-se o uso de amostras de cinco produtos coletadas a cada lote de cem produtos fabricados. Os tempos foram medidos e disponibilizados pelas máquinas injetoras dotadas de medidores internos. Os dados levantados foram projetados na forma de distribuições de frequência, como mostra a Tabela 2.

Para determinação do custo dos funcionários diretamente envolvidos com a fabricação dos produtos, foram analisados os seguintes gastos: o salário pago, adicional noturno, encargos sociais, férias, décimo terceiro salário, vale-transporte, vale-refeição e equipamentos de proteção individual. A partir desses dados, fez-se um consolidado por função, com seu gasto total. Em seguida,

Tabela 2. Distribuição de frequência do tempo unitário de processamento do produto BCON.

Tempo de ciclo (segundos)	Frequência absoluta de tempo de ciclo - balde p/ construção									Consolidado (jan. à set.) - Balde p/ construção			
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maió	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Tempo de ciclo (segundos)	Frequência absoluta	Frequência relativa (%)	Frequência acumulada (%)
24	300	200	-	200	-	-	-	-	400	24	1.100	0,27	0,27
25	900	400	700	500	200	-	-	-	1.200	25	3.900	0,97	1,24
26	1.800	900	1.100	900	300	-	-	-	2.100	26	7.100	1,76	3,00
27	2.900	1.600	1.500	1.300	400	-	-	100	3.100	27	10.900	2,70	5,70
28	3.800	2.300	2.200	1.700	800	-	-	300	4.200	28	15.300	3,79	9,49
29	5.100	3.300	2.900	1.900	1.300	300	200	500	5.800	29	21.300	5,28	14,77
30	6.498	3.900	3.700	2.100	1.700	100	100	700	5.600	30	24.398	6,05	20,82
31	5.300	4.794	4.600	2.600	2.600	500	400	900	5.200	31	26.894	6,67	27,49
32	4.700	4.200	5.800	2.900	3.400	400	800	1.100	4.900	32	28.200	6,99	34,48
33	4.000	3.900	4.900	3.400	4.100	900	1.000	1.300	4.200	33	27.700	6,87	41,34
34	3.200	3.600	4.100	3.900	3.795	1.200	1.600	1.700	3.900	34	26.995	6,69	48,03
35	2.700	3.700	3.889	3.700	3.400	1.400	2.400	2.200	2.885	35	26.274	6,51	54,55
36	1.500	2.900	3.500	3.600	3.000	1.700	2.800	2.900	3.200	36	25.100	6,22	60,77
37	1.400	2.400	3.000	3.000	2.700	1.600	3.500	3.500	2.900	37	24.000	5,95	66,72
38	900	2.100	2.400	2.600	2.100	1.900	4.200	4.400	2.500	38	23.100	5,73	72,44
39	700	2.600	1.800	2.100	1.900	2.300	5.100	3.900	1.900	39	22.300	5,53	77,97
40	600	900	1.100	1.536	1.700	2.000	4.500	3.574	2.100	40	18.010	4,46	82,44
41	300	600	800	1.100	1.400	3.200	3.800	3.300	1.800	41	16.300	4,04	86,48
42	-	300	400	600	900	3.800	3.500	3.200	1.400	42	14.100	3,50	89,97
43	-	200	300	300	500	4.300	3.260	2.800	1.100	43	12.760	3,16	93,13
44	-	-	-	200	200	4.600	2.200	2.400	800	44	10.400	2,58	95,71
45	-	-	100	200	-	3.500	1.800	2.100	400	45	8.100	2,01	97,72
46	-	-	-	-	100	2.100	1.200	1.400	200	46	5.000	1,24	98,96
47	-	-	-	-	-	1.200	900	700	100	47	2.900	0,72	99,68
48	-	-	-	-	-	500	400	300	100	48	1.300	0,32	100,00
Produção total	46.598	44.794	48.789	40.336	36.495	37.500	43.660	43.274	61.985	Soma	403.431	100	

calculou-se o custo da mão de obra por hora e por segundo da função auxiliar de fabricação, função esta diretamente relacionada à fabricação dos produtos. Para tal, analisou-se o somatório dos salários e encargos de cada funcionário e se calculou o custo total de mão de obra direta. O valor total encontrado foi dividido pela carga horária mensal total de trabalho para a determinação do custo por hora. Finalmente, dividiu-se o custo por hora por segundo de trabalho. O custo por segundo de mão de obra encontrado foi de R\$ 0,00101. Esse valor foi multiplicado pelo TC do processamento do plástico (variável) e pelo TC da conformação da alça metálica (8 segundos) para calcular o custo unitário de mão de obra do produto BCON.

Para a determinação dos custos relacionados com a energia diretamente consumida pelas máquinas do setor produtivo, foi feito um levantamento histórico dos gastos totais com energia na empresa. Em seguida, verificou-se que uma parte do consumo energético não se relacionava diretamente com a fabricação dos produtos, como no caso da iluminação, computadores, ar-condicionado, entre

outros. Assim, foi retirado da conta de energia total da empresa, desconsiderando os impostos, apenas o que foi consumido diretamente, considerando o restante como consumo indireto. O valor encontrado foi de R\$ 0,19551 por quilowatt-hora (kWh).

Para encontrar o valor do consumo energético de cada máquina diretamente relacionada com a fabricação dos produtos, foram realizadas mensurações a partir de medidores eletrônicos e observações nos manuais dos fabricantes. Os valores encontrados foram multiplicados pelo custo por kWh previamente calculado, o que resultou no custo de energia por hora de operação de cada máquina. Por motivo de adequação à unidade de tempo utilizada no corrente estudo, o segundo, dividiram-se os valores encontrados por 3.600. Das máquinas utilizadas na produção, verificou-se que a ALÇA 1 operava apenas na fabricação das alças metálicas de 3,4 mm, enquanto a máquina ALÇA 2 fabricava somente as alças de 4,0 mm. Foi verificado, ainda, que o produto BCON poderia ser fabricado em qualquer uma das máquinas dos modelos INJ AB, INJ MN e INJ XY. Assim, de posse da quantidade existente de cada modelo

e considerando que o tempo de ciclo não era afetado pela máquina escolhida para a produção, projetaram-se as probabilidades (a partir de um levantamento histórico de dados reais) das máquinas (por tipo) serem selecionadas para produzir um produto através de distribuição de frequência, como mostra a Tabela 3.

As despesas variáveis consideradas pela empresa em estudo são referentes aos gastos com comissão sobre vendas. Verificou-se que a alíquota da comissão do vendedor praticada correspondia a 3% do preço de venda negociado. As informações obtidas nesta etapa, aliada à projeção das receitas unitárias, foram utilizadas diretamente na determinação das possíveis margens de contribuição unitárias (MCUs) do produto.

5.5. Aplicação da etapa 4

De posse das informações obtidas na etapa anterior, foram determinadas as possíveis MCUs para o mês de outubro de BCON para, então, se chegar aos valores possíveis da MCTP. Para tal, fez-se o uso do método de simulação de Monte Carlo. A utilização desse método para determinação das possíveis MCTPs deu-se da seguinte forma: geraram-se números aleatórios não nulos entre 0 e 1 e os remeteram, com base nas distribuições de frequência estabelecidas, a um valor correspondente de consumo de matéria-prima, tempo de ciclo e custo energético por segundo de operação de máquina. As distribuições de frequência relativa apontaram as probabilidades de ocorrência de cada

valor. Já as distribuições de frequência absoluta serviram como base para a definição dos intervalos, entre 0 e 1, que se relacionavam aos números aleatórios gerados. Esse procedimento foi replicado 500.000 vezes para a consecução de uma amostra representativa da realidade empresarial modelada.

Como exemplo, de acordo com a expressão 3 apresentada na seção 4.4, para o caso do consumo de material plástico reciclado, se o número aleatório gerado em uma simulação fosse igual 0,543, este se situaria no intervalo de classe compreendido entre 50,85 e 57,34% (ou 0,5085 e 0,5734), que corresponderia a um consumo de 0,642 kg de material, conforme Tabela 1. No caso da mão de obra (tempo de ciclo) e da energia, a lógica de simulação é a mesma. A Tabela 4 exemplifica a realização de três simulações para o produto BCON:

Os valores encontrados relativos ao consumo unitário de matéria-prima foram multiplicados, em cada simulação, pelo custo por quilograma do material plástico utilizados por produto. Assim, conseguiu-se determinar o custo de material direto de cada produto fabricado, em cada simulação. Os tempos de ciclo encontrados foram multiplicados pelo custo de mão de obra direta por segundo de trabalho e pelo custo de energia por segundo de operação de máquina para a determinação do custo de mão de obra e da energia de uma unidade de BCON, respectivamente. O somatório dos três custos unitários calculados foi dividido pelo índice de rendimento, como sugere a expressão 2. Para o cálculo do IR, foi realizado um levantamento histórico da quantidade total de BCON produzida

Tabela 3. Custo de energia por segundo de utilização das máquinas e probabilidade de seleção para produção.

Máquina	Consumo de energia (kwh)	Custo / kwh	Custo de energia / hora-máquina	Custo de energia / seg.-Máquina ($\times 10^{-3}$)	Frequência relativa (%)	Frequência acumulada (%)
ALÇA 01	3,04	0,1955	0,5943	0,1651		
ALÇA 02	1,52	0,1955	0,2972	0,0826		
INJ AB 01	34,20	0,1955	6,6864	1,8573	40	40
INJ AB 02	34,20	0,1955	6,6864			
INJ MN 01	30,40	0,1955	5,9435	1,6510	20	60
INJ XY 01	32,30	0,1955	6,3150	1,7542	40	100
INJ XY 02	32,30	0,1955	6,3150			
Total					100	

Tabela 4. Aplicação de simulação de Monte Carlo ao produto BCON.

Nº simulação	Número aleatório	Consumo B/B preto. Rec. (Kg)	Número aleatório	Tempo de ciclo (segundos)	Número aleatório	Custo de energia / seg. máquina ($\times 10^{-3}$)
1	0,543	0,642	0,152	30	0,874	1,8573
2	0,321	0,639	0,946	44	0,121	1,7542
3	0,682	0,644	0,537	35	0,497	1,6510

Tabela 5. Determinação das MCTPs do produto BCON em cada simulação.

Nº simulação	Determinação da MCTP - balde para construção														
	Consumo B/B preto. (kg)	Custo / B/B preto. Rec. (kg)	Tempo de ciclo (seg.)	Custo / seg. de mod. (x 10 ⁻²)	Custo de energia / seg. Máquina (x 10 ⁻³)	Consumo aço galv. 4,0 Mm (kg)	Custo / kg aço galv. 4,0 Mm	Tempo de ciclo (seg.) Alça metál. (kg)	Custo de mod / alça (x 10 ⁻³)	Custo de energia / seg. Alça O2 (x 10 ⁻³)	Receita unitária	Comissão sobre venda	Gasto unitário total	MCU (R\$)	MCTP (R\$)
1	0,642	1,62	30	101	1,6510	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3451	0,0349	6981,46
2	0,639	1,62	34	101	1,8573	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3583	0,0217	4342,17
3	0,648	1,62	41	101	1,7542	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3897	-0,0097	-1930,16
4	0,64	1,62	32	101	1,8573	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3540	0,0260	5190,56
5	0,646	1,62	36	101	1,7542	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3721	0,0079	1587,53
6	0,639	1,62	29	101	1,8573	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3435	0,0365	7298,20
7	0,652	1,62	31	101	1,7542	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3678	0,0122	2433,06
8	0,64	1,62	35	101	1,8573	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3629	0,0171	3416,95
9	0,634	1,62	30	101	1,7542	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3349	0,0451	9015,36
10	0,649	1,62	37	101	1,7542	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3799	0,0001	15,54
11	0,652	1,62	32	101	1,8573	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3741	0,0059	1182,32
12	0,652	1,62	34	101	1,7542	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3764	0,0036	723,27
13	0,643	1,62	41	101	1,8573	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3857	-0,0057	-1132,35
14	0,641	1,62	37	101	1,6510	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3626	0,0174	-9001,00
15	0,639	1,62	28	101	1,6510	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3346	0,0454	9080,83
16	0,638	1,62	38	101	1,7542	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3644	0,0156	3119,84
17	0,649	1,62	37	101	1,7542	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3799	0,0001	15,54
18	0,647	1,62	47	101	1,7542	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,4051	-0,0251	-5015,71
19	0,648	1,62	36	101	1,8573	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3792	0,0008	153,58
20	0,635	1,62	32	101	1,8573	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3457	0,0343	6860,67
21	0,643	1,62	46	101	1,8573	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,4004	-0,0204	-4088,37
22	0,637	1,62	43	101	1,8573	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3816	-0,0016	-310,63
23	0,641	1,62	35	101	1,8573	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3646	0,0154	3082,93
24	0,635	1,62	34	101	1,7542	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3480	0,0320	6401,62
25	0,639	1,62	29	101	1,7542	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3404	0,0396	7915,19
26	0,649	1,62	43	101	1,7542	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3970	-0,0170	-3404,04
27	0,635	1,62	35	101	1,7542	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3508	0,0292	5831,69
28	0,643	1,62	36	101	1,8573	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3709	0,0091	1823,68
29	0,638	1,62	29	101	1,8573	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3418	0,0382	7632,22
30	0,643	1,62	40	101	1,7542	0,057	2,464	8,0	8,08	8,250	1,38	0,0414	1,3785	0,0015	309,88

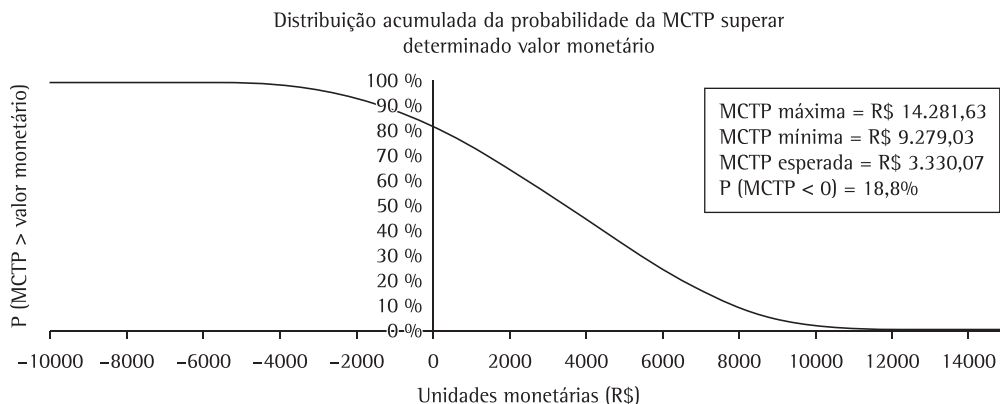


Figura 4. Métricas para análise de viabilidade econômica de aceitação de pedido.

nos nove meses anteriores ao período em análise (403.431 unidades). Em seguida, levantou-se o número total de produtos BCON que não atenderam às necessidades dos clientes, expressas através de especificações técnicas de projeto (12.103 unidades). Dessa forma, obteve-se um IR de 0,97, que foi utilizado para o custeamento de BCON.

Os custos determinados em cada simulação, inflacionados pelo IR, foram somados aos custos unitários relacionados com a fabricação da alça metálica. Finalmente, para o cálculo do gasto total unitário de cada produto, o valor da soma anterior foi adicionado ao valor das despesas variáveis diretas unitárias. Tomando como base a expressão 1 do método proposto, os valores de gasto total unitário foram confrontados com as receitas unitárias para a determinação, em cada simulação, das MCUs do produto BCON. Em seguida, os valores determinados foram multiplicados pela quantidade de BCON demandada pelo pedido (200.000). Dessa forma, obteve-se o valor da MCTP em cada simulação, como mostra a Tabela 5 que ilustra as trinta primeiras simulações realizadas.

Vale ressaltar que foram realizadas 500.000 simulações utilizando o software EXCEL® 2007 da Microsoft. Os números aleatórios gerados não aparecem na Tabela 5, pois estes foram inseridos diretamente nas fórmulas de cálculo de cada item, quando necessário.

5.6. Aplicação da etapa 5

A partir das MCPTs obtidas em cada simulação, as quatro métricas sugeridas na quinta etapa do método proposto foram extraídas. Além disso, foi projetado um gráfico em que são visualizadas as probabilidades do MPCT ser maior que determinado valor monetário em outubro. Os resultados gerados são apresentados na Figura 4.

6. Resultados obtidos

Como a empresa conjecturou, para o mês em apreciação, a existência de capacidade ociosa suficiente para atender ao pedido demandado, a decisão do gestor em relação a atendê-lo ou não deveria pautar-se pela análise da contribuição do pedido ao resultado econômico da empresa, salvo outras razões que não sejam de teor econômico (não consideradas neste estudo). Como uma parcela das possíveis MCTPs projetadas valorou-se negativamente, a empresa corria o risco de ter prejuízo ao processar o pedido. Dessa forma, o gestor, ao tomar a sua decisão, deveria estar ciente do risco que estava envolvido na operação.

Pelos resultados projetados, houve 81,2% de probabilidade de a MCTP gerar valor econômico positivo para a empresa em outubro, sendo o valor esperado de R\$ 3.330,0. Logo, como os gestores da empresa assumiram como razoável a tomada da decisão de aceitação de pedido em um nível de confiança superior a 80% (ou risco inferior a 20%), expresso através do percentil para MCTPs maiores que zero, decidiu-se que seria economicamente admissível processar o pedido.

7. Conclusões, limitações e recomendações

Este trabalho apresentou uma sistemática para a análise de viabilidade econômica de aceitação de um pedido extra a partir da união de conceitos e técnicas provindos da contabilidade gerencial e da pesquisa operacional. Especificamente para o caso em que a empresa operava com uma acentuada variabilidade de custos unitários, realizou-se a aplicação da SMC para a definição das métricas para auxiliar a tomada de decisão de processar um

determinado pedido. Assim, conseguiu-se atingir o objetivo geral do estudo.

O estudo demonstrou que a inclusão do risco na projeção da margem de contribuição agrega utilidade a esse conceito para fins gerenciais ao permitir uma visão mais realista de cenários futuros em situações em que há incertezas contábeis decorrentes de variáveis caracterizadas por um comportamento probabilístico. Além disso, o conhecimento detalhado da estrutura de custos da empresa verificou-se imprescindível para averiguar se determinado pedido contribuía para o aumento do resultado econômico da empresa. Utilizou-se a SMC no tratamento dos custos unitários dos produtos, já que a simples adoção de uma média aritmética para os valores não se adequava à realidade de grande variação.

Convém observar que deve ser feito um acompanhamento contínuo dos gastos pelos gestores para que ações corretivas imediatas possam ser tomadas no momento em que ocorrerem variações acentuadas. Fazer essa análise dos gastos requer disciplina e determinação, além de demandar amplo esforço, porém proporciona informações que ajudam os gestores da empresa a tomarem decisões mais precisas.

Dentre as limitações do trabalho, destaca-se a pouca análise realizada em relação aos fatores não estritamente econômicos que podem influenciar a decisão de aceitar um pedido, como a possibilidade de fidelização do cliente. Portanto, a metodologia de análise econômica de pedidos proposta não deve ser utilizada sozinha, mas em conjunto com outras ferramentas e informações, tendo em vista o pleno conhecimento das condições dos clientes e dos concorrentes da empresa. Apesar de tratar um caso em que os custos utilizados no cálculo da MCU são considerados como variáveis e diretos, reconhece-se que a classificação de custos não é um processo simples quando se leva em consideração um horizonte de curto prazo, o que pode limitar a aplicação do método em outros contextos empresariais. Ressalta-se, ainda, que questões relacionadas a estoques de produtos não foram consideradas e que apenas custos contábeis foram abordados no estudo, sendo desconsiderados, por exemplo, custos de oportunidade envolvidos com a aquisição de insumos. As limitações aqui explicitadas representam oportunidades de pesquisa que podem ser exploradas em trabalhos futuros.

Finalmente, idealiza-se que este trabalho contribua como um referencial teórico para outros estudos que envolvam a análise de aceitação de pedidos dentro do campo da gestão econômica de organizações.

Referências

- ASSEF, R. *Gerência de preços como ferramenta de marketing*. Rio de Janeiro: Campus-Elsevier, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO - ABIPLAST. *Perfil da indústria brasileira de transformação de material plástico*. São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/upload/File/Perfil2008/PERFIL_2008.zip>. Acesso em: 11 set. 2009.
- BANKS, J.; CARSON, J.; NELSON, B. *Discrete-event system simulation*. New Jersey: Prentice Hall, 1996.
- BERNARDI, L. A. *Manual de formação de preços: políticas, estratégias e fundamentos*. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2004.
- BORSHCHEV, A.; FILIPPOV, A. From system dynamics and discrete event to practical agent based modeling: reasons, techniques, tools. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE SYSTEM DYNAMICS SOCIETY, 22., 2004, Oxford, England. *Proceedings...*
- BRUNI, A. L. *Administração de custos, preços e lucros*. São Paulo: Atlas, 2006.
- BUFFA, E. S. *Modern production management*. 4th ed. New York: John Wiley & Sons, 1973.
- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM - CEMPRE. *CEMPRE informa*, n. 66, 2002. Disponível em: <http://cempre.tecnologia.ws/cempre_informa.php?lnk=ci_2002-1112_inter.php>. Acesso em: 06 ago. 2009.
- COSTA, R. P. *Proposta de modelo e implementação de um sistema de apoio a decisão em pequenas empresas*. 198 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B. *Fundamentals of operations Management*. 3rd ed. Boston: McGraw-Hill, 1999.
- ESCUADERO, L. F. *La simulación en la empresa*. Bilbao: Ediciones Deusto, 1973.
- FORRESTER, J. W. *Industrial dynamics*. Cambridge: MIT Press, 1961.
- FOSTER, B. P.; BAXENDALE, S. J. The absorption vs. direct costing debate. *Cost Management*, v. 22, n. 4, p. 40-48, 2008.
- GARRISON, R. H.; NOREEN, E. W.; BREWER, P. C. *Managerial accounting*. 11th ed. New York: McGraw-Hill, 2006.
- GENTLE, J. E. *Random number generation and Monte Carlo methods*. 2nd ed. New York: Springer, 2003.
- GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GUERREIRO, R. *Gestão do lucro*. São Paulo: Atlas, 2006.
- HANSEN, D. R.; MOWEN, M. M. *Cost management*. 2nd ed. Cincinnati: South-Western College Publications, 1997.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. *Introduction to operations research*. New York: McGraw Hill, 1995.
- LAW, A. M.; KELTON, W. D. *Simulation modeling and analysis*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1991.
- LUSTOSA, P. R. B.; PONTE, V. M. R.; DOMINAS, W. R. Simulação. In: CORRAR, L. J.; THEÓPHILO, C. R. (Orgs.). *Pesquisa Operacional para decisão em contabilidade e administração*. São Paulo: Atlas, 2004.

- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. *Fundamentos de metodologia científica*. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- MARTINS, E. *Contabilidade de custos*. 9 ed. São Paulo: Atlas, 2006.
- METROPOLIS, N. *The beginning of the Monte Carlo method*. Los Alamos Science, 1987, p. 125-130. Disponível em: <<http://library.lanl.gov/la-pubs/00326866.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2009.
- METROPOLIS, N.; ULAM, S. The Monte Carlo method. *Journal of the American Statistical Association*, v. 44, n. 247, p. 335-341, 1949.
- MOORE, J. H.; WEATHERFORD, L. R. *Decision modeling with Microsoft Excel*. 6th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001.
- PADOVEZE, C. L. *Curso básico gerencial de custos*. 2 ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006.
- PIDD, M. *Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão*. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 1996.
- PRADO, D. *Teoria das filas e da simulação*. 2ª ed. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2004.
- SAKURADA, N.; MIYAKE, D. I. Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços. *Gestão & Produção*, v. 16, n. 1, p. 25-43, 2009.
- SHAMBLIN, J. E.; STEVENS, G. T. *Operations research: a fundamental approach*. New York: McGraw-Hill, 1974.
- WINSTON, W. L. *Operations research: applications and algorithms*. 3rd ed. Belmont: Duxbury Press, 1994.
- YIN, R. K. *Estudo de caso: planejamento e método*. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

Monte Carlo simulation applied to order economic analysis

Abstract

The use of mathematical and statistical methods can help managers to deal with decision-making difficulties in the business environment. Some of these decisions are related to productive capacity optimization in order to obtain greater economic gains for the company. Within this perspective, this study aims to present the establishment of metrics to support economic decisions related to process or not orders in a company whose products have great variability in variable direct costs per unit that generates accounting uncertainties. To achieve this objective, is proposed a five-step method built from the integration of Management Accounting and Operations Research techniques, emphasizing the Monte Carlo simulation. The method is applied from a didactic example which uses real data achieved through a field research carried out in a plastic products industry that employ recycled material. Finally, it is concluded that the Monte Carlo simulation is effective for treating variable direct costs per unit variability and that the proposed method is useful to support decision-making related to order acceptance.

Keywords

Order acceptance. Contribution margin. Monte Carlo simulation.