

Aplicabilidade do Método de Simulação de Monte Carlo na Previsão dos Custos de Produção de Companhias Industriais: O Caso Companhia Vale do Rio Doce

Autores:

PEDRO HENRIQUE DUARTE OLIVEIRA

(PMIRPGCC - UNB/UFPB/UFPE/UFRN)

NARA ROSA BARROS

(PMIRPGCC - UNB/UFPB/UFPE/UFRN)

SOLANGE GARCIA DOS REIS

(PROGRAMA MULTIINSTITUCIONAL E INTER-REGIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS CONTÁBEIS)

RESUMO

Com a dificuldade encontrada em se tomar decisões no ambiente empresarial e com a constante evolução tecnológica, busca-se cada vez mais colher evidências acerca da utilidade de métodos matemáticos/estatísticos no auxílio ao processo decisório. Nesse contexto, o presente artigo objetiva testar a aplicabilidade do Método de Simulação de Monte Carlo em situações que apresentam fatos modificativos relevantes. Escolheu-se, dessa forma, realizar um estudo sobre os custos de produção da Companhia Vale do Rio Doce – CVRD considerando a sua privatização ocorrida em 1997. Utilizou-se como premissa a redução dos custos variáveis da companhia, bem como o crescimento anual de sua receita operacional líquida, afirmação esta destacada por Oliveira e Lustosa (2005). Os dados das variáveis analisadas foram os mesmos utilizados no artigo citado e foram extraídos das demonstrações contábeis publicadas entre 1990 e 2004. Foram realizadas análises sobre as amostras reais e simuladas em duas aplicações do Método: aplicação que desconsiderava os efeitos da privatização e aplicação que os considerava. Os resultados obtidos demonstram adaptação e flexibilidade do Método em situações adversas, o que evidencia a sua adequação na previsão dos custos de produção e conseqüente auxílio ao processo decisório.

1 Introdução

No âmbito da redução da participação estatal na economia brasileira nas décadas de 80 e 90, diversos pesquisadores [OLIVEIRA; LUSTOSA, 2005; COLODETI FILHO; GOMES; TEIXEIRA, 2003; CHAN; SANTOS; SILVA, 2003; OLIVEIRA; LIMA, 2002] focaram seus estudos na análise das companhias privatizadas, tanto na esfera operacional quanto financeira. Esses estudos incentivaram a busca por evidências de melhoria produtiva.

No artigo de Oliveira e Lustosa (2005) é feita uma comparação a respeito dos custos de produção antes e após a privatização da Companhia Vale do Rio Doce a partir do método de regressão e de inferências estatísticas. Os custos de produção diretamente envolvidos na pesquisa foram os custos primários, que compreendem a soma da matéria prima com a mão-de-obra direta. Entretanto, os autores impuseram restrição ao conceito originário de custos primários como forma de alcançar os objetivos propostos no estudo.

Com isso, o custo com a mão-de-obra direta foi tratado levando em consideração o conceito de custo fixo, pois, no Brasil, grande parte dos empregados são remunerados por um

ordenado fixo. Assim, apenas os materiais diretos foram considerados refletores do efetivo desempenho produtivo, tendo em vista que são considerados genuinamente variáveis.

Sob esse contexto, o referido artigo objetivou testar a hipótese de melhoria da eficiência produtiva da CVRD a partir da identificação empírica do comportamento dos seus custos de fabricação. Para alcançar o objetivo almejado, foi necessária a identificação dos componentes fixos e variáveis dos custos envolvidos no processo produtivo por meio da análise de regressão linear. Essa necessidade se deve ao fato da variável dependente – Custo dos Produtos Vendidos – ser considerada, naquela pesquisa, como um custo semivariável ou custo misto.

Com o crescimento da complexidade dos problemas reais e a evolução dos sistemas computacionais, a simulação aparece como um instrumento cada vez mais utilizado nas mais variadas áreas de conhecimento. Nesse contexto, a simulação é utilizada para o estudo de problemas, geralmente complexos, para os quais não se dispõe de solução analítica. Em termos mais práticos, consiste no desenvolvimento de um modelo ou representação de uma situação real (ou ainda por existir) e, por intermédio do uso do computador, possibilita a realização de experimentos com vários cenários. Desse modo, é uma ferramenta de auxílio na avaliação de sistemas fornecendo uma melhor compreensão ao invés de gerar simplesmente uma solução.

A Simulação de Monte Carlo é utilizada na avaliação de fenômenos que se podem caracterizar por um comportamento probabilístico. Por meio da geração de números aleatórios, permite resolver uma quantidade grande de problemas com a simulação de cenários e o posterior cálculo de um valor esperado. É importante salientar que esse método admite a implantação de hipóteses adicionais nas previsões.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é testar a aplicabilidade do método supracitado na previsão dos custos de produção após a desestatização da Companhia Vale do Rio Doce, considerando os impactos desse fator. Para tanto, os dados simulados encontrados serão comparados, por meios estatísticos, com os dados reais e confrontados com a pesquisa bibliográfica. Com isso, pretende-se responder a seguinte questão de pesquisa: O modelo de Simulação de Monte Carlo é viável como metodologia para previsão dos custos de produção da empresa analisada?

O presente estudo mostra-se relevante sob dois aspectos. Em primeiro lugar, pela escassez de pesquisas que buscam analisar a aplicabilidade de métodos matemáticos no auxílio aos gestores quando do processo decisório, sendo esse um campo ainda a se explorar no Brasil. Em segundo lugar, o estudo pode revelar se são realmente válidas as premissas destacadas por Oliveira e Lustosa (2005), de que houve uma possível redução dos custos operacionais variáveis da companhia e, em contrapartida, uma tendência crescente das receitas operacionais no período em análise.

O trabalho está dividido em cinco sessões. Após essa introdução, é apresentado o referencial teórico, que envolve o processo de simulação, o método de simulação de Monte Carlo e a análise de regressão linear presente no artigo de Oliveira e Lustosa (2005). A terceira seção proporciona uma visualização do desenho da pesquisa, indicando como foi realizada, a fonte de informações e seu tratamento. A seção subsequente evidencia os resultados obtidos com a pesquisa, bem como os comentários pertinentes. Por último, a quinta sessão apresenta as considerações finais.

2 Referencial Teórico

2.1 Simulação

A simulação é um mecanismo de análise quantitativa muito utilizado nas empresas para o tratamento de problemas administrativos. Isso decorre da crescente necessidade de investigações em seus sistemas, buscando a obtenção de informações sobre os relacionamentos existentes entre as variáveis que os compõem para prever os futuros desempenhos sob as novas condições (LUSTOSA; PONTE; DOMINAS, 2004).

De acordo com Lustosa, Ponte e Dominas (2004, p. 244), “o estudo de um sistema pode ser efetuado através de observações no sistema real ou utilizando um modelo que o represente. Em alguns casos, é possível alterar o sistema real e operá-lo sob as novas condições”. Muitas vezes, o sistema ainda não existe e, por isso, um modelo que o represente é construído e estudado.

Segundo os mesmos autores, os modelos classificam-se em físicos ou matemáticos. Para consecução dos objetivos propostos adotar-se-á, no presente estudo, a abordagem matemática, que representa os relacionamentos existentes entre as variáveis, em termos lógicos e quantitativos, sendo possível soluções tanto analíticas quanto por meio de simulações.

A solução analítica aplica-se quando existe a possibilidade de desenvolver um raciocínio matemático e determinar os valores das variáveis envolvidas. A análise matemática permite explorar um grande número de casos teóricos, alguns muito comuns na realidade. Contudo, para as situações mais complexas, recorre-se aos chamados métodos de simulação. É importante ressaltar que não se deve opor os métodos de simulação aos métodos analíticos. Ao contrário, um complementa o outro (LUSTOSA; PONTE; DOMINAS, 2004).

Assim, a simulação pode representar um fator positivo na tomada de decisões, uma vez que permite a realização de inferências, por meio de experimentos, sobre o comportamento dos sistemas. Tal constatação proporciona à direção a possibilidade de examinar e avaliar diversos planos muito antes de acatar projetos importantes. Uma vez determinado o plano mais conveniente, aquele que contém o máximo de vantagens e o mínimo de desvantagens, pode-se por em prática na situação real (ESCUADERO, 1973).

A simulação segue uma seqüência lógica de etapas para a elaboração de um modelo: a identificação do problema; a introdução das variáveis associadas ao problema; a construção do modelo; o teste do modelo; a realização do experimento; a avaliação dos resultados e possíveis necessidades de alterações no modelo ou nos dados imputados; e a decisão do curso de ação (RENDER; STAIR, 1977).

Existem dois tipos de modelos de simulação: o determinístico e o probabilístico. Nos modelos determinísticos, segundo Reis e Martins (2001, p. 58), “pressupõe-se que os dados são obtidos com certeza”, ou seja, não incorpora as probabilidades de que o valor escolhido para a simulação sofra alterações futuras. Já o segundo modelo incorpora o comportamento probabilístico no relacionamento interno do sistema, na tentativa de capturar a natureza probabilística envolvida nas variáveis que cercam o sistema, por meio da utilização da técnica estatística e do uso de computadores (NASCIMENTO; ZUCCHI, 1997).

Os modelos de simulação probabilísticos tiveram sua origem no método de Monte Carlo e têm como foco simulações de fenômenos aleatórios, introduzindo a análise de riscos, incorporando as variáveis ambientais e, conseqüentemente, os elementos de incerteza inerentes (NASCIMENTO; ZUCCHI, 1997).

2.1.1 Simulação de Monte Carlo

A Simulação de Monte Carlo tem este nome devido à famosa roleta de Monte Carlo, no Principado de Mônaco. Seu nome, bem como o desenvolvimento sistemático do método, data de 1944, quando da Segunda Guerra Mundial, período em que foi ferramenta de pesquisa para o desenvolvimento da bomba atômica.

Hammersley e Handscomb (1964, p. 3), definem o Método de Monte Carlo como sendo “a parte da matemática experimental que está preocupada em experiências com números aleatórios”. O Método de Monte Carlo é uma expressão muito geral, onde as formas de investigação estão baseadas no uso de números fortuitos e estatística de probabilidade.

Esse método consiste na substituição do estudo de um processo físico ou matemático por um modelo probabilístico que possa tratar problemas determinísticos por meio de amostras aleatórias ou por meio de números pseudo-aleatórios gerados por um computador. (ESCUADERO, 1973).

Para resolver um problema através desse método, são utilizadas séries de tentativas aleatórias. A precisão do resultado final depende, em geral, do número de tentativas. O equilíbrio entre a precisão do resultado e o tempo de computação é uma característica útil dos métodos de Monte Carlo (ESCUADERO, 1973).

Para executar o Método de Monte Carlo, existem algumas fases básicas que devem ser seguidas: definição das variáveis envolvidas com base em dados passados ou em estimativas subjetivas dos administradores; identificação das distribuições de probabilidades das variáveis aleatórias relevantes para o estudo; construção das distribuições de probabilidades acumuladas para cada uma das variáveis definidas; definição dos intervalos dos números aleatórios para cada variável; geração dos números aleatórios; e simulação dos experimentos (LUSTOSA; PONTE; DOMINAS, 2004).

Ressalta-se que as populações analisadas devem ter certos parâmetros, como média e desvio padrão, e podem apresentar vários comportamentos como Normal, Exponencial e Uniforme. As amostras obtidas devem ser aleatórias. Para isso, é preciso obter uma seqüência de números aleatórios. Computacionalmente, esta seqüência é facilmente obtida, utilizando um gerador de números aleatórios. Os números gerados são pseudo-aleatórios, mas, geralmente, são suficientes para obter aproximações razoáveis de números aleatórios inteiros e podem ser utilizados para obter amostras aleatórias de alguma população de interesse.

A distribuição de freqüência estatística de interesse é freqüentemente chamada de distribuição aleatória empírica, e pode ser comparada com a distribuição aleatória teórica apropriada. Para isso, é preciso confrontar o comportamento da distribuição aleatória empírica com a distribuição aleatória teórica da estatística (BARROS; MAZUCHELI, 2005).

2.2 Análise de regressão nos custos de produção da CVRD segundo a abordagem de Oliveira e Lustosa (2005)

Com o intuito de analisar a variação dos custos variáveis na Companhia Vale do Rio Doce antes e após a privatização, Oliveira e Lustosa (2005) aplicaram o método de análise de regressão a fim de separar os dados dos custos de produção em custos fixos e custos variáveis, já que o CPV é um item de custo que pode ser considerado semivariável.

O método de análise de regressão, de acordo com Colodeti Filho, Gomes e Teixeira (2003), permite a construção de uma reta que melhor se adapta a um conjunto de pares ordenados das variáveis, por meio de dados históricos coletados.

As variáveis utilizadas na pesquisa de Oliveira e Lustosa (2005) foram o custo dos produtos vendidos – CPV e a receita operacional líquida – ROL. Utilizou-se a inferência de que o CPV é uma função direta da ROL, ou seja, existe uma relação linear entre as variáveis. Além disso, a distribuição probabilística das variáveis foi considerada como normal (ver seção 4.3).

Nesse contexto, procurou-se determinar equações da reta que identificassem adequadamente a relação entre as variáveis adotadas no modelo. Os autores separaram todos os componentes *betas* das equações regredidas, antes e após a privatização, como forma de testar empiricamente alterações nos custos variáveis da companhia.

Os dados da amostra tiveram como base as demonstrações financeiras publicadas pela Companhia Vale do Rio Doce, entre 1990 e 2004. A pesquisa utilizou vinte e oito observações antes da privatização (referentes ao 1º trimestre de 1990 até o 4º trimestre de 1996) e o mesmo número de observações após a privatização (referentes ao 1º trimestre de 1998 até o 4º trimestre de 2004). É importante destacar que o ano de 1997 não foi incluído na amostra por ter sido o ano da privatização e, por isso, apresentar dados heterogêneos.

A pesquisa analisou ainda a correlação entre as variáveis a fim de identificar a intensidade da aderência entre elas. O resultado foi de um relacionamento positivo moderado entre os dois conjuntos de dados. Testes de robustez foram utilizados como forma de atribuir validade empírica às regressões realizadas.

Com a efetivação de testes de médias (teste *F* para variâncias e teste *t* para médias de amostras em par) sobre os resultados, verificou-se que a hipótese de que os custos variáveis reduziram com a privatização foi validada. O coeficiente *beta* que representa o fator de custo variável unitário em relação à receita operacional líquida passou de 0,8036 a 0,5399 após a privatização. Os autores utilizaram-se de restrição ao conceito originário de custos primários como forma de alcançar os objetivos propostos. Nesse sentido, os custos variáveis restringiam-se, naquele estudo, aos materiais diretos, o que proporcionou aos pesquisadores obter inferências acerca do desempenho produtivo/operacional da companhia.

Ressalte-se que, para chegar a tais conclusões, era necessário que houvesse uma tendência crescente das receitas da CVRD, uma vez que observado um relacionamento positivo entre as variáveis, uma queda nas receitas levaria, conseqüentemente, a uma redução natural dos custos de produção. Essa tendência foi observada e, ainda, proporcionou a esta pesquisa identificar o crescimento médio das receitas no período pós-privatização. Tal observação foi vital para execução das simulações considerando a hipótese de desestatização da empresa, conforme item 4.2 adiante.

3 Proceder Metodológico

Para alcançar os objetivos propostos, o presente trabalho utilizou o Método de Simulação de Monte Carlo com o intuito de verificar o impacto do fator privatização nos dados coletados de custos de produção (variável dependente) e de receita operacional líquida (variável independente) da Companhia Vale do Rio Doce.

Os dados coletados para a investigação tiveram a mesma base do trabalho de Oliveira e Lustosa (2005), ou seja, os demonstrativos financeiros publicados pela Companhia no período de 1990 a 2004. As variáveis analisadas são as mesmas adotadas no estudo desenvolvido pelos autores, citadas no parágrafo anterior.

Conforme explicitado no item 2.2 deste trabalho, cada ano analisado possui quatro observações, as quais se referem a seus trimestres. Foram analisados sete anos antes da

privatização e sete anos depois desse evento, totalizando cinquenta e seis observações, sendo que vinte e oito compreendidas no período de 1990 a 1996 (primeira amostra) e vinte e oito no período de 1998 a 2004 (segunda amostra). O ano de 1997 foi o ano da privatização e, com isso, não foi incluído em nenhuma amostra.

Com o emprego da Simulação de Monte Carlo, comparam-se os custos de produção da Companhia Vale do Rio Doce no período antes da privatização com os custos dos produtos após a privatização em duas situações: aplicação do método sem considerar qualquer hipótese adicional; e aplicação do método considerando a hipótese de crescimento anual da receita operacional líquida e decrescimento inicial dos custos dos produtos vendidos, tendo como premissa a redução dos custos variáveis com a privatização, conforme destacado no artigo de Oliveira e Lustosa (2005).

Segundo Lustosa, Ponte e Dominas (2004), para a efetivação da simulação, deve-se encontrar cem números aleatórios, no mínimo, para cada um dos resultados almejados, pois quanto maior for a amostra, melhores os resultados obtidos. Os autores ressaltam, ainda, a importância de se conhecer a distribuição de probabilidades das variáveis estudadas.

No caso deste trabalho, com base em dados históricos, considerou-se que o comportamento das variáveis se aproxima da distribuição normal. Sendo assim, algumas etapas foram seguidas para alcançar cada número aleatório necessário. A efetivação dos procedimentos metodológicos e dos cálculos se deu por intermédio de planilhas eletrônicas.

Em relação ao tratamento desse tipo de distribuição de probabilidades, o *Excel*¹ possui uma função estatística programada denominada INV.NORM, a qual retorna o inverso da distribuição cumulativa normal para a média e o desvio padrão especificados (LUSTOSA; PONTE; DOMINAS, 2004).

Nesse caso, a fórmula para a possível geração de números aleatórios no aplicativo tem o seguinte formato:

=inv.norm(aleatório());célula da média;célula do desvio padrão)

Percebe-se, com isso, que é preciso calcular a média e o desvio padrão para cada amostra. O termo *aleatório()* indica que os valores da amostra são variáveis e, por isso, deve-se gerar um número fortuito.

A primeira aplicação, ao desconsiderar qualquer hipótese adicional, verifica como estariam os custos de produção da Companhia Vale do Rio Doce se a mesma não tivesse sido privatizada. Para a efetivação dessa aplicação, os dados de vinte e oito trimestres antes da privatização dos custos dos produtos vendidos foram simulados aleatoriamente para mais vinte e oito trimestres, ou seja, sete anos.

Para cada trimestre simulado, foram elaborados, segundo o formato da fórmula acima mencionada, cem números aleatórios. A média desses valores foi considerada o valor esperado e adicionada à amostra de CPV, alterando a média aritmética bem como o desvio padrão da distribuição, para a obtenção do próximo trimestre e assim por diante. Dessa forma, para essa aplicação, foram elaborados dois mil e oitocentos números aleatórios.

Já a segunda aplicação utilizada do método considera a hipótese de contínuo crescimento da receita operacional líquida e de decrescimento inicial dos custos dos produtos vendidos no período pós-privatização. Para essa aplicação simulou-se, a partir da amostra pré-privatização da ROL, vinte e oito trimestres pós-privatização da mesma variável, considerando o crescimento de 15% anual. Da mesma forma que a outra aplicação, foram

¹ Software marca registrada da Microsoft® Corporation (Planilhas eletrônicas).

elaborados com números aleatórios para cada trimestre simulado de ROL e a média foi novamente considerada o valor esperado. Até esse momento, desconsiderou-se o crescimento da ROL. Porém, após a obtenção dos vinte e oito trimestres, adicionou-se o crescimento esperado a cada período.

Em relação ao decréscimo do CPV, utilizou-se como premissa a redução dos custos variáveis após a privatização, de acordo com Oliveira e Lustosa (2005). O CPV, sendo uma função da ROL, terá um contínuo crescimento também. Porém, seus primeiros anos pós-privatização terão valores menores que os períodos antes da privatização. Para a adequação dessa situação ao método, utilizou-se a equação encontrada na regressão linear presente no artigo citado, utilizando a receita operacional líquida simulada, já considerando o seu crescimento.

Dessa maneira, para a realização da segunda aplicação, foram elaborados mais dois mil e oitocentos números aleatórios, tendo em vista que o objetivo era encontrar vinte e oito valores simulados de CPV para o período de sete anos após a privatização. No total, foram elaborados cinco mil e seiscentos números aleatórios pelo Método de Monte Carlo.

Após a coleta dos dados simulados para cada uma das situações, as informações foram analisadas quantitativamente por meio da estatística descritiva, comparando as situações antes e após a privatização, assim como confrontando-as com a pesquisa bibliográfica. Para atribuir maior rigidez metodológica à análise de dados e, de certa forma, extrair a subjetividade da análise por intermédio de estatísticas descritivas e gráficos de dispersão, foram acrescentados testes de médias para cada situação, com o intuito de verificar a validade das hipóteses levantadas.

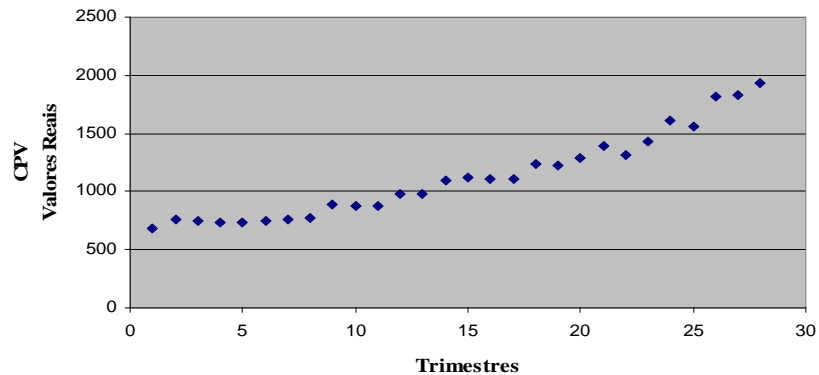
4 Resultados e Análises

4.1 Primeira Aplicação: Simulação do CPV sem considerar qualquer hipótese adicional

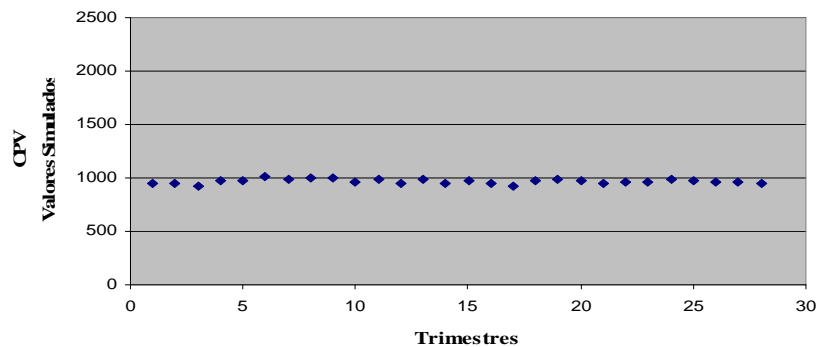
Nessa situação foram utilizados como base os valores dos custos dos produtos vendidos no período antes da privatização (1990 a 1996) e, a partir da aplicação do Método de Monte Carlo, foram encontrados vinte e oito valores simulados que se referem ao período pós-privatização.

Os valores simulados da presente situação não consideram o fator desestatização, tornando-se uma continuação dos sete anos anteriores à privatização. Os resultados encontrados simulam a provável situação dos custos de produção da Companhia Vale do Rio Doce se a mesma ainda fosse estatal.

Dessa forma, era provável que os custos simulados se diferenciasssem dos custos reais, tendo em vista a desconsideração de um efeito tão relevante. Pode-se notar essa situação, intuitivamente, a partir da observação dos gráficos 1 e 2. Os dados que os geraram referem-se ao CPV real do período pós-privatização e ao CPV simulado do mesmo período, respectivamente.



**Gráfico 1 – CPV real X Tempo (R\$ Milhões)
Período pós-privatização (1998 a 2004)**



**Gráfico 2 – CPV simulado X Tempo (R\$ Milhões)
Período pós-privatização (1998 a 2004)**

É possível perceber que os gráficos foram elaborados com a mesma escala. Isso resulta da maior facilidade de comparação entre as amostras nessas circunstâncias, evitando a interpretação errônea (TOLEDO; OVALLE, 1992).

Com o auxílio dos gráficos, pode-se observar um padrão não uniforme na distribuição dos pontos, considerando um comparativo entre as duas situações. O gráfico 2 possui pontos apenas na faixa de custos de R\$ 1 bilhão, enquanto o gráfico de custos reais possui pontos que variam na faixa de R\$ 500 milhões até R\$ 2 bilhões.

No sentido de aprofundar mais o estudo, apresenta-se as estatísticas descritivas das amostras na Tabela 1:

**Tabela 1 – Estatísticas Descritivas
CPV reais e simulados sem considerar hipótese adicional**

	DADOS REAIS	DADOS SIMULADOS
Média	1,129E+06	9,668E+05
Mediana	1,105E+06	9,663E+05
Desvio Padrão	3,720E+05	2,279E+04
Variância da amostra	1,384E+11	5,194E+08
Assimetria	0,72	0,18
Amplitude	1,255E+06	9,381E+04
Mínimo	6,828E+05	9,235E+05
Máximo	1,938E+06	1,017E+06
Coefficiente de Variação	0,33	0,02

Em relação às amostras em questão, a média dos valores reais é, aproximadamente, 17% maior que a média dos valores simulados. Essa medida não é muito relevante, tendo em vista que a média não fornece qualquer informação sobre outros aspectos da distribuição, que não seja a posição central.

Com o intuito de complementar a informação contida na média, analisa-se o desvio padrão e a variância, que avaliam a dispersão dos conjuntos de valores em análise. A variância de um conjunto de dados é calculada em função dos desvios quadráticos e, assim, sua unidade de medida equivale à unidade de medida dos dados ao quadrado.

No entanto, o desvio padrão é expresso na mesma unidade de medida dos dados em questão, tendo em vista que é a raiz quadrada da variância. Assim, é mais comum o uso dessa medida. Ao compararmos os desvios padrão dos conjuntos de dados, podemos avaliar quão dispersas estão as distribuições. O desvio padrão será sempre não negativo e será tão maior quanto mais dispersos forem os valores observados (BARBETTA, 2003). Nessa análise, a amostra de valores reais apresenta um desvio muito maior em relação à outra amostra, significando maior dispersão de seus valores, o que pode ser visualmente observado pelo gráfico 1.

Em relação à mediana, a amostra de valores reais é aproximadamente 14% maior que a de valores simulados. Comparando-a com a média, percebe-se uma maior aproximação das amostras. A mediana é o valor que divide uma série ordenada de tal forma que pelo menos a metade seja igual ou maior do que ela. É uma medida muito utilizada na análise de dados estatísticos, principalmente ao não se atribuir importância aos valores extremos da variável (TOLEDO; OVALLE, 1992).

Nos dois casos, a média é maior que a mediana. Esse fato sugere uma distribuição assimétrica. Contudo, a diferença entre as duas é pequena, tornando a distribuição mais igualitária. Na análise presente, os valores simulados representam uma distribuição significativamente mais simétrica que os demais, tendo em vista que quanto mais próxima de zero, mais simétrica é a distribuição (BARBETTA, 2003).

O intervalo ou amplitude se refere à diferença entre o ponto máximo e o mínimo. Na observação dessas estatísticas, percebe-se a grande distância entre os pontos extremos dos valores reais com os simulados, bem como a grande diferença em suas amplitudes.

Por último, o coeficiente de variação é decorrente da divisão do desvio padrão pela média. Ele é utilizado para tornar comparáveis as distribuições. Diante dos resultados, verifica-se que a variabilidade da amostra de valores simulados é de 2%, enquanto a variabilidade da outra amostra é de 33%, sugerindo maior homogeneidade nos dados simulados (BRAULE, 2001).

Analisando o conjunto dessas medidas, têm-se respostas preliminares para inferir que a amostra simulada para o período pós-privatização – sem considerar hipótese adicional – se distancia substancialmente dos dados reais, revelando que a privatização é um fator importante que não pode ser desconsiderado nas projeções. Inferências estatísticas, levando em consideração distribuição de probabilidades e testes de hipóteses, serão fundamentais para a obtenção de respostas mais conclusivas acerca das considerações apresentadas (a seção 4.1.1 descreve essa etapa).

4.1.1 Teste de Médias da Primeira Aplicação

4.1.1.1 Teste F para diferenças entre duas variâncias

O teste de médias (com elaboração de hipóteses) oferece uma abordagem confirmatória para a análise de dados. Para tanto, é necessário testar se as duas amostras independentes possuem a mesma variabilidade. Uma importante razão para testar a diferença entre as variâncias das duas amostras é a necessidade de determinar se o teste t a ser empregado é o de variâncias agrupadas ou separadas (LEVINE *et al*, 2005).

O teste para a diferença entre as variâncias das duas amostras é baseado na razão entre as variâncias das mesmas, e segue uma distribuição conhecida como distribuição F . Nessa primeira etapa, define-se como hipótese nula a existência de igualdade entre as variâncias. A hipótese nula é rejeitada se a estatística do teste F calculada for maior do que o valor crítico da cauda superior ou se posicionar abaixo do valor crítico da cauda inferior da distribuição (teste bicaudal).

Os resultados do primeiro teste estatístico sugerem a rejeição da hipótese nula de igualdade de variâncias, o que indica a utilização do teste t para variâncias distintas quando da comparação das médias amostrais [estatística $F = 266,41$, F crítico superior = 2,78, F crítico inferior = 0,36, significativo a 99% de nível de confiança].

4.1.1.2 Teste de médias para variâncias não agrupadas

Conforme indicado pelo teste F para diferenças entre variâncias, procedeu-se à análise das diferenças entre as médias aritméticas das séries amostrais com a utilização do teste t para variâncias separadas. A hipótese nula a ser testada, nesse caso, refere-se à igualdade entre as médias aritméticas das duas distribuições amostrais (CPV real e simulado). A tabela 2 a seguir resume os resultados do teste de médias.

**Tabela 2 – Teste t presumindo variâncias diferentes
CPV real X CPV simulado (sem hipótese adicional)**

	CPV real	CPV simulado
Média	1,129E+06	9,668E+05
Variância	1,384E+11	5,194E+08
Graus de liberdade	27	
Estatística t	2,3085*	
P($T \leq t$) bicaudal	0,0289	
t crítico bicaudal	2,0518	

(*) Significativo a 95% de nível de confiança.

A utilização do t crítico bicaudal refere-se à forma de elaboração das hipóteses² do teste. De acordo com a hipótese alternativa, a média do CPV real é diferente da média do CPV simulado, o que justifica a utilização do teste t com duas regiões críticas ou de rejeição.

Os resultados do teste sugerem a rejeição da hipótese nula de igualdade entre as médias aritméticas, com p -value de 2,89% contra um nível de significância de 5%. Os resultados obtidos corroboram as expectativas iniciais, uma vez que foi desconsiderado um fator relevante quando da simulação dos valores para o período de 1998 a 2004 (período posterior à privatização, cujos efeitos não foram considerados nessa primeira aplicação).

² Hipóteses: $H_0: \mu_{CPV_{real}} = \mu_{CPV_{simulado}}$
 $H_1: \mu_{CPV_{real}} \neq \mu_{CPV_{simulado}}$

4.2 Segunda Aplicação: Simulação do CPV considerando o contínuo crescimento do ROL e o decréscimo inicial do CPV

Nessa aplicação, utilizou-se como base os vinte e oito valores da receita operacional líquida no período antes da privatização. Com o auxílio da Simulação de Monte Carlo e a consideração da hipótese de 15% de crescimento anual da variável a partir da média simples da variação percentual da receita nos anos subseqüentes, foram encontrados vinte e oito valores simulados de ROL para o período pós-privatização.

É importante ressaltar que a hipótese de crescimento de ROL teve como base dados reais pós-privatização, tendo em vista que o objetivo desse trabalho é essencialmente testar a aplicabilidade do método e não a previsão de crescimento da variável. Um equívoco na previsão poderia resultar em uma conclusão errônea em relação à adequação do método.

Essa aplicação da Simulação de Monte Carlo, ao considerar o efeito privatização, deve se aproximar dos valores reais de receita operacional líquida. Como o objetivo deste trabalho não é a comparação da receita operacional líquida, e sim dos custos dos produtos vendidos, não será apresentada a estatística descritiva dos valores de ROL.

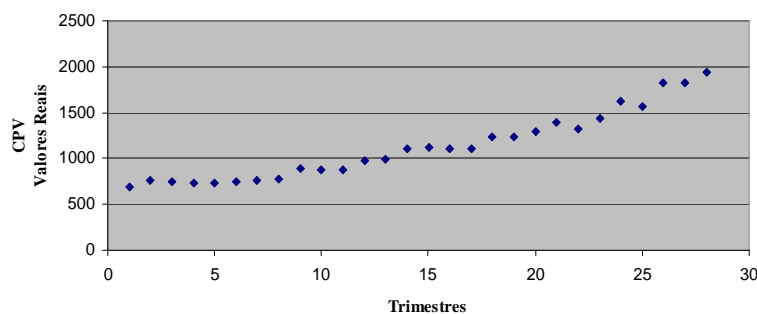
Entretanto, para atribuir validade empírica às afirmações, efetuou-se teste de médias (teste t para variâncias equivalentes após a aplicação do teste F) com o intuito de verificar estatisticamente o pressuposto inicial de existência de igualdade média entre as duas distribuições de ROL (real e simulada). Os resultados obtidos corroboram com a hipótese inicial, o que indica uma similitude entre os valores reais e simulados de receita operacional líquida no período posterior à privatização [estatística t de -0,997 contra um t crítico bi-caudal de 2,004].

Partindo dos dados simulados da receita operacional líquida, foram calculados, por intermédio da equação encontrada no artigo de Oliveira e Lustosa (2005), os custos dos produtos vendidos, levando-se em consideração a hipótese de relacionamento linear entre as variáveis identificadas.

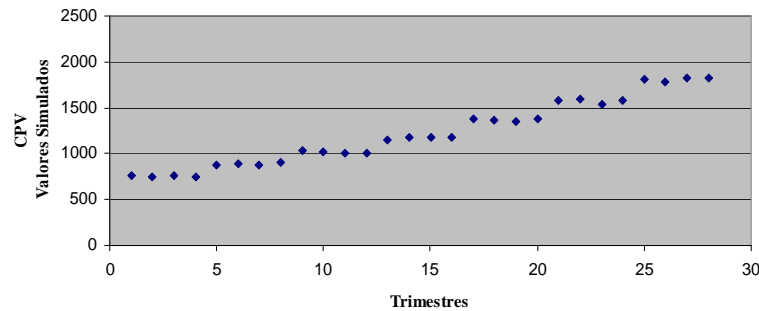
Os coeficientes da equação regredida utilizados foram os calculados para o período pós-privatização e a variável ROL se refere aos valores simulados por intermédio do método.

Destaca-se que essa aplicação considerou o crescimento anual de 15% da receita operacional líquida, bem como a redução inicial dos custos dos produtos vendidos, tendo em vista a redução dos custos variáveis unitários (no período pós-privatização) evidenciada no trabalho de Oliveira e Lustosa (2005).

Os valores simulados nessa segunda aplicação estão mais próximos dos valores reais, em contraposição aos valores simulados na primeira ocasião. Essa constatação pode ser intuitivamente observada pela inspeção dos gráficos 5 e 6:



**Gráfico 5 – CPV real X Tempo (R\$ Milhões)
Período pós-privatização (1998 a 2004)**



**Gráfico 6 – CPV simulado X Tempo (R\$ Milhões)
Período pós-privatização (1998 a 2004)**

É importante ressaltar que as escalas de todos os gráficos de CPV são idênticas, tendo como objetivo comparar as duas aplicações do Método de Monte Carlo.

Em complemento às análises antecedentes, apresenta-se na tabela 3 as estatísticas descritivas dos dados reais e simulados nessa aplicação da Simulação.

**Tabela 3 – Estatísticas Descritivas
CPV reais e simulados considerando o crescimento da ROL**

	DADOS REAIS	DADOS SIMULADOS
Média	1,129E+06	1,225E+06
Mediana	1,105E+06	1,177E+06
Desvio Padrão	3,720E+05	3,589E+05
Variância da amostra	1,384E+11	1,288E+11
Amplitude	1,255E+06	1,083E+06
Mínimo	6,828E+05	7,476E+05
Máximo	1,938E+06	1,831E+06
Coefficiente de Variação	0,33	0,29

A primeira medida estatística da tabela 3, a média aritmética, já evidencia uma aproximação do CPV simulado ao CPV real, pelo menos no que se refere à posição central. A média da amostra simulada é apenas 8% maior que a outra. É importante lembrar que, na primeira aplicação, a média da amostra real foi 17% maior que a simulada. Da mesma forma, as medianas estão mais próximas uma da outra do que na situação anterior.

Complementando essa análise, observa-se também a forte aproximação dos desvios padrão e das variâncias das amostras, significando que as distribuições estão dispersas de forma parecida (em torno de suas respectivas médias), fato que não ocorre na outra aplicação. Dessa maneira, é possível entender que o coeficiente de variação da amostra simulada deve ter um valor próximo ao valor da amostra real, tendo em vista a proximidade das médias e dos desvios padrão.

Ao contrário da aplicação que não considera hipótese adicional, as medidas de amplitude estão muito próximas uma da outra na segunda aplicação. Verifica-se também a adequada correspondência dos valores mínimos e valores máximos das amostras.

Assim, pode-se considerar que a amostra simulada para o período pós-privatização, levando-se em consideração a tendência de crescimento percentual da receita operacional líquida e o decréscimo dos custos variáveis, com conseqüente redução inicial dos custos dos produtos vendidos, foi apropriada, tendo em vista a consideração dos efeitos da

privatização, fator que se mostra relevante. A seção 4.2.1 apresenta os testes estatísticos que acrescentarão embasamento empírico-analítico para tais constatações.

4.2.1 Teste de Médias da Segunda Aplicação

4.2.1.1 Teste F para diferenças entre duas variâncias

Conforme discutido anteriormente, o teste F foi utilizado como forma de identificar diferenças ou similitudes entre as variâncias das duas amostras. Os resultados obtidos serviriam de base para decisão em adotar o teste t para diferenças de médias aritméticas com variâncias agrupadas ou separadas.

As análises dos resultados obtidos sugerem a não rejeição da hipótese nula de igualdade entre as variâncias das duas amostras [estatística $F = 1,074$, F crítico superior = 2,777, F crítico inferior = 0,360, p -value de 0,853, significativo a 99% de nível de confiança]. Dessa forma, o teste t a ser empregado para verificar a diferença entre médias é o de variâncias agrupadas, discutido na seção a seguir.

4.2.1.2 Teste de médias para variâncias agrupadas

A tabela 5 a seguir resume os resultados do teste de médias sobre as amostras de CPV real e simulado, considerando o fator privatização.

**Tabela 5 – Teste t presumindo variâncias agrupadas
CPV real X CPV simulado (considerando hipóteses adicionais)**

	CPV real	CPV simulado
Média	1,129E+06	1,225E+06
Variância	1,384E+11	1,288E+11
Observações	28	28
Variância agrupada	1,336E+11	
Graus de liberdade	54	
Estatística t	-0,9808**	
P($T \leq t$) bicaudal	0,3310	
t crítico bicaudal	2,6700	

(**) Significativo a 99% de nível de confiança.

A estatística do teste requer que as duas variâncias das amostras sejam agrupadas ou combinadas no sentido de obter o melhor estimador da variância comum a ambas as amostras, sob a premissa de que as duas variâncias sejam iguais (LEVINE *et al*, 2005). Esta hipótese pôde ser comprovada por intermédio de teste F discutido na seção anterior.

Assim, os resultados do teste, nessa segunda aplicação, sugerem a não rejeição da hipótese nula de igualdade das médias aritméticas das duas distribuições amostrais de CPV [estatística t de -0,98, com t crítico bicaudal de 2,67, ao nível de significância de 1%]. Os resultados também dão suporte às suposições iniciais de igualdade entre valores reais e simulados quando considerado o fator desestatização, contribuindo assim para o alcance do objetivo proposto e, ainda, solução da questão problema dessa pesquisa.

Verifica-se então uma adequação do Método de Simulação de Monte Carlo na previsão dos custos de produção da Companhia Vale do Rio Doce, aliado às ferramentas de análise de regressão e os resultados obtidos por Oliveira e Lustosa (2005), revelando, para esse estudo, a validade das premissas adotadas pelos autores.

4.3 Testes de Robustez

Foram realizados testes Jarque-Bera – JB para verificar a premissa de normalidade das amostras, uma vez que os testes de médias e variâncias pressupõem normalidade das séries em análise. O teste estatístico JB segue uma distribuição Qui-quadrado (X^2), sob a hipótese nula de que a distribuição das series são simétricas e mesocúrticas, ou seja, normais (BROOKS, 2002).

Os resultados encontrados sugerem, em todas as amostras, a não rejeição da hipótese nula de normalidade das séries, ao nível de significância de 1% [CPV real – Jarque-Bera de 2,558 e *p-value* de 0,278 em ambas as amostras; CPV simulado – Jarque-Bera de 0,243 e *p-value* de 0,886, sem considerar hipótese adicional e, Jarque-Bera de 1,999 e *p-value* de 0,368, considerando os efeitos da desestatização].

5 Considerações Finais

A partir da procura incessante por previsões de cenários apropriados para auxiliar na tomada de decisão aliada ao progresso dos sistemas computacionais, a simulação tornou-se uma ferramenta importante para os gestores em várias situações, permitindo ao usuário examinar e analisar diversos projetos muito antes de colocá-los em prática.

Nesse sentido, o Método de Monte Carlo, com o emprego de números fortuitos e a possibilidade de consideração de hipóteses, auxilia a avaliação de sistemas, resultando em um panorama capaz de fornecer uma melhor compreensão sobre os mesmos.

Com este trabalho, pretendeu-se verificar a adequação ou inadequação do Método de Simulação de Monte Carlo na previsão dos custos de produção da CVRD, considerando os impactos da desestatização da empresa. Essa análise teve como base uma amostra de vinte e oito observações de custos dos produtos vendidos e receita operacional líquida antes da privatização e mais vinte e oito valores de cada variável após o evento.

Ao longo do desenvolvimento desta pesquisa, evidenciou-se a relevância do fator privatização nos custos de produção da companhia. Na aplicação do método de simulação sem considerar os efeitos da privatização, verificou-se um grande distanciamento dos valores de custos de produção simulados em relação aos valores reais. Os testes de médias proporcionaram embasamento empírico para tal observação.

Ao contrário, ao considerar esses efeitos, notou-se uma forte aproximação aos valores reais de custos dos produtos vendidos. As hipóteses de efeitos da desestatização consideraram, com base em dados históricos, um aumento anual médio de 15% da variável receita operacional líquida. Além disso, com base no trabalho de Oliveira e Lustosa (2005), foi considerada uma redução dos custos variáveis da companhia, diminuindo inicialmente os custos dos produtos vendidos, que crescem proporcionalmente em relação às receitas operacionais.

A partir dessas constatações, pode-se inferir que o objetivo proposto foi alcançado. A Simulação de Monte Carlo, portanto, mostrou-se um método apropriado para prever os custos de produção da Companhia Vale do Rio Doce, se adequando aos impactos do fator modificativo desestatização. Sendo assim, o método apresenta-se como possível ferramenta no auxílio à visualização de diversas situações (contrastantes ou não) nos processos de decisão.

Referências

- BARBETTA, P. A. *Estatística aplicada às Ciências Sociais*. 5 ed. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2003.
- BARROS, E. A. C.; MAZUCHELI, J. *Aplicações de Simulação Monte Carlo e Bootstrap*. Maringá, Universidade Estadual de Maringá, 2005. 52 p. Monografia – Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.
- BRAULE, R. *Estatística aplicada com Excel*. São Paulo: Campus, 2001.
- BROOKS, C. *Introductory Econometrics for Finance*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- CHAN, Betty L.; SANTOS, Ariovaldo dos; SILVA, Fabiana L. *Uma contribuição ao estudo dos impactos da privatização à luz da Demonstração do Valor Adicionado*. In: 3º CONGRESSO USP DE CONTROLADORIA E CONTABILIDADE, São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://www.eac.fea.usp.br/congressosp/congresso3>>. Acesso em: 10 set. 2006.
- COLODETI FILHO, E.; GOMES, Carlos E. A.; TEIXEIRA, A. J. C. *Uma reflexão sobre a segregação dos custos com o uso da análise de regressão linear: o caso da Espírito Santos Borrachas*. In: 3º CONGRESSO USP DE CONTROLADORIA E CONTABILIDADE, São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://www.eac.fea.usp.br/congressosp/congresso3>>. Acesso em: 10 set. 2006.
- ESCUADERO, L. F. *La simulación en la empresa*. Barraincúa: Deusto, 1973.
- HAMMERSLEY, J.M e HANDSCOMB, D. C. *Monte Carlo methods*. London: Methuen, 1964.
- LEVINE, D. M.; STEPHAN, D.; KREHBIEL, T. C.; BERENSON, M. L. *Estatística: Teoria e aplicações – Usando Microsoft Excel em português*. Rio de Janeiro: LTC, 2005.
- LUSTOSA, P. R. B.; PONTE, V. M. R.; DOMINAS, W. R. Simulação. In: CORRAR, L. J; THEÓFILO, C. R. (Coord.). *Pesquisa operacional para decisão em contabilidade e administração: contabilometria*. São Paulo: Atlas, 2004. P. 242-284.
- NASCIMENTO, A. M.; ZUCCHI, A. L. *Modelos de simulação*. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1997. 40 p. Monografia – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- OLIVEIRA, F. L. J.; LIMA, A. V. *Um estudo do desempenho de empresas brasileiras privatizadas no período de 1991 a 1997 sob a ótica do valor adicionado*. In: 2º SEMINÁRIO USP DE CONTABILIDADE, São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.eac.fea.usp.br/congressosp/seminario2>>. Acesso em: 10 set. 2006.
- OLIVEIRA, P. H. D.; LUSTOSA, P. R. B. *Custos primários como parâmetro de eficiência produtiva: uma análise empírica da Companhia Vale do Rio Doce antes e após a privatização*. In: 5º CONGRESSO USP DE CONTROLADORIA E CONTABILIDADE, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.congressoeac.locaweb.com.br/artigos52005/455.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2006.
- PLLANA, S. *History of Monte Carlo Method*, 2002. Disponível em <<http://stud2.tuwien.ac.at/~e9527412/index.html>>. Acesso em 25 set. 2006.
- REIS, S. G.; MARTINS, E. Planejamento do balanço bancário: desenvolvimento de um modelo matemático de otimização do retorno econômico ajustado ao risco. *Revista Contabilidade & Finanças*, São Paulo, v. 15, n. 26, p.: 58-80, Maio/Agosto de 2001.

RENDER, B., STAIR Jr.,R.M. *Quantitative analysis for management*. Prentice-Hall, 1977.
TOLEDO, G. L.; OVALLE, I. I. *Estatística básica*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1992.