

# Influência de Grandes Eventos Macroeconômicos na Indústria Marítima Mundial: Uma Análise sob a Ótica da Dinâmica de Sistemas

Joaquim Rocha dos Santos, M.Eng.  
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia Naval e Oceânica  
[jrsantos@usp.br](mailto:jrsantos@usp.br)

Marcelo Ramos Martins, PhD  
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia Naval e Oceânica  
[mrmartin@usp.br](mailto:mrmartin@usp.br)

## Resumo

Em 2006 o investimento em imóveis residenciais nos EUA foi de 767 bilhões de dólares, 5,8% do PIB daquele país. Em meados de março de 2007, a New Century Financial, a maior empresa independente de crédito imobiliário *subprime* dos EUA, parou de conceder financiamento imobiliário, devido ao aumento da inadimplência. Em abril do mesmo ano, ela demitiu metade dos seus funcionários e entrou com um pedido de proteção contra falência. Esse foi o primeiro grande evento que alertou o mundo para a crise econômica que se aproximava e que provou ter proporções muito maiores do que se poderia imaginar inicialmente.

Nem todos os atores da economia perceberam a importância desse evento, e muitos não tomaram medidas adequadas para evitá-lo com a devida brevidade. Como a crise deveria afetar a Indústria Marítima Mundial (IMM), era uma pergunta que os interessados deveriam ter feito. Uma ferramenta para analisar a situação de maneira consistente e clara seria de grande utilidade para todos os atores da indústria: governo, bancos, estaleiros, armadores e outros.

Este trabalho apresenta um modelo matemático inicial que poderá contribuir para tal análise. Tal modelo consta de duas partes que apresentam de maneira muito simplificada dois aspectos: um retratando a IMM, e o outro o comportamento das variáveis macroeconômicas.

O modelo é testado seguindo uma descrição teórica do comportamento dinâmico da economia real, considerando as seguintes situações: aumento ou redução de taxas de juros; aumento ou redução de impostos; e aumento ou redução dos gastos do governo. Esses testes representam ações que os governos reais tomam. As variações na taxa de juros representam as políticas monetárias dos Bancos Centrais; as variações de impostos e gastos do governo representam ações de política fiscal.

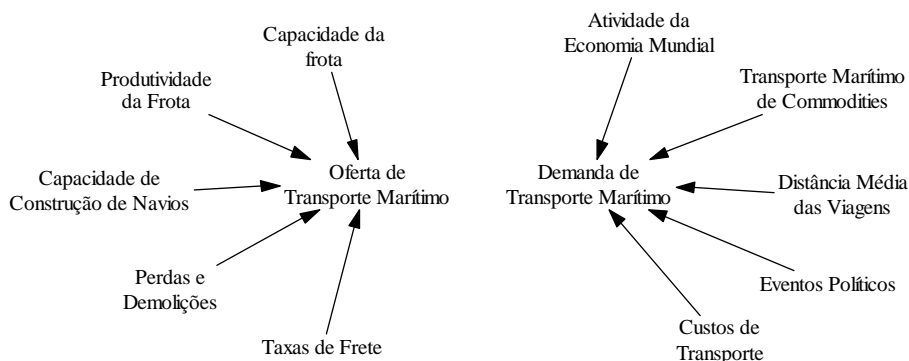
As conclusões são: o modelo representa corretamente as descrições econômicas; e as variáveis macroeconômicas deveriam ser incluídas nas decisões dos diversos atores da IMM. Visualizar o problema com antecedência e eliminar os grandes atrasos de percepção, decisão e ação, pode resultar em uma situação muito mais favorável a todos os atores da indústria, aos governos, ao meio ambiente e à sociedade.

## 1 INTRODUÇÃO

Um dos aspectos mais interessantes e preocupantes da economia da indústria marítima é o seu comportamento cíclico, onde períodos de grande prosperidade são seguidos por períodos de grandes perdas financeiras e materiais, com conseqüências indesejáveis para os diversos atores dessa indústria, para a sociedade e para o meio ambiente. Santos (2007), Santos e Martins (2007) e Raff (1961) mostram, por meio de modelagem matemática, que tal comportamento tem razões endógenas, ou seja, podem ser atribuídos à própria estrutura da indústria, que leva a um comportamento dinâmico oscilatório.

Com o propósito de atenuar tais oscilações, seria interessante entender como as variáveis externas a essa indústria poderiam ser monitoradas, de maneira a compreender como os eventos externos à indústria a afetam e com que intensidade. Para tanto seria necessário aumentar as fronteiras do modelo proposto por Santos (2007), incluindo aspectos considerados externos naquele trabalho.

Stopford (1997) apresenta dez variáveis relevantes para a modelagem do mercado. Pelo lado da demanda tem-se: o nível de atividade da economia mundial; nível de intensidade do transporte marítimo de commodities; a distância média das viagens; eventos políticos; e os custos de transporte. Pelo lado da oferta tem-se: a capacidade de transporte da frota mundial em toneladas.milhas; a produtividade desta frota; a capacidade de produção pelos estaleiros de novos navios; as perdas e demolições de navios, que afetam a capacidade da frota; e as taxas de frete. Note-se que por si só a capacidade dos estaleiros é altamente dinâmica e afetada pelas oscilações do mercado. A Figura 1 apresenta uma visão com uma conexão linear dessas variáveis.



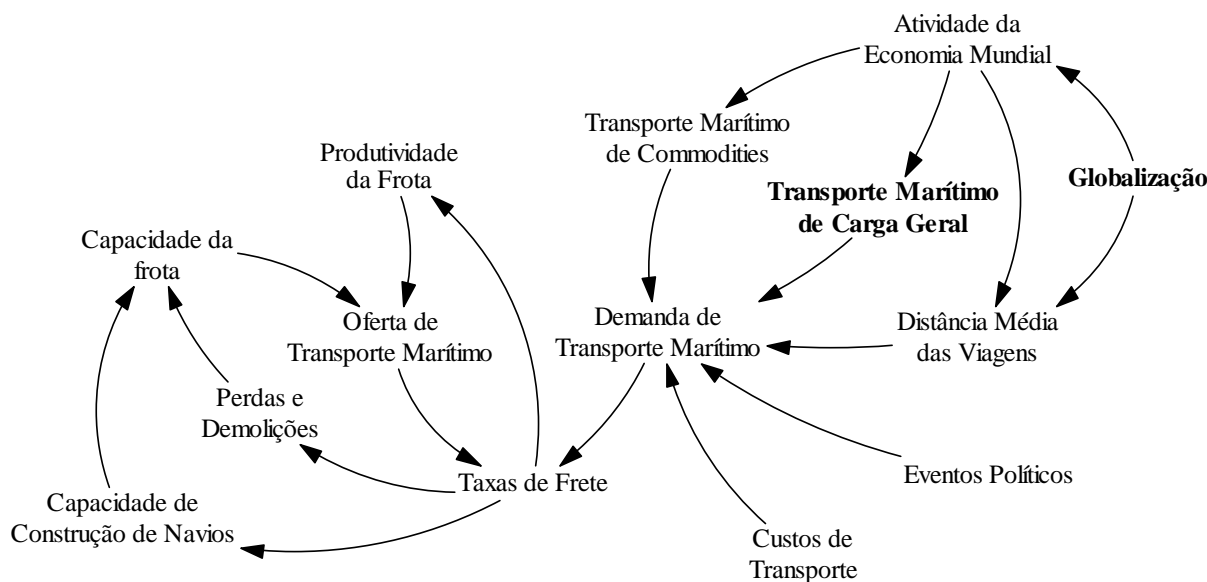
**Figura 1 - Dez variáveis propostas por Stopford (1997)**

Uma forma diferente de observar a questão, com a inclusão de algumas variáveis consideradas importantes pelos autores seria a apresentada na Figura 2. As variáveis incluídas (em negrito) são o transporte marítimo de carga geral e a globalização. Por globalização entende-se a tendência dos países de manter livres fluxos de bens e recursos financeiros, o que aumentará o comércio internacional e o nível de atividade econômica<sup>1</sup>. A globalização é uma grandeza intangível, mas poderia ser muito útil caso se fizesse o uso da técnica de cenários (Schwartz, 2006), o que está fora do escopo deste trabalho. Naturalmente, outras ligações poderiam ser consideradas na Figura 2, mas por questões de simplicidade e visualização

---

<sup>1</sup> O trabalho que recebeu Prêmio Nobel de economia de 2009 foi sobre os efeitos positivos do comércio na atividade econômica.

foram incluídas apenas aquelas consideradas de maior relevância. Observe-se que somente três das variáveis da Figura 2 são de fato exógenas à indústria, a Atividade da Economia Mundial; a Globalização; e os Eventos Políticos. O Custo de Transporte tem uma componente exógena (preços dos insumos) e uma componente endógena (utilização da frota).



**Figura 2 - Dez variáveis propostas por Stopford em uma visão sistêmica**

Este trabalho explora, em nível puramente conceitual, alguns aspectos fundamentais da economia que afetam a indústria marítima, como passo inicial na montagem de um modelo que permita discussões e a compreensão dinâmica da questão.

O desenvolvimento do método é feito em quatro etapas: apresentação de um modelo teórico simplificado dos aspectos econômicos da IMM; apresentação de um modelo teórico simplificado do comportamento macroeconômico de curto prazo de uma economia fechada; apresentação dos testes realizados com os modelos integrados e a comparação com o que a teoria macroeconômica descreve; e análises dos resultados obtidos e conclusões. Ao final das análises e conclusões sugere-se uma investigação se as variáveis macroeconômicas não seriam relevantes nas tomadas de decisão da IMM. Para os leitores não familiarizado com o emprego da Dinâmica de Sistemas, foi incluído um anexo com breve introdução do assunto.

## 2 MODELO SIMPLIFICADO DA INDÚSTRIA MARÍTIMA MUNDIAL

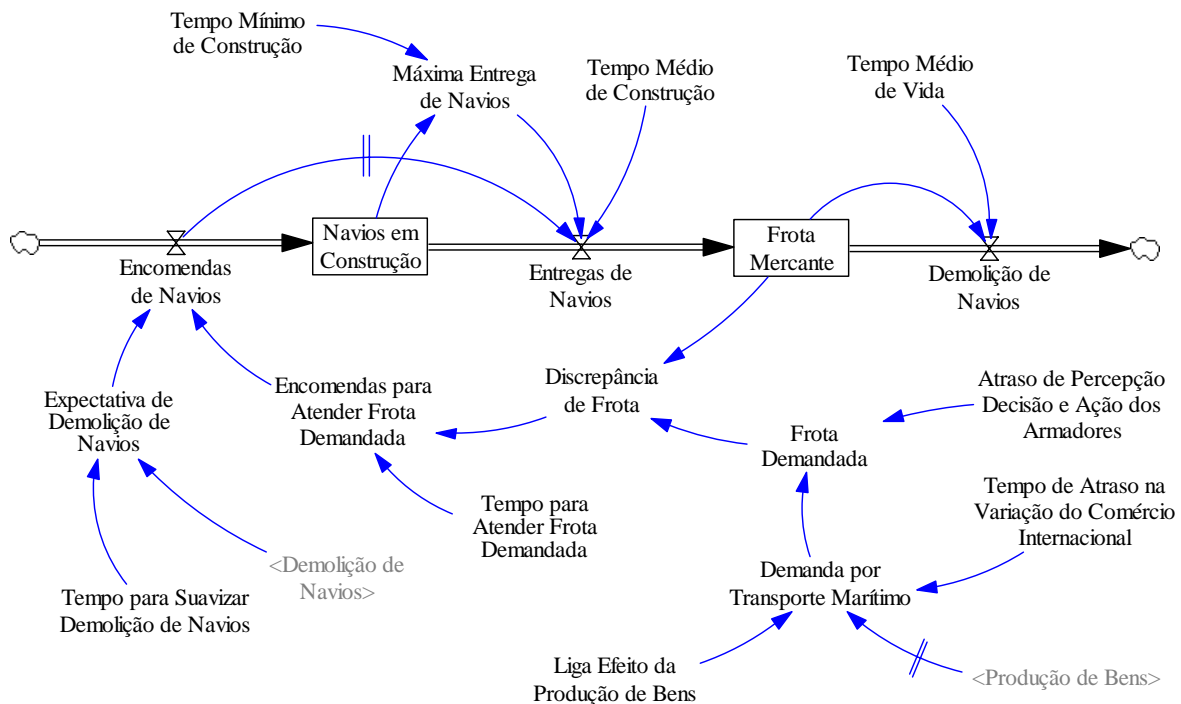
### 2.1 Elaboração do Diagrama de Forrester<sup>2</sup>

O diagrama de Forrester proposto para o modelo em estudo é apresentado na Figura 3. Com a finalidade de manter o modelo apenas com os elementos mais relevantes à questão o diagrama representa uma simplificação das propostas de Santos (2007) e Santos e Martins (2007).

A Produção de Bens (\$/Mês) é uma variável pertencente ao setor macroeconômico do modelo, onde será tratada com nível de detalhe adequado. As variações da Produção de Bens

<sup>2</sup> Para o desenvolvimento dos modelos foi utilizado o software Vensim PLE, versão 5.9, da Ventana Systems, que pode ser baixado gratuitamente, para fins educacionais, do sítio <http://www.vensim.com>.

levam um tempo até afetarem o volume de comércio internacional. Tal dinâmica é capturada na Demanda por Transporte Marítimo (toneladas<sup>3</sup>), que é uma suavização exponencial da Produção de Bens, com um tempo médio de suavização igual ao Tempo de Atraso na Variação do Comércio Internacional, e a um fator (Liga Efeito da Produção de Bens).



**Figura 3 - Diagrama causal do modelo da Indústria Marítima Mundial**

A variável Liga Efeito da Produção de Bens tem dois propósitos: acoplamento dos dois setores do modelo; e servir de relação explícita entre a Produção de Bens e a Demanda por Transporte Marítimo. Quando está variável está na condição ligada (ON), permite que o comportamento do setor que representa a macroeconomia afete o setor que representa a IMM; quando desligada, ela mantém o desacoplamento dos dois setores. A outra função dessa variável é a transformação da Produção de Bens em Demanda por Transporte Marítimo; neste trabalho, por questões de simplificação, ela foi adotada como sendo 1:1; entretanto, essa transformação é mais complexa e varia ao longo do tempo em função tanto do efeito “*far west*”<sup>4</sup> quanto do aumento do comércio entre as nações (globalização).

<sup>3</sup> É considerado por todos no meio marítimo que a unidade mais adequada para descrever a demanda por transporte marítimo é a tonelada\*milha. Para os nossos propósitos essa distinção não é relevante. Santos (2007) e Raff (1961) tratam essa questão com detalhe.

<sup>4</sup> Far west é o nome dado à movimentação da tendência que o comércio internacional apresentou ao longo do século XX, saindo do Mediterrâneo para o Atlântico, e depois Índico e Pacífico. Essa mudança aumentou significativamente a quantidade média de milhas navegadas por um navio para entregar suas cargas. Para maiores detalhes, consulte Stopford (1997).

A Frota Demandada (toneladas) representa a frota mercante que os armadores julgam adequada para atender a demanda por transporte marítimo. No modelo ela é representada como uma suavização exponencial da Demanda por Transporte Marítimo, com um tempo médio igual ao Atraso de Percepção, Decisão e Ação dos Armadores.

A determinação da Frota Demandada é o resultado de extensas análises apresentadas nos trabalhos de Raff (1961) e no de Santos (2007). Tal análise (qual?) inclui a análise da oferta e da demanda por transporte marítimo, as expectativas com relação à demanda, as variações de custos devido à elevação da utilização da frota (velocidade dos navios e alteração dos períodos de manutenção), as expectativas de lucratividade no curto e no longo prazo e as taxas de frete. Todas essas malhas foram excluídas por simplicidade, mas é importante citar que elas envolvem grandes atrasos que tendem a aumentar a amplitude dos ciclos dos negócios.

A Discrepância de Frota (toneladas) é o resultado da diferença entre a Frota Demandada e a Frota Mercante, isto é, a diferença entre a frota existente e aquela considerada adequada pelos armadores.

As Encomendas para Atender Frota Demandada (toneladas/mês) é o resultado da divisão da Discrepância de Frota pelo Tempo para Atender Frota Demandada. A Expectativa de Demolição de Navios (toneladas/mês) é obtida a partir da suavização exponencial da Demolição de Navios, usando o Tempo para Suavizar Demolição de Navios como igual a seis meses; Sterman (2000, Cap. 17) contém uma detalhada explicação da necessidade desse fator para se evitar erros de regime permanente<sup>5</sup>. Santos (2007) faz análise similar, aplicada à indústria marítima.

As Encomendas de Navios (toneladas/mês) representam os pedidos colocados para os estaleiros construtores. Esses pedidos são estocados na variável Navios em Construção (toneladas). Depois do período de construção, representado pelo Tempo Médio de Construção, os navios são entregues; essa dinâmica é capturada na variável Entrega de Navios (toneladas/mês); esta variável é limitada pela Máxima Entrega de Navios, incluída para dar robustez ao modelo. Os navios entregues passam a compor a Frota Mercante (toneladas).

Após um período médio em serviço, adotado como 25 anos, os navios são vendidos para sucata e demolidos, deixando de integrar a frota mercante ativa. Essa dinâmica é capturada pela variável Demolição de Navios (toneladas/mês) que é igual a divisão da Frota Mercante pelo Tempo Médio de Vida.

### **3 MODELO MACROECONÔMICO DE CURTO PRAZO**

#### **3.1 Conceitos básicos**

O evento econômico que ficou conhecido como a Grande Depressão, teve início com o *crash* da Bolsa de Nova Iorque em 1929 e continuou pela década de 30. Seu efeito severo levou os economistas a tentar entender o que estava acontecendo com a economia. Em 1936, John Maynard Keynes lançou seu livro *A Teoria Geral do Emprego, do Juro e da Moeda* (Keynes, 2007), considerado por muitos economistas como marco inicial dos estudos de macroeconomia.

Em 1937, Sir John Hicks resumiu o que considerava uma das principais contribuições de Keynes: a descrição conjunta dos mercados de bens e financeiros. Essa contribuição foi

---

<sup>5</sup> Também conhecido como erro de estado estacionário na literatura.

depois ampliada por Alvim Hansen. Os dois economistas chamaram a formalização do seu trabalho de modelo IS-LM. (Blanchard, 2004).

O modelo IS-LM é composto por um conjunto de equações que podem ser resumidas a apenas duas. Uma dessas equações gera a curva chamada IS, de *Investment and Savings*, que representa o equilíbrio no mercado de bens, situação que ocorre quando a produção e a demanda por bens estão equilibradas. A outra curva é chamada de LM, de *Liquidity and Money*, que representa o equilíbrio no mercado financeiro, situação que ocorre quando a oferta e a demanda por moeda estão equilibradas.

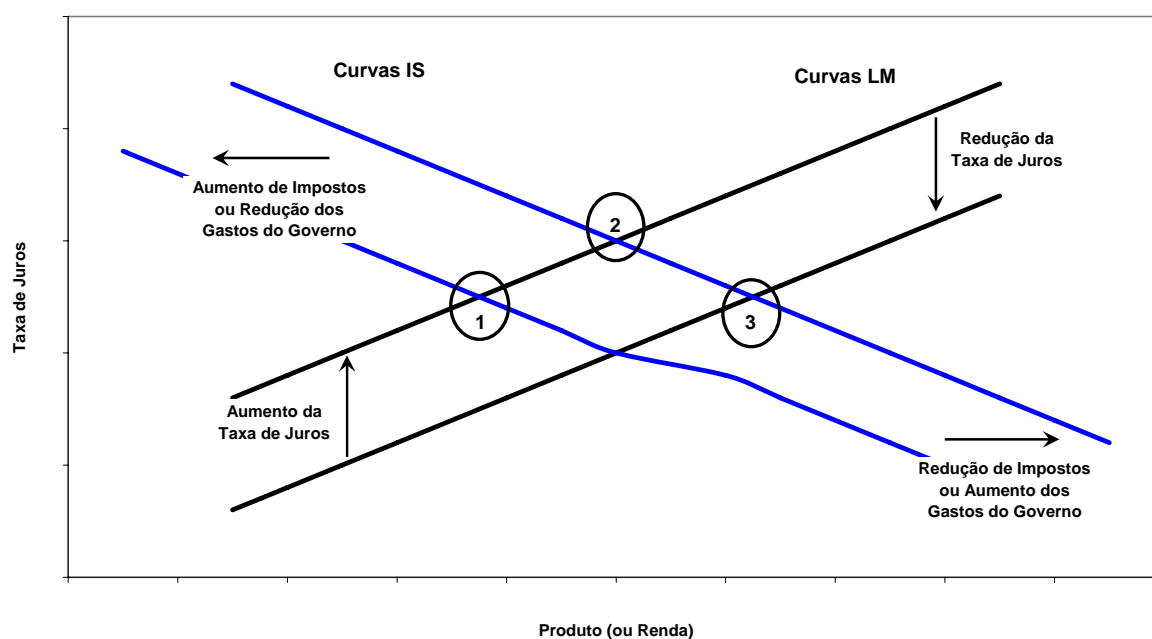


Figura 4 – Exemplo de Curva IS-LM

Uma representação linear da forma geral das curvas *IS-LM* é apresentada na Figura 4<sup>6</sup>, que contém os elementos essenciais para a compreensão do modelo<sup>7</sup>. Como exemplo, vamos supor que uma economia opera em equilíbrio no ponto 1. O governo desse país resolve implementar uma política de crescimento e aumenta os seus gastos investindo em infraestrutura. Essa decisão levaria a curva IS a se movimentar para a direita, indo para o Ponto 3. Com o aumento da riqueza desse país há uma maior demanda por moeda; admitindo que o Banco Central não supra essa necessidade adicional, haverá uma mudança na condição de equilíbrio da moeda, pois a demanda por moeda ficará maior que a sua oferta. Isto fará com que a taxa de juros aumente. Os movimentos conjuntos das duas curvas levarão a economia a operar no Ponto 2 (Produto maior e Taxa de Juros mais elevada).

Blanchard (2004, Cap. 5) sintetiza as análises possíveis como a apresentada no parágrafo anterior; esta síntese é reproduzida na Tabela 1. São consideradas seis situações:

<sup>6</sup> As curvas IS-LM foram representadas como simples retas apenas por conveniência. Sua forma e inclinação são até hoje objeto de estudo e intenso debate entre os estudiosos da economia.

<sup>7</sup> Para uma análise, em nível intermediário, consulte Blanchard (2004). Para uma análise matemática introdutória do modelo, consulte Simon e Blume (2004).

quatro relacionadas à política fiscal (aumento ou redução dos gastos do governo e aumento ou redução de impostos); e duas relacionadas à política monetária (aumento ou redução da taxa de juros).

Política	Ação	Deslocamento de IS	Deslocamento de LM	Produto ou Renda	Taxa de Juros
M O N E T Á R I A	Aumento de Impostos	Para a esquerda	Nenhum	Diminui	Diminui
	Redução de Impostos	Para a direita	Nenhum	Aumenta	Aumenta
	Aumento dos Gastos Públicos	Para a direita	Nenhum	Aumenta	Aumenta
	Redução dos Gastos Públicos	Para a esquerda	Nenhum	Diminui	Diminui
F I S C A L	Redução da Taxa de Juros	Nenhum	Para baixo	Aumenta	Diminui
	Aumento da Taxa de Juros	Nenhum	Para cima	Diminui	Aumenta

**Tabela 1 - Consolidação das conclusões do modelo IS – LM**

### 3.2 O modelo de dinâmica de sistemas

A Figura 5 apresenta o diagrama de Forrester do modelo proposto. Tal modelo representa uma economia fechada, ou seja, sem importações ou exportações, e que só se dedica ao primeiro setor (produção de bens).

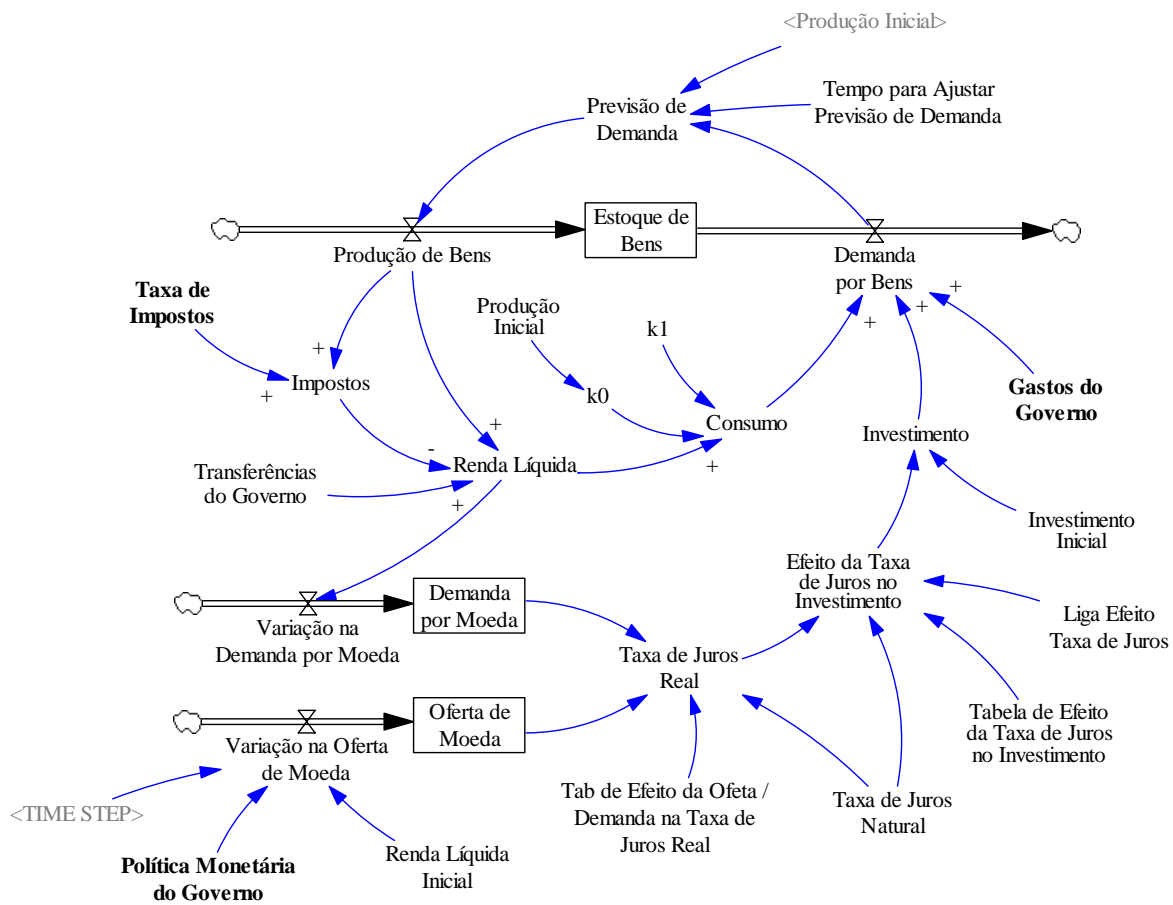
O Estoque de Bens (\$) representa o acúmulo da diferença entre a Produção de Bens e a Demanda por Bens. Sua representação física seriam os carros nos pátios das montadoras de automóveis, as chapas de aço aguardando para serem processadas nos estaleiros, etc. A Demanda por Bens (\$/mês) é o resultado da soma algébrica do Consumo, do Investimento e dos Gastos do Governo.

A Produção de Bens (\$/mês) é uma função da Previsão de Demanda. Esta é uma simplificação importante, pois assume o conceito que a demanda puxa a produção, conceito esse advogado por Keynes para as análises de curto prazo.

A Previsão de Demanda (\$/mês) é assumida como uma suavização exponencial da Demanda por Bens com tempo médio de suavização igual ao Tempo para Ajustar Previsão de Demanda (mês). O Tempo para Ajustar Previsão de Demanda (mês) tem significado físico no intervalo de tempo necessário para a execução das atividades necessárias ao ajuste da produção ao nível desejado. Exemplos dessas atividades seriam: contratação ou demissão de pessoas; aumento ou redução da utilização da capacidade instalada; ou mesmo, ativação ou desativação de plantas de produção.

A Renda Líquida (\$/mês) é igual à Produção de Bens menos os Impostos mais as Transferências do Governo (\$/mês); essa renda resulta no montante que pode ser gasto pelas pessoas em consumo. Os Impostos (\$/mês) são uma função do produto da Taxa de Impostos (adimensional), admitida igual a 30%, e da Produção de Bens. As Transferências do Governo

(\$/mês) representa os repasses do governo para a sociedade; tais repasses são os benefícios sociais, aposentadorias, serviços como escola e saúde, entre outros.



**Figura 5 – Diagrama de Forrester simplificado do modelo macroeconômico**

O Consumo (\$/mês) é uma função da Renda Líquida e de dois fatores,  $k_0$  e  $k_1$ , que são coeficientes de uma regressão linear. A variável  $k_0$  representa o consumo que as pessoas teriam, caso sua renda fosse nula. Para cada unidade monetária adicional disponível, o indivíduo aumenta seu consumo de um percentual  $e$ , com o restante, faz uma aplicação financeira; este comportamento é capturado pelo coeficiente  $k_1$ , também conhecido como a “propensão marginal a consumir”. Naturalmente, o estudo do comportamento do consumidor é algo muito complexo e está fora do escopo deste trabalho. Para nosso propósito vamos considerar que o consumo é uma função linear da Renda Líquida, com  $k_0$  arbitrado igual a 20% da Produção Inicial; e  $k_1$  adotado como igual a 0,6 que é o valor proposto por Blanchard (2004)<sup>8</sup>.

O Investimento (\$/mês) é afetado pela Taxa de Juros. Um empresário pode pegar seu dinheiro e aplicá-lo no mercado financeiro ou decidir comprar uma máquina ou um computador. Naturalmente, quanto maior a Taxa de Juros (dinheiro escasso) maior será sua

<sup>8</sup> Para uma interessante e detalhada análise da econometria ligada a essa questão, sugere-se a leitura dos sete primeiros capítulos de Greene (2000). Blanchard (2004) faz uma exposição simples sobre o assunto.

atratividade por aplicar o dinheiro, quanto menor essa taxa, maior sua atratividade por investir em produção. Essa dinâmica é capturada fazendo com que o Investimento seja função do Investimento Inicial e sofra o Efeito da Taxa de Juros no Investimento, admitido linear e decrescente.

Os Gastos do Governo (\$/mês) são o último elemento que afeta a Demanda por Bens no modelo proposto. Essa variável será adotada como uma decisão externa do Governo (variável exógena), resultado de política governamental. Isso representa uma simplificação importante, pois os governos tomam suas decisões de investimento considerando vários fatores endógenos ao modelo, como o próprio comportamento do Produto. Exemplo disso é o comportamento do Governo do Brasil, com o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), que se iniciou visando a um crescimento acelerado e foi mantido, após 2008, com o propósito de reduzir os efeitos da crise econômica mundial. O comportamento dos governos em relação aos seus gastos é um elemento central da teoria keynesiana<sup>9</sup>.

A Variação na Demanda por Moeda (\$/mês) é igual à Renda Líquida, ou seja, a renda que foi acrescentada na economia. Esta variação aumenta (ou diminui) a Demanda por Moeda (\$). Por outro lado, a economia tem uma Oferta de Moeda (\$) que é controlada por meio de injeção e retirada de dinheiro pelo Banco Central, representada no modelo pela variável Variação na Oferta de Moeda (\$/mês).

A Variação na Oferta de Moeda é afetada pela Política Monetária do Governo e pela Renda Líquida Inicial. Para manter a taxa de juros constante, o modelo admite que o governo tem como padrão injetar na economia uma quantidade de dinheiro igual à Renda Líquida. Para aumentar ou reduzir a Taxa de Juros (1/mês), o governo pode, respectivamente fazer uma contração monetária (retirar dinheiro do mercado), ou uma expansão monetária (injetar dinheiro no mercado), o que pode ser feito no modelo por meio da variável Política Monetária do Governo.

A Taxa de Juros (1/mês) será resultado da Taxa de Juros Natural (1/mês) e do efeito da razão Oferta/Demanda de Moeda. A Taxa de Juros Natural da economia simulada foi adotada em 0.005/mês, que resultaria em 6% aa, um valor considerado razoável para as grandes economias. O efeito da razão Oferta/Demanda de moeda foi admitido como uma função linear decrescente.

O Efeito da Taxa de Juros no Investimento é modelado como uma função linear decrescente. Se os juros reais forem superiores à taxa natural de juros, o Investimento será inferior ao Investimento Inicial; se, por outro lado, a taxa de juros real for menor que a taxa de juros natural, o Investimento será superior ao Investimento Inicial.

A variável Liga Efeito da Taxa de Juros no Investimento é utilizada para acoplar ou separar os efeitos do mercado financeiro no mercado de bens.

#### **4 RESULTADOS DO MODELO**

Com o propósito de verificar se o modelo apresenta comportamento coerente foram realizados alguns testes. Primeiro será apresentado o resultado de um teste aplicado ao setor da IMM, desagregado do setor que modela a macroeconomia. Em uma segunda etapa, serão apresentados seis gráficos que discutem as situações propostas na Tabela 1. Essa segunda

---

<sup>9</sup> Para o leitor que desejar se aprofundar no assunto sugere-se a leitura de Keynes (2007), sendo que Blanchard (2004) apresenta um interessante resumo sobre o assunto.

bateria de testes será útil tanto para verificar se o setor do modelo que representa a macroeconomia apresenta comportamento consistente com a teoria, quanto e quais são seus efeitos na IMM.

#### 4.1 Teste no setor da IMM

Como teste do modelo simplificado da IMM aplicou-se uma variação instantânea de 20% de amplitude na Frota Demandada, no instante 12 (meses). Como pode ser visto na Figura 6, a Frota Mercante oscila em torno da Frota Demandada, chegando a ter um *overshoot* importante. Ao longo do tempo essa oscilação é atenuada e a Frota Mercante procura acompanhar a Frota Desejada.

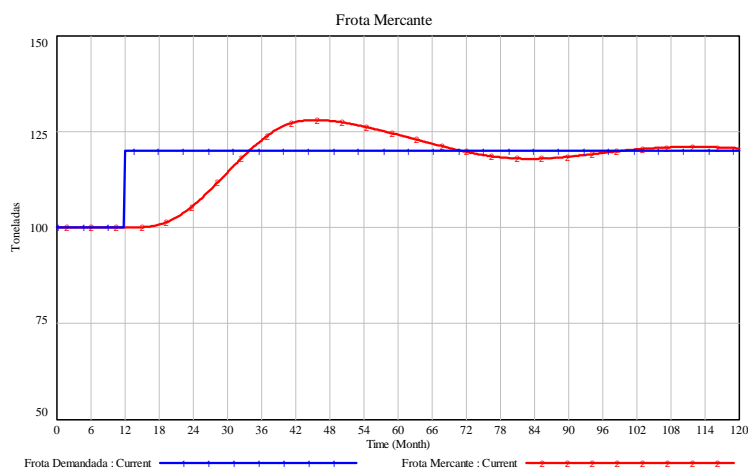


Figura 6 - Comportamento do Modelo Simplificado para um degrau de demanda

#### 4.2 Testes com os dois setores do modelo acoplados

Para verificar se o modelo se comporta de forma coerente com o que é previsto na teoria macroeconômica, foram realizados seis testes, que repetem as situações propostas na Tabela 1. As figuras a seguir apresentam os resultados desses testes.

**Caso 0: Situação de Equilíbrio.** As condições iniciais do modelo são mantidas. Propósito do teste: avaliar se o modelo está inicialmente em equilíbrio. Resultado considerado satisfatório.

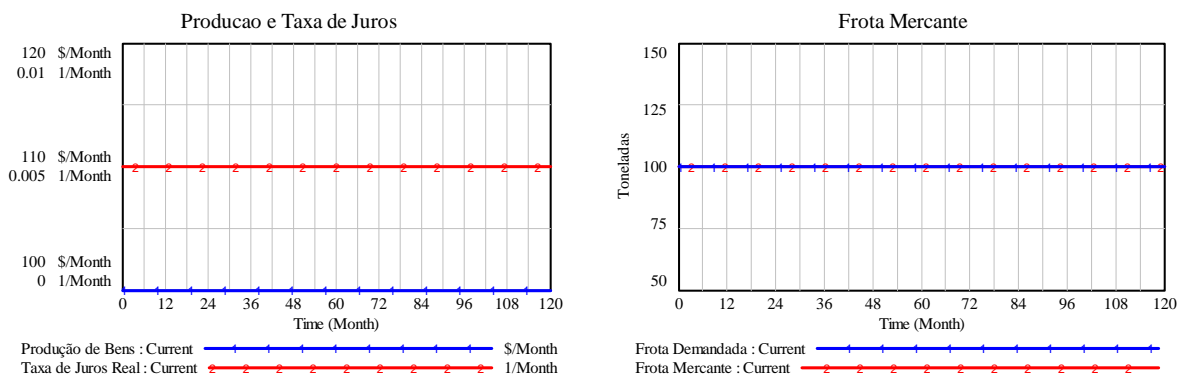
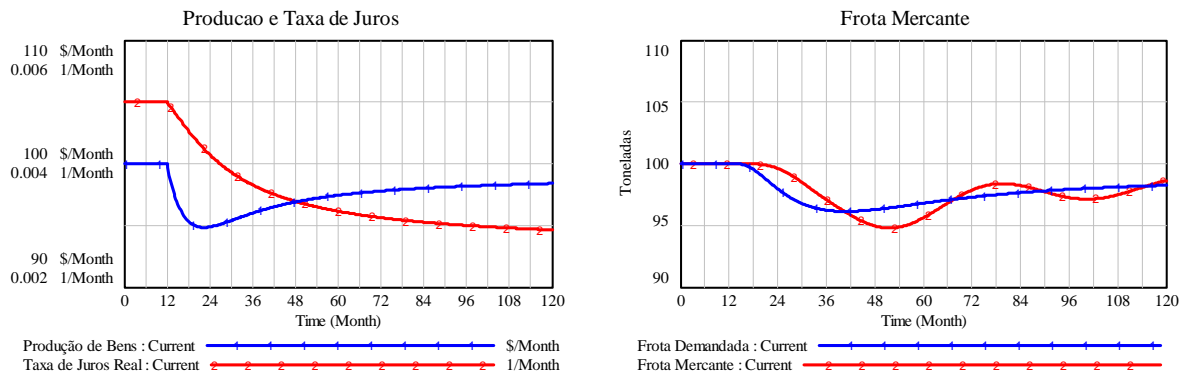


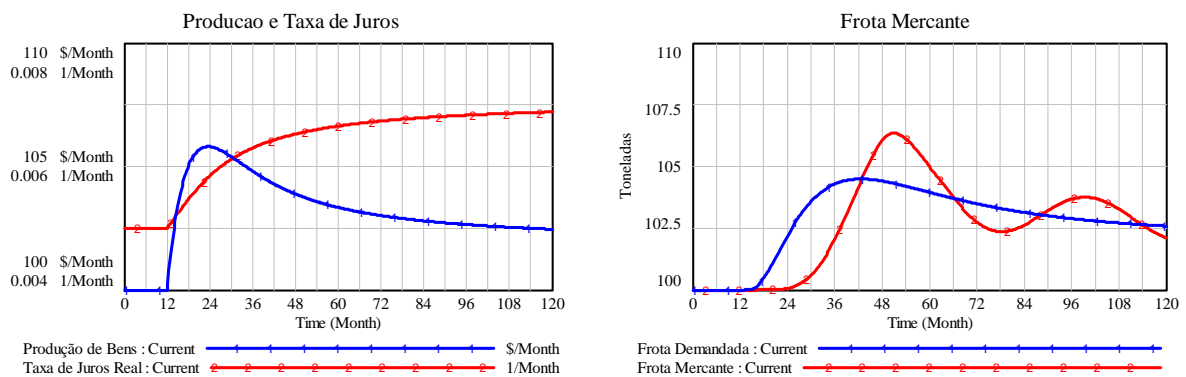
Figura 7 - Teste do Modelo: Situação de Equilíbrio

**Caso 1: Aumento de Impostos.** No instante 12 há um aumento de 25% na Taxa de Impostos, passando de 30% para 37,5%. Propósito do teste: verificar se o Produto e a Taxa de Juros diminuem.



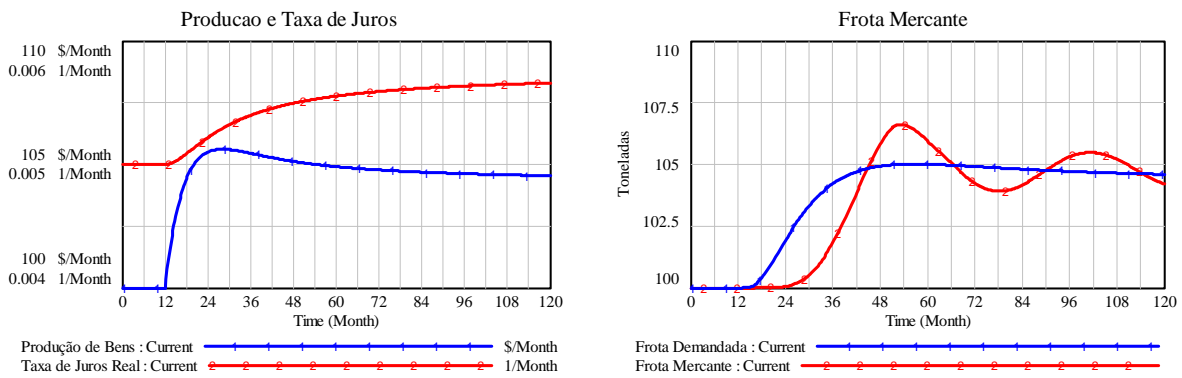
**Figura 8 - Teste do Modelo: Aumento de Impostos**

**Caso 2: Redução de Impostos.** No instante 12 há uma redução de 25% na Taxa de Impostos, passando de 30% para 22,5%. Propósito do teste: verificar se o Produto e a Taxa de Juros aumentam.



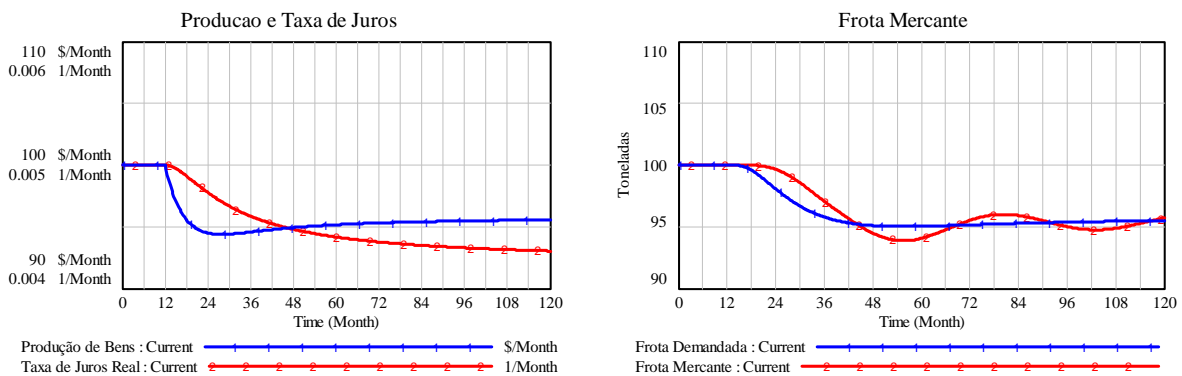
**Figura 9- Teste do Modelo: Redução de Impostos**

**Caso 3: Aumento de Gastos Públicos.** No instante 12 há um aumento de 25% nos Gastos Públicos, que passam de 15 para 18,75. Propósito do teste: verificar se o Produto e a Taxa de Juros aumentam.



**Figura 10 - Teste do Modelo: Aumento de Gastos Públicos**

**Caso 4: Redução de Gastos Públicos.** No instante 12 há uma redução de 25% nos Gastos Públicos, que passam de 15 para 11,25. Propósito do teste: verificar se o Produto e a Taxa de Juros diminuem.



**Figura 11 - Teste do Modelo: Redução de Gastos Públicos**

**Caso 5: Redução da Taxa de Juros.** No instante 12, o Banco Central passa a injetar 2,5% da Renda Disponível Inicial, além do valor que já vinha adicionando. Tal decisão acarreta uma expansão monetária, com conseqüente queda da Taxa de Juros Real<sup>10</sup>. O propósito do teste: verificar se o Produto aumenta e a Taxa de Juros diminui.

<sup>10</sup> Essa é uma política que pode gerar inflação. O leitor menos acostumado aos estudos de macroeconomia não deve considerá-la uma solução para todos os males da economia.

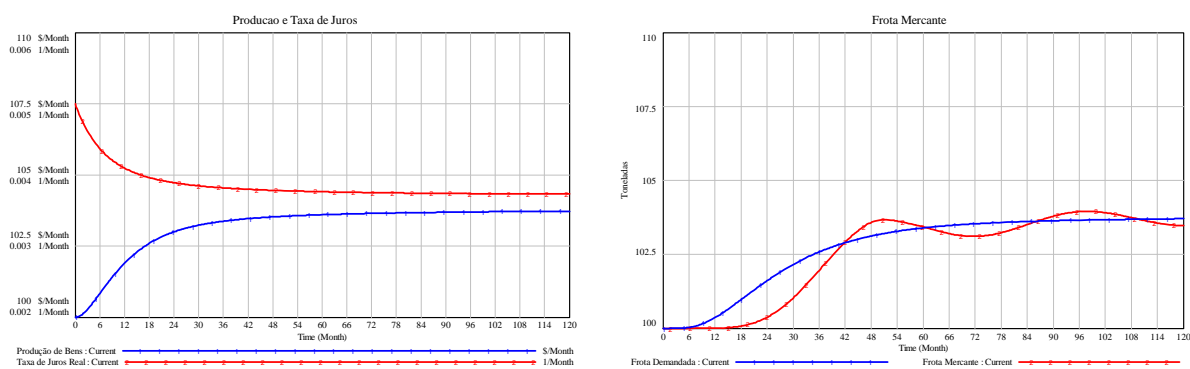


Figura 12 - Teste do Modelo: Redução da Taxa de Juros

**Caso 6: Aumento da Taxa de Juros.** No instante 12, o Banco Central passa a injetar o valor que já vinha adicionando menos 2,5% da Renda Disponível Inicial. Tal decisão acarreta uma contração monetária, com o conseqüente aumento da Taxa de Juros Real<sup>11</sup>. Propósito do teste: verificar se o Produto diminui e a Taxa de Juros aumenta. Resultado considerado satisfatório.

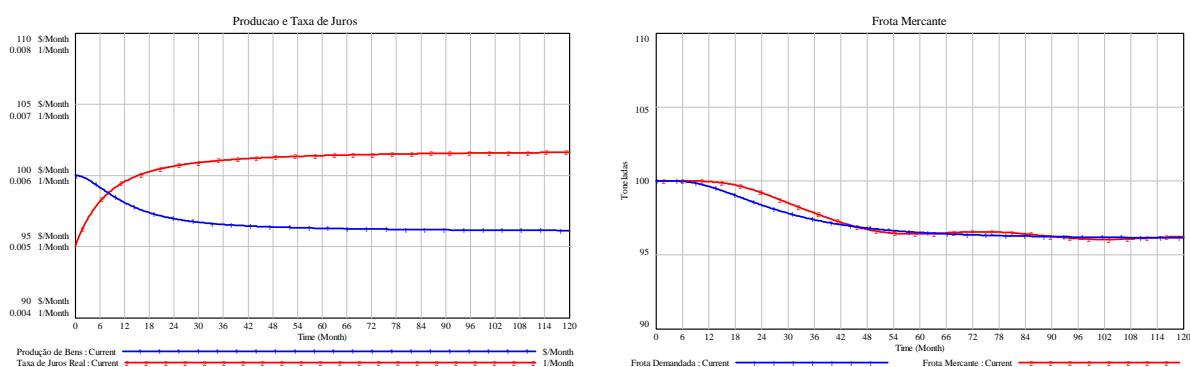


Figura 13 - Teste do Modelo - Aumento da Taxa de Juro

## 5 DISCUSSÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Os resultados apresentados pelo modelo, considerando os sete realizados podem ser considerados satisfatórios. Os testes onde foram forçadas as variações em torno dos valores de equilíbrio são consistentes com o que descreve a teoria macroeconômica que abrange o assunto. Mais do que isso, mostram com clareza que esses efeitos afetam o comportamento da IMM, de forma muito relevante.

Os testes realizados podem encontrar situações similares no mundo real. Em 1979 a segunda crise do petróleo afetou seriamente as economias do mundo. Um desses efeitos foi a inflação que assumiu uma proporção preocupante nos EUA. Paul Volker, nomeado Presidente do Federal Reserve, comandou, no período entre 1979 e 1984, um severo combate a inflação.

<sup>11</sup> Essa é uma política muito utilizada pelos Bancos Centrais para controlar a inflação. Segundo Greenspan (2009), isso faz com que “o Banco Central seja aquele garçom desagradável que para de servir vinho, quando a festa está ficando boa”. Na verdade, ele se refere ao fato de que às vezes o BC tem que frear o crescimento econômico para não permitir crescimento da inflação.

Para tanto, ele aumentou a taxa de juros de 9%, em fevereiro de 1979, para 17,5%, em abril de 1980. Tal crescimento reduziu o nível de atividade da economia dos EUA, chegando a ter crescimento negativo do PIB em 1980 (-0,5%) e 1982 (-2,2%) (Blanchard, 2004). Como consequência desses eventos econômicos, tanto o transporte de granéis quanto o transporte de óleo sofreram uma severa queda, que perdurou por vários anos.

Peter Schwartz afirma que uma pessoa não precisa prever o futuro para saber que após algumas semanas após o início há degelo no Himalaia, as águas do rio Ganges vão subir (Schwartz, 2006). Os resultados apresentados pelo modelo comprovam a visão comum de que os eventos macroeconômicos afetam a IMM no curto prazo. Mais do que isso, é possível entender com clareza qual será o efeito de cada movimento macroeconômico no comportamento da IMM.

Com o desenvolvimento de modelos de Dinâmica de Sistemas mais precisos, que envolvam o médio e o longo prazo, estudos de cenários poderiam ser conduzidos, permitindo que os armadores já soubessem como agir, diante dos eventos que vão afetar a IMM mesmo antes de seus efeitos já estarem instalados. Outros refinamentos, como valores numéricos com outras estimativas, podem facilmente ser empregados.

## **6 AGRACDECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Professor-Doutor Pierre J. Ehrlich, da Escola de Administração de Empresas da Fundação Getúlio Vargas de São Paulo, por seus importantes questionamentos e contribuições na fase inicial do trabalho; ao Professor-Doutor Mauro Rodrigues, do Departamento de Economia da Universidade de São Paulo, pela revisão e questionamentos dos conceitos macroeconômicos; e ao Professor-Doutor Moyses Szajnbok também por sua revisão e questionamentos. Todos esses professores contribuíram de maneira significativa na consecução do trabalho.

## **7 REFERÊNCIAS**

- BLANCHARD, Olivier. Macroeconomia, 3ª edição, tradução de Mônica Rosemberg. São Paulo, Pearson Prentice-Hall, 2004.
- BRUNSTEIN, I. Economia de Empresas: gestão econômica de negócios. São Paulo: Editora Atlas, 2005.
- DORNER, D. The logic of failure: recognizing and avoiding errors in complex situations. New York: Metropolitan Books, 1996.
- FORRESTER, J. W. Industrial Dynamics. Cambridge: MIT Press, 1961.
- FORRESTER, J. W. System Dynamics and K-12 Teachers. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology (Memorandum D-4665-5), 1996.
- GREENE, William H. Econometric Analysis, 4<sup>th</sup> Edition. New Jersey: Prentice-Hall Inc., 2000.
- KEYNES, John M. A Teoria Geral do Emprego, do Juro e da Moeda, 1ª edição, 11ª reimpressão; tradução de Mário R. da Cruz. São Paulo: Atlas, 2007.
- KRUGMAN, Paul. A crise de 2008 e a economia da depressão; tradução de Afonso Celso da Cunha Serra. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- MORECROFT, John. Strategic Modelling and Business Dynamics: A feedback systems approach. England: John Wiley & Sons Ltd., 2007.

- RAFF, A. I. Dynamics of the Tankship Industry. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 1960. (Dissertação de Mestrado).
- ROBERTS, N. (et al) Introduction to Computer Simulation: A System Dynamics Modeling Approach. EUA: Addison-Wesley Publishing, 1983.
- SAEED, Kahlid e Radzicki Michael J. A Post Keynesian Model of Macroeconomics Growth Instability and Income Distribution. Internet: disponível em <http://systemdynamics.org/conferences/1993/proceed/saeed435.pdf>; acesso em 13/07/2009.
- SANTOS, J.; MARTINS, M. A indústria mundial de navegação: uma perspectiva sob a ótica da dinâmica de sistemas. 21º Congresso Nacional de Transportes Marítimos, Construção Naval e Offshore da Sociedade Brasileira de Engenharia Naval. Rio de Janeiro, 2006.
- SANTOS, J. A indústria marítima mundial: uma análise sob a perspectiva da dinâmica de sistemas. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.
- SANTOS, Joaquim R., MARTINS, Marcelo R. A indústria marítima mundial: uma análise do comportamento dinâmico sob a ótica da dinâmica de sistemas. XX Congresso Pan-americano de Engenharia Naval, Transporte Marítimo e Engenharia Portuária.
- SENGE, P. A quinta disciplina: arte e prática da organização que aprende. Rio de Janeiro: Best Seller Ltda, 2005.
- SIMON, Carl P. e Blume, Lawrence; tradução Claus Ivo Doering. Matemática para Economistas. Porto Alegre: Bookman, 2004.
- STERMAN, J. D. A Skeptic's Guide to Computer Models. 1991 Disponível em: [http://web.mit.edu/jsterman/www/Skeptic's\\_Guide.pdf](http://web.mit.edu/jsterman/www/Skeptic's_Guide.pdf). Acesso em 30/07/2006.
- STOPFORD, M. Maritime Economics. Londres: Routledge, 1997.
- STERMAN, J. D. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. Boston: Irwin McGraw-Hill, 2000.
- SCHWARTZ, Peter. A arte da visão de longo prazo: caminho para um insight estratégico para você e sua empresa, 4ª edição; tradução de Luiz Fernando M. Esteves. Rio de Janeiro: BestSeller, 2006.

## APÊNDICE

### Conceitos Fundamentais de Dinâmica de Sistemas

#### Modelo

Um modelo pode ser definido como uma representação simplificada da nossa percepção da realidade para se atender a um objetivo específico. Destacam-se aqui dois aspectos relevantes: a representação simplificada da percepção da realidade e o objetivo específico.

Diz-se que modelar é a arte de simplificar. Esta simplificação é feita destacando-se as partes importantes desta realidade (representação simplificada) e omitindo-se aquelas que não tem importância para o problema que está sendo estudado (daí o objetivo específico). Um exemplo interessante de modelo é a fotografia. A fotografia é um modelo físico e estático que contém uma simplificação drástica: simplesmente uma dimensão é sumariamente eliminada. Apesar dessa simplificação a fotografia é um modelo que pode atender a um propósito específico. Forrester (1961, Cap. 4), e Sterman (2002), apresentam visões detalhadas e interessantes sobre modelos, incluindo suas classificações e usos.

#### Relações causais

Quando uma criança coloca a mão em um fogão aquecido, sente o calor e, rapidamente, tira a mão do forno, tem-se uma situação em que o autor faz a ação, sente rapidamente seus efeitos, toma uma ação para corrigir a anterior e tudo está terminado. Essa seqüência de eventos leva a um raciocínio dito linear, que foi fundamental para a sobrevivência do homem até os dias de hoje.

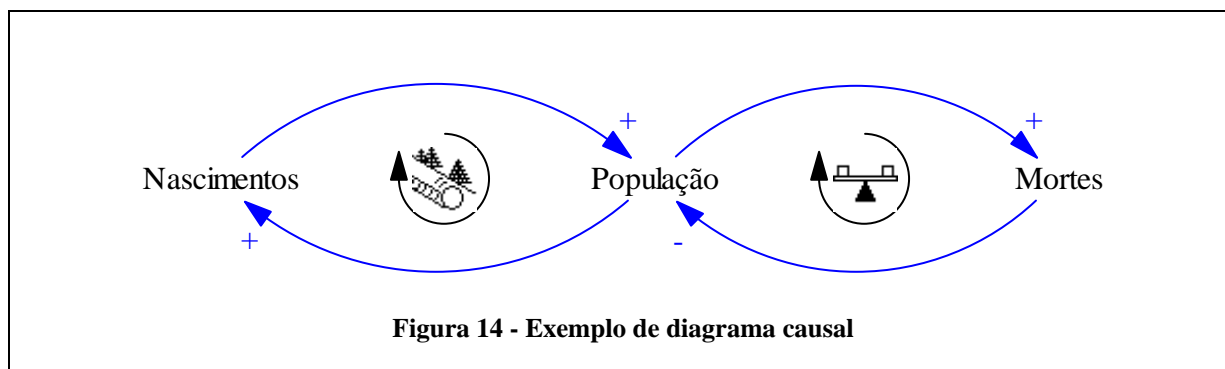
Com o desenvolvimento da sociedade e o conseqüente aumento da complexidade dos sistemas sociais a tendência de analisar as conseqüências dos atos como uma seqüência linear de eventos não é a mais adequada a muitos problemas, principalmente nas áreas de negócios. Sterman (2000, Cap. 1) sugere que uma abordagem mais adequada seria aquela que considera que nossas ações têm efeitos nas outras pessoas e no ambiente, e resultam em ações dessas pessoas e em outras mudanças no ambiente. Tais ações e mudanças afetam a nossa ação original e, freqüentemente, levam a resultados reais muito distantes dos resultados planejados.

A reação dos outros atores e do ambiente estabelece uma malha que afeta o resultado das ações planejadas. Essa interação, chamada de relação de realimentação, é uma das questões centrais da modelagem em Dinâmica de Sistemas. A causalidade está presente em todos os sistemas importantes, sejam eles biológicos, físicos ou sociais.

#### Diagramas causais

O diagrama causal é a ferramenta usada em Dinâmica de Sistemas para mapear as relações causais. É a ferramenta básica que o modelista usa para entender e depois explicar as relações entre os elementos de um sistema. Serve também para apresentar a estrutura dinâmica de um modelo para as pessoas que não participaram de sua confecção.

A Figura 14 apresenta um exemplo de diagrama causal. Neste diagrama é apresentada a interação entre três elementos: a quantidade de nascimentos em uma população, o número de seres vivos desta população, e a quantidade de mortes nesta mesma população.



As setas indicam a influência que cada elemento tem sobre outro, verificamos que o número de nascimentos influencia a população, e esta, por sua vez, influencia o número de nascimentos. A população influencia o número de mortes, e este, por sua vez, influencia a população. Observe que foram fechadas duas malhas, a da esquerda envolvendo nascimentos e população; a da direita envolvendo população e mortes.

As setas têm sinais em suas pontas<sup>12</sup>. Esses sinais indicam o tipo de influência que um elemento tem sobre o outro. Deve ser observado na malha da esquerda que: quanto maior o número de nascimentos, maior a população – a seta recebe um sinal positivo; quanto maior a população, maior o número de nascimentos – a seta recebe um sinal positivo. Na malha da direita tem-se que: quanto maior a população, maior o número de mortes – a seta recebe um sinal positivo; e quanto maior o número de mortes, menor a população – a seta recebe um sinal negativo.

Observe-se que o centro da malha da esquerda tem uma bola de neve (poderia ter um sinal de +) e a malha da esquerda tem uma balança (poderia ter um sinal -). A bola de neve indica uma realimentação positiva, pois quanto maior o número de crescimentos maior a população e quanto maior a população maior o número de crescimentos. Este tipo de relação causal leva a um aumento contínuo das duas variáveis. A balança representa uma malha com realimentação negativa, pois quanto maior a população, maior a quantidade de mortes; entretanto, ao contrário do caso anterior, quanto maior o número de mortes menor será a população. Este tipo de causalidade leva a um ponto de equilíbrio, fazendo com que as duas variáveis estabilizem.

### Diagramas de Fluxo ou Diagramas de Forrester

Os Diagramas Causais têm uma limitação importante, não apresentam de maneira explícita quais as variáveis que definem o estado do sistema nem quais são as que fazem com que este estado se altere. Os Diagramas de Forrester<sup>13</sup>, ou diagramas de Nível e Vazão, contém elementos que permitem representar essas variáveis.

Em Dinâmica de Sistemas as variáveis de estado de um sistema são chamadas de Níveis e as grandezas que causam sua variação são chamadas de Vazão. Os Níveis

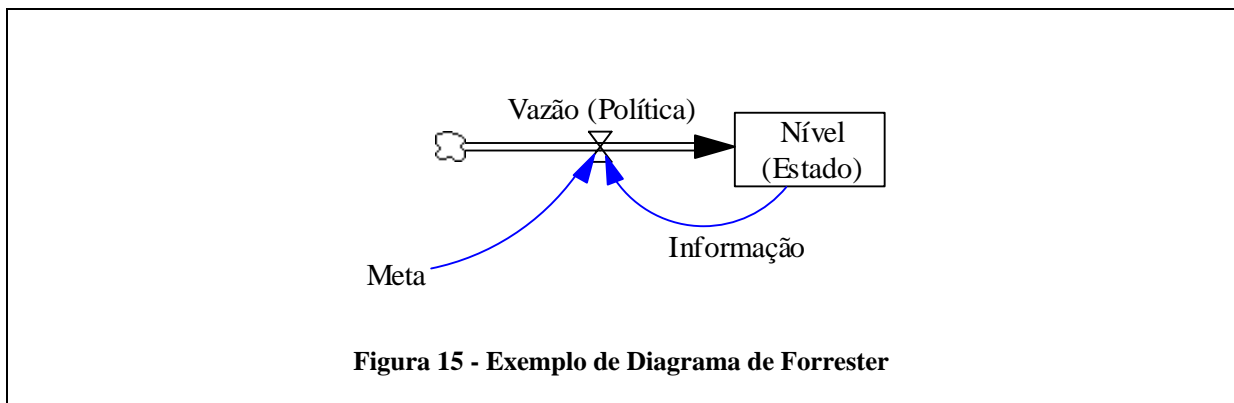
<sup>12</sup> A interpretação da polaridade em cada seta tem uma definição matemática rigorosa, que, por razões de escopo, não será tratada neste artigo. Para mais detalhes, veja Sterman (2000, Cap. 5).

<sup>13</sup> Em homenagem a Jay W. Forrester, criador do diagrama e pioneiro da Dinâmica de Sistemas. Para maiores detalhes, veja Forrester (1961).

representam a integração, os estoques ou os acúmulos de um sistema. As Vazões representam as variáveis que alteram esses estoques.

Para maior clareza, vamos recorrer a um exemplo simples, mas que contém os conceitos fundamentais, Forrester (1996). Considere um sistema que consiste de uma pessoa, uma torneira e um copo que se deseja encher de água. O nível representa a quantidade de água existente no copo. A pessoa de posse da informação (neste caso visual) da quantidade de água e de quanto quer beber (a Meta), controla a torneira (Vazão). Se o copo está enchendo muito rápido ela fecha um pouco a torneira, se o copo está enchendo muito lentamente ela abre um pouco a torneira e quando o copo está cheio a pessoa fecha a torneira, cortando totalmente a vazão.

A realidade descrita no parágrafo anterior está modelada no diagrama da Figura 15. Existem na figura dois símbolos, um nível, representado por um retângulo, e uma vazão, representada por uma válvula. Como já foi dito, o nível representa a integração, ou o estoque, ou o acúmulo do sistema – nesse exemplo a quantidade de água dentro do copo. A taxa que altera o Nível é a Vazão – nesse exemplo, a vazão de água que entra no copo. A Vazão é definida por uma política estabelecida que aponta como a taxa deve ser controlada pelo valor do nível quando comparado a uma meta pré-estabelecida.



**Figura 15 - Exemplo de Diagrama de Forrester**

Ainda segundo FORRESTER (1996), todos os sistemas consistem destes dois tipos de conceitos – Níveis e Vazões – e nenhum outro. Esta afirmativa é poderosa em simplificar a visão do mundo. Todos os profissionais podem reconhecer estas duas classes de variáveis em assuntos ligados às suas áreas. A quantidade de água em uma banheira é o Nível, o fluxo de água é a Vazão que altera o Nível. A reputação de uma pessoa é o Nível, que é alterado por suas boas e más ações. O nível de frustração de um grupo é um Nível, que é alterado gradualmente em resposta às pressões nesse grupo.

O último elemento do diagrama que falta ser tratado é a nuvem, colocada do lado esquerdo do diagrama: ela representa a fronteira do modelo. Com isso fica explícito que é admitido neste modelo. No exemplo apresentado fica explicitamente admitido que não há restrições de água para encher o copo.