

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

**ESTRUTURA A TERMO DA TAXA DE JUROS BRASILEIRA: UMA APLICAÇÃO
DO MODELO NELSON e SIEGEL**

PAMELA CAROLINA SILVA ESPINOSA

PORTO ALEGRE, NOVEMBRO DE 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

**ESTRUTURA A TERMO DA TAXA DE JUROS BRASILEIRA: UMA APLICAÇÃO
DO MODELO NELSON e SIEGEL**

PAMELA CAROLINA SILVA ESPINOSA

Monografia apresentada a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para a conclusão da graduação do curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob orientação do Professor Doutor João Frois Caldeira.

PORTO ALEGRE, NOVEMBRO DE 2011

**ESTRUTURA A TERMO DA TAXA DE JUROS BRASILEIRA: UMA APLICAÇÃO
DO MODELO NELSON e SIEGEL**

PAMELA CAROLINA SILVA ESPINOSA

Monografia apresentada a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para a conclusão da graduação do curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob orientação do Professor Doutor João Frois Caldeira.

Aprovada em: Porto Alegre, ____ de _____ de 2011.

Prof. Dr. João Frois Caldeira

Prof.Dr. Marcelo Savino Portugal

Prof.Dr. Sabino Porto Jr

Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço à minha família que, por inteiro, sempre me incentivou a estudar, sem nunca poupar esforços. Aos professores da UFRGS, em especial, Marcelo Portugal, pelo conhecimento e orientação sempre que necessário. Aos colegas do NAPE e aos colegas do Banco Sicredi. Àqueles que se tornaram especiais e essenciais pelos conselhos e incentivos, Diego Baldusco e André Zilio. Àquelas que se mantiveram sempre a meu lado, Aubrey Araujo, Camila Provenzano, Júlia Martins. Por fim, aos demais amigos tão importantes que contribuíram de alguma forma para a consecução deste trabalho e etapa.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

1 - Introdução.....	8
2 – Sobre a Curva de Juros.....	11
3 - Mercado de Renda Fixa Brasileiro.....	22
4 - A Estrutura a Termo da Taxa de Juros e o Modelo de Nelson e Siegel..	26
5 – Estimação.....	37
6 – Considerações Finais.....	46
BIBLIOGRAFIA	47

RESUMO

Este trabalho aborda um assunto de grande importância, principalmente para aqueles tomadores de decisão na gestão de investimentos: a modelagem da estrutura a termo da taxa de juros. Para isto, será apresentado e estimado para o caso brasileiro o modelo parcimonioso de fatores para a estrutura a termo da taxa de juros proposto por Nelson e Siegel. Os resultados obtidos são animadores, uma vez que o modelo teve capacidade de ajuste a todas as formas possíveis da curva de juros brasileira.

ABSTRACT

This paper addresses a matter of great importance, especially for those decision makers in investment management: modeling the term structure of interest rates. To do this, it will be presented and estimated for the Brazilian case the parsimonious model of factors for the term structure of interest rates proposed by Nelson and Siegel. The results are encouraging, since the model was able to fit all possible forms of Brazilian yield curve.

Introdução

Há muito tempo o comportamento das taxas de juros tem feito parte da análise de tanto estudiosos, gestores do mercado financeiro e de autoridades monetárias. Isso se dá em função dos incentivos que variações nessas taxas ao longo do tempo geram aos agentes econômicos. No caso de finanças, por exemplo, estas interessam tanto para decisões de investimento quanto para hedge de operações de renda fixa. Em termos macroeconômicos, a importância da análise de taxa de juros está no fato de nos trazer importantes informações acerca do nível de atividade e expectativa de inflação para uma dada economia.

Como instrumento de controle inflacionário, ela tem influência na decisão entre viabilizar um projeto de investimento, ou aplicar este montante em um título público, o qual renderá uma taxa de juros. Da mesma forma, tem efeito ao se gastar em bens não produtivos, o que repercute no consumo agregado. Assim como o volume do investimento em renda fixa (como CDB, título do Tesouro Direto e Fundos de Investimento com composição renda fixa) e renda variável varia direta e indiretamente com a atratividade da taxa de juros respectivamente.

Mas o que determina o nível de taxa de juros? Segundo a explicação clássica de Fisher (1930):

“A determinação por oferta e demanda, da quantidade de capital e do retorno sobre o capital resulta da interação entre (i) a impaciência das pessoas para consumir agora, ao invés de acumular mais bens de capital para consumo futuro; (ii) oportunidades de investimento que gerem maiores ou menores retornos ao capital acumulado.”

Num mundo isento de riscos, inflação e monopólios, o empréstimo entre empresas e pessoas se dá pela taxa de juros de mercado. Esta desempenha duas

funções: racional, dentre os empregos com taxas de retorno mais elevadas, a escassa oferta de bens de capital na sociedade; e induz as pessoas a sacrificar consumo corrente para incrementar o estoque de capital. Já no mundo real, existe incerteza no processo de decisão de investimento e os agentes econômicos, avessos ao risco, necessitam de um retorno adicional para ainda assim carregá-los até um dado vencimento – prêmio de risco.

Em Campbell (1995, p. 129), temos uma aplicação de quão usual para os agentes econômicos pode ser esta análise:

“The relationship between short and long term interest rates – the yield curve or term structure of interest rates – is a subject that many people are happy to ignore, until the moment when they are saving for retirement and must choose between a bond fund and a monetary market fund, or are borrowing to buy a house and must choose between a fixed-rate or an adjustable-rate mortgage. At such times the term structure of interest rates may become unexpectedly fascinating.”

Algumas teorias como teoria das expectativas puras e preferência por liquidez (as quais serão apresentadas mais a frente) formam o arcabouço teórico para o desenvolvimento da curva de juros para uma dada economia. Para o momento que tange à estimação, entretanto, temos uma série de modelos que visam estimar a curva de juros. Os modelos usados para se obter a curva de juros completa se dividem em dois grupos. No primeiro, relativamente simples, estão modelos de interpolação comuns em análise numérica, chamados aqui de modelos estatísticos, que buscam ajustar o conjunto de taxas disponíveis por alguma função, mas sem a

exigência de que a curva gerada passe por todas as taxas conhecidas. Chamamos esses modelos de interpolação aproximada. O segundo trata a evolução de variáveis fundamentais à explicação das taxas de juros e, com argumentos de equilíbrio e não arbitragem, obtêm uma curva completa. Neste trabalho, tratamos apenas de um modelo aproximado que utiliza fatores latentes desenvolvido por Nelson e Siegel. Esse modelo parcimonioso tenta modelar a curva de juros a partir da estimação de três fatores (nível, inclinação e curvatura).

Este modelo parcimonioso teve grande importância quando estimado para o mercado de *U.S. Treasury Bonds* no paper de Nelson e Siegel (1987). Nosso objetivo aqui é replicar este modelo e avaliar a qualidade do ajuste para a curva de juros brasileira.

Este trabalho é dividido em três capítulos na forma de organização. Inicia-se o primeiro com uma revisão das diversas teorias sobre formação da taxa de juros e da estrutura a termo da taxa de juros. Depois é apresentada uma breve descrição do mercado de renda fixa brasileiro e, por fim, introduzimos o modelo de Nelson e Siegel, assim como nossos resultados obtidos no ajuste para os dados do mercado brasileiro.

Sobre a Curva de Juros

Um dos principais trabalhos a mostrar a importância da taxa de juros como fator previsor do nível de atividade veio com o trabalho de Sims (1980). O autor utiliza dados durante o pós-guerra dos Estados Unidos estimando via Vetor Autorregressivo com variáveis como nível de produção industrial, nível de preços e estoque de moeda M1. Mantendo essas variáveis em seu modelo, Sims atenta que expansões em M1 eram fortemente responsáveis por explicar variações no nível de produção. Posteriormente, ao introduzir a variável taxa de juros de títulos comerciais ao modelo VAR, o poder explicativo do nível de produção industrial recaía agora à taxa de juros para o mesmo horizonte de tempo.¹

Inicialmente foi proposto pelo estudo de Stock and Watson (1989), que buscava a construção de um novo indicador composto por importantes variáveis econômicas, uma das funções da taxa de juros. Sendo parte de um dos fatores ponderados pelo índice, a taxa de juros veio sendo incorporada nos testes de validade dos autores. Inicialmente apenas seus valores absolutos em dado período de tempo, evoluindo até relações entre diferentes maturidades de diferentes cupons. Dentre as analisadas, a relação mais significativa veio entre duas taxas de juros de mesma maturidade.

Posteriormente testado por Bernanke(1990), não a taxa de juros, mas o *spread*² entre taxas de juros dos papéis comerciais de 6 meses (*commercial paper rate*) e das Letras do Tesouro americano também de 6 meses (*treasury bill rate*) foi eleito o melhor previsor para variáveis da atividade econômica dos Estados Unidos, dentre elas a inflação. Outros estudos que obtiveram bons resultados de previsão

¹ O autor fez uso de um modelo VAR (Vector Autoregression System) e obteve resultados consistentes, a saber, as variações na taxa de juros explicavam cerca de 30% da variação na produção industrial. Para mais detalhes, ver Sims(1980).

² "The difference between the bid and the ask price of a security or asset." Bernanke(1990)

para a economia norteamericana foram Friedman e Kutner(1989), usando o spread entre as taxas de papéis comerciais e das Letras do Tesouro, e Estrella e Hardouvelis (1989), com o spread entre taxas de títulos do Tesouro americano de curto e longo prazos.

Vale apontar ainda que Bernanke(1990) considera duas hipóteses para esse spread ser útil à previsão do rumo da economia:

- (i) Dado que o spread capta a percepção do mercado quanto ao risco de falência da economia, ele revela a probabilidade de recessão:
- (ii) E como se trata de um spread composto por *Treasury*, contém informações da postura da política monetária da economia e resulta em um bom previsor.

Em Bernanke (1990) enfatiza-se essa segunda hipótese, que tem, de fato, duas vertentes. Rossi(1996) apresenta que:

“A primeira diz respeito ao aperto de crédito e foi proposta por Cook(1981). A idéia é que como até 1978 havia nos Estados Unidos um teto para as taxas de juros dos depósitos bancários, então qualquer aumento na taxa de juros decorrente de um aperto monetário levava, via redução nos depósitos bancários, à desintermediação financeira, com os recursos migrando sobretudo para as aplicações em Letras do Tesouro. Isso porque os papéis comerciais exigiam uma aplicação mínima que estava além das possibilidades de boa parte dos investidores. O resultante aumento no spread entre as taxas desses dois ativos ficou, aliás, bem caracterizado durante os episódios de aperto de crédito em 1966, 1969 e 1973/74.”.

Dado que não existe substituição perfeita entre o spread entre as taxas das Letras do Tesouro e as taxas dos papéis comerciais, sempre que havia um aperto de crédito isto implicava um aumento do spread. Sabendo que apertos de crédito são geralmente posturas adotadas pela autoridade monetária em períodos cujo objetivo é causar a recessão do nível de atividade, existe uma correlação entre estas ocorrências e o valor do spread, capacitando este à previsão da conjuntura econômica.

A outra hipótese sugere que o spread responderia à política monetária sempre que a taxa dos fundos federais fosse usada como meta intermediária dessa política. Isso ocorre pois a nova taxa dos fundos federais serve de incentivo aos agentes econômicos de forma a fazê-los migrar para este novo patamar proposto.

Assim, *spreads* entre taxas de diferentes maturidades da taxa de juros só seriam bons previsores da economia por conterem informação tanto sobre o risco de falência como da postura da política monetária.

Ao se tratar de bônus que rendem uma taxa de juros, os investidores podem contratar esses ativos durante um período determinado. Este contrato pode tanto iniciar hoje (em t_0) quanto em um momento futuro e durar um certo vencimento. Para a análise ao longo do tempo da estratégia ótima de agentes econômicos quanto a variações da taxa de juros, faz-se necessário saber a rentabilidade em termos presentes dos diferentes períodos de contratação. A melhor forma de expressar estas relações é feita via construção de uma curva de juros ou de rentabilidade, ou seja, uma curva que revele a dependência da taxa em relação aos prazos de vencimento de uma série de títulos de características idênticas, a exceção de seus prazos de vencimento.

Dessa forma, a relação entre as taxas de juros com vencimentos distintos ao longo do tempo, ou seja, o relacionamento entre taxas de juros de curto e longo

prazos, vem a formar a Estrutura a Termo da Taxa de Juros. Formalmente, portanto, a estrutura a termo da curva de juros define a relação entre o *yield*³ de um investimento de renda fixa e o tempo até o vencimento de seu fluxo de caixa (maturidade).

A estrutura temporal das taxas de juro é graficamente representada através de uma *yield curve*. Esta pode ter diferentes comportamentos, a saber, (i) *yield curve* normal ou crescente, (ii) *yield curve* invertida ou decrescente, (iii) *yield curve* estática e (iv) *steep yield curve*. Dado que as demais ocorrências são bastante particulares, vamos supor, sempre que citada, se tratar de uma *yield curve* normal neste trabalho.

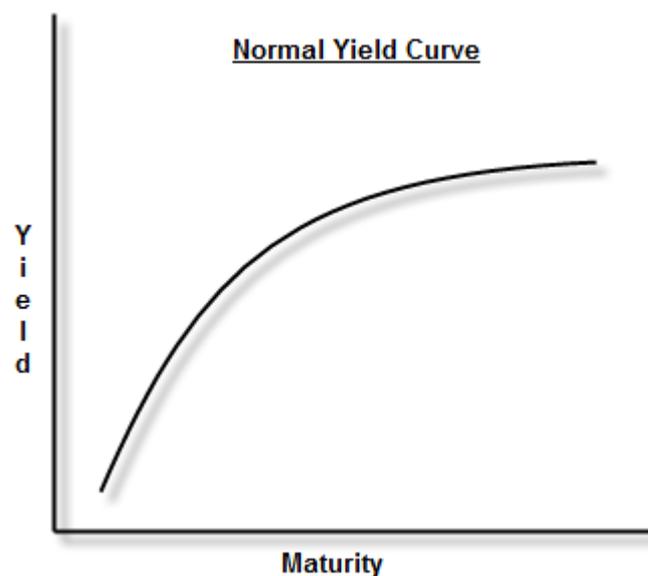


Figura 1– Curva yield ascendente.

Fonte: Notas de aula Balbinoto Neto(2010).

³ Yield do título: a taxa de desconto utilizada para se chegar ao valor presente do título, ou a taxa interna de retorno.

Um bom esquema de períodos econômicos e do usual comportamento da curva de juros pode ser vista na Figura abaixo:

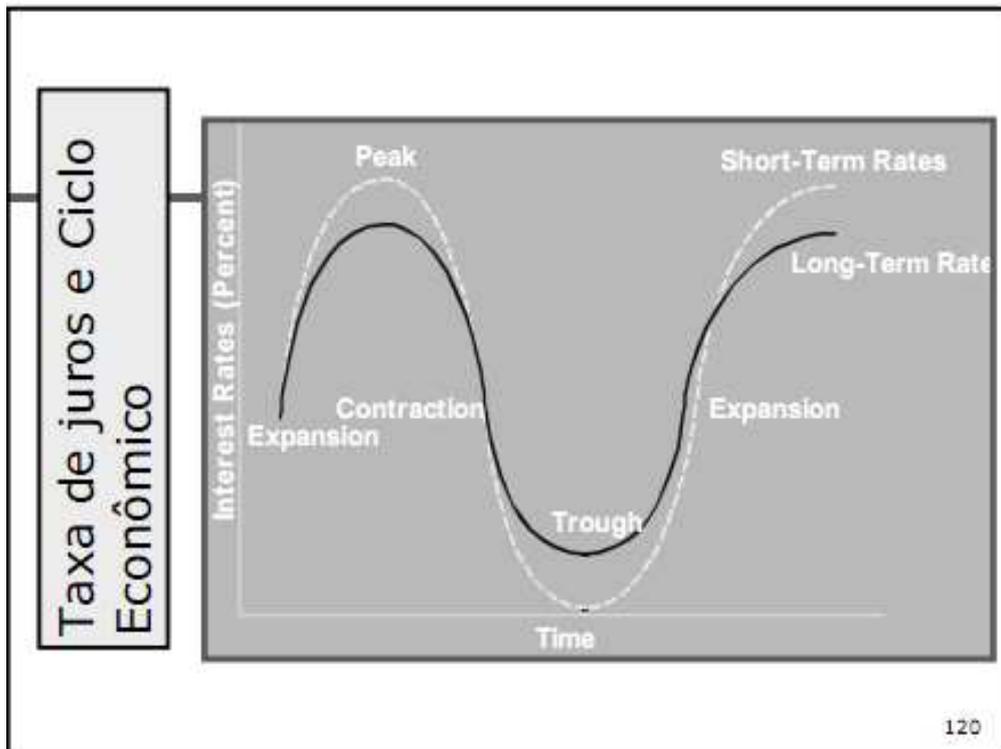


Figura 2– Decomposição gráfica das curvas e juros e o ciclo econômico.

Fonte: Notas de aula Balbinoto Neto(2010).

Por exemplo, uma taxa de juros futura decrescente estaria relacionada com uma redução da atividade econômica, visto que as empresas não iriam investir e, portanto, a demanda por fundos emprestáveis iria se reduzir.

O formato da curva *yield* e, portanto, a relação entre taxas de curto e longo prazos é diretamente determinado pelas hipóteses a serem consideradas no modelo de construção da estrutura da taxa de juros. Em um mundo sem incerteza, o equilíbrio de taxas *forward* (ou seja, taxa de juros a que recursos podem ser captados ou aplicados no mercado iniciado em uma data no futuro por um período

determinado) deve coincidir com as taxas *spot*⁴ ou à vista futuras. Ao incluirmos incerteza, a literatura que retrata esses casos se torna densa, sendo aqui citadas apenas suas quatro principais correntes.

A hipótese de preferência por liquidez, desenvolvida principalmente por Hicks (1939), advoga que a aversão ao risco dos investidores faz com que taxas *forward* sejam sistematicamente maiores que os valores esperados das taxas *spot* em um montante crescente com a maturidade. A ideia básica desta teoria é que as taxas de juros futuras tornam-se mais incertas quanto maior for o prazo de maturação de um ativo e menos acurada for sua predição. Sabendo que há um maior risco de perda nos títulos de longo se comparados aos de curto prazos, temos que os investidores avessos ao risco irão desejar um rendimento elevado a fim de manter os títulos de longo prazo. Este incremento é o prêmio de liquidez que induz agentes a se manterem posicionados no longo prazo, dado a incerteza. Graficamente, este prêmio se materializa como um aumento na curva de *yield* na ponta longa.

Segundo Santomero & Babbel(2001), a teoria da preferência por liquidez garante que os participantes do mercado de títulos preferem títulos líquidos e que demandariam uma compensação, em termos de retorno mais elevado para trocarem títulos de curto prazo por títulos com uma maturação mais elevada. Esta hipótese não nega a teoria das expectativas (a ser vista mais a frente), apenas garante um descolamento positivo na ponta longa da curva *yield*⁵. Podemos ilustrar com a figura abaixo, que mostra como o prêmio por liquidez representa um descolamento crescente da curva *yield* conforme a maturidade.

⁴ Taxa *spot*: fornece a taxa de juros a que recursos podem ser captados ou aplicados no mercado entre a data atual e uma data no futuro.

⁵ Neste caso, temos um relaxamento da hipótese de *bonus* de diferentes maturidades tem substituição perfeita para apenas a garantia de serem substitutos de alguma ordem.

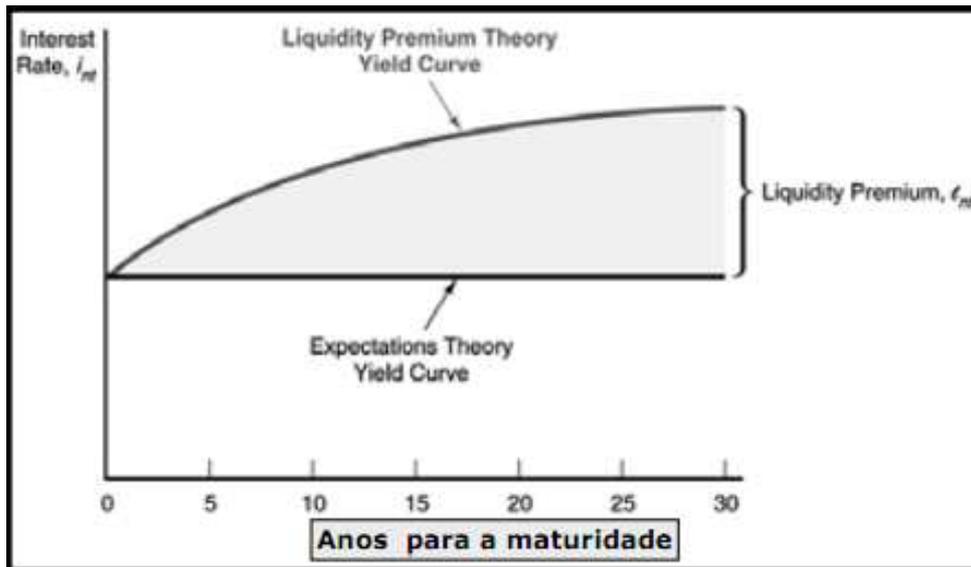


Figura 3– Decomposição gráfica das teorias de formação de curvas yield.
 Fonte: Santomero & Babbel(2001).

Já a hipótese da segmentação de mercado de Culbertson(1957) supõe que os investidores tem fortes preferências por certas maturidades, de tal forma que diferenciais de rendimento entre ativos de distintos vencimentos não impeça que estes abandonem suas preferências , uma vez que estas estão ligadas aos seus respectivos prêmios de risco. No arcabouço desta teoria, também existe a suposição de que os títulos de diferentes maturidades são negociados em mercados distintos e isolados, de tal forma que a oferta e demanda de títulos de certas maturidades sejam pouco afetados pelos preços dos mesmos títulos, porém com vencimentos diferentes.

Um dos principais problemas desta hipótese apontado por Hubbard (1994) é a inexistência do mecanismo de arbitragem, pois as taxas de juro de um dado prazo serão determinadas exclusivamente pela oferta e demanda de bônus específicos daquele prazo. Além disso, é apontado a ineficiência do Banco Central em influir sobre a taxa de juros de longo prazo somente alterando a oferta de títulos de curto prazo; esta teria de ser feita em cada mercado separadamente.

A terceira hipótese, a do habitat preferível, Modigliani e Sutch(1966) fazem uso de argumentos similares aos de Culbertson em teoria do mercado segmentado.

Por isso, essa pode ser dito como uma “...hipótese de segmentação de mercado, porém suavizada”(Cox et all)⁶. Contudo, os autores argumentam aqui que os investidores tem uma preferência pela maturidade que varia de um investidor para o outro e que tais preferências resultam, por sua vez, em prêmios que variam entre as maturidades dos títulos baseados na oferta e demanda de instrumentos de qualquer maturidade particular.

Diferentemente da hipótese do mercado segmentado, nesta existem arbitragistas, intermediários, dispostos a emitir ou emprestar em diferentes maturidades quando a diferença de rentabilidade esperada é susceptível de proporcionar um ganho tal que compense o risco envolvido na operação.

A quarta hipótese, que tem poder explicativo sobre a hipótese de mercado segmentado, foi inicialmente articulada por Irving Fisher e atribuída a F. Lutz em 1940. Denominada hipótese das expectativas puras, esta norteia todo arcabouço do comportamento das taxas de juros presentemente contratadas nas antecipações que os agentes econômicos fazem em relação às taxa de juros futuras. Esta teoria postula que as taxas de juros de longo prazo são uma média ponderada das taxas de juros de curto prazo correntes e futuras, além de ter como premissas:

- (i) Os bônus de diferentes maturidades são substitutos perfeitos;
- (ii) O preço do bônus reflete as expectativas sobre taxa de juros e taxa de inflação esperada;
- (iii) E o preço dos bônus reflete toda a informação disponível.

A hipótese fundamenta-se na noção de que, dado o horizonte de investimento de um agente econômico, ele pode optar entre uma aplicação pelo período total,

⁶ Relaxam em sua hipótese a questão do sinal e monotonicidade.

aplicações por períodos mais curtos renovados (*roll over*), ou uma aplicação longa carregada até a data desejada.

Caso as taxas *forwards* fossem previsoras perfeitas das taxas de juros futuras, os preços de títulos em datas futuras seriam previamente conhecidos. Além desta, outra fragilidade da teoria das expectativas é a de que os agentes econômicos seriam indiferentes à incerteza. Dado que os investidores são avessos ao risco e que a curva *yield* é com mais frequência ascendente, Hicks reforça a importância da hipótese da preferência por liquidez.

O formato das curvas *yield* sob a hipótese das expectativas puras varia conforme as expectativas do mercado. Por exemplo, na Figura 1, temos uma curva *yield* positivamente inclinada, i.e., a taxa de juros de curto prazo serão maiores no futuro, aumentando as taxas de longo prazo correntes.

Alguns autores afirmam que existem algumas evidências empíricas reforçam algumas das teorias aqui apresentadas, embora seja difícil avaliar com precisão a importância relativa dessas quatro proposições. Por isso, a teoria de mercado não encontra sustentação prática visto que não resiste à existência de alguns investidores e tomadores que sejam flexíveis o suficiente para se acomodarem no segmento que ofereça o maior retorno esperado. Já as demais teorias apresentam um certo conteúdo informacional na estrutura a termos da curva a respeito das taxas spot esperadas no futuro.

Supondo não existir viés de expectativas nas taxas *forwards*, a média das observações das taxas *forward* tendera às taxas *spot* esperadas, i.e., a diferença média tenderá a zero em um período suficientemente longo de observações. Por exemplo, Fama (1984) atesta que, segundo seu estudo no mercado de títulos americanos, existe um prêmio *forward* na curva de juros, mas esta alta na ponta longa foi inferior aquele valor previsto pela teoria das expectativas. Esta teoria, embora bastante difundida, é tida como um pouco extrema e não sustentada. Alguns autores alegam que seja mais provável que investidores tenham exigido e obtido um

prêmio para carregar títulos longos do que a hipótese alternativa de que as taxas não tenham subido tanto quanto esperado a priori pelo mercado. Argumentam que a evidência tende a favorecer a existência de prêmios de liquidez, mesmo que se torne cada vez mais difícil estimar qual o nível de sobretaxa necessário para estabelecer um equilíbrio. Van Horne (1990), por exemplo, propõe que estruturas temporais são mais bem explicadas por uma teoria unificada de expectativas e de aversão a risco.

Todas estas hipóteses de determinação da curva de juros supõe que os preços dos títulos permanecem constantes com o tempo. Vale dizer, que as teorias consideram as taxas observadas como sendo as taxas reais de juros. Dado a nossa conjuntura de preços, temos de considerar a instabilidade de preços conforme o tempo. Vale lembrar aqui como Fisher sintetiza essa relação entre taxa de juros nominal e taxa de juros real esperada com a equação:

$$(1 + i)^t = (1 + E[r])^t * (1 + E[I]) \quad (1)$$

Onde,

i : taxa de juros nominal para o período t em percentual ao ano;

$E[r]$: valor esperado da taxa de juros real para o período t em percentual ao ano

$E[I]$: taxa de inflação (variação nos preços) durante o período t em percentual

Ao início de cada período de investimento, a taxa nominal deverá cobrir a taxa real requerida e a taxa de inflação em questão (inflação ex ante). Já ao final do período, a taxa real recebida será a diferença entre o retorno nominal e a taxa de inflação realmente experimentada (inflação ex post). Com base na equação, a taxa real pode ser calculada (taxa real ex post), contudo, como a magnitude da inflação é de difícil previsão com muita antecipação, torna-se difícil estimar a taxa de juros real futura exigida pelos investidores (taxa real ex ante).

As teorias de estruturas temporais de expectativas puras e preferência pela liquidez assumem que a taxa de inflação futura é conhecida. Brealey and Schaefer(1977) ponderam que, embora a teoria de Fisher estivesse correta ao afirmar que as taxas de juros de curto prazo sempre incorporam a opinião mais recente do mercado a respeito da taxa de inflação futura , ela nunca é conhecida com certeza, impossibilitando a realização de investimentos livres de risco. Por outro lado, à medida que o tempo passa, o mercado aprimora sua capacidade de previsão para a inflação de determinado período futuro. Dessa forma, a estratégia de investimento em dois períodos sucessivos mais curtos implicaria menor risco, mesmo para indivíduos com horizonte longo de aplicação, pois a taxa de juros do segundo período já incorpora as últimas informações a respeito da respectiva taxa de inflação. Por conseqüência, a taxa forward relativa ao segundo intervalo temporal deveria conter um prêmio de risco para compensar investidores pelo adicional risco inflacionário.

Mercado de Renda Fixa Brasileiro

Os títulos de renda fixa se caracterizam por possuírem regras definidas de remuneração. Isto é, são aqueles títulos cujo rendimento é conhecido previamente (juro prefixado) ou que depende de indexadores (taxa de câmbio ou de inflação, taxa de juros, etc.). Por se tratarem de títulos com rendimento fixo, estes tem grande relevância ao se analisar a Estrutura a Termo da Taxa de Juros, uma vez que seus rendimentos são atrelados ao desempenho desta.

Prazo

O prazo do título envolve tanto a perspectiva do risco de crédito, quanto à perspectiva da taxa de juro obtida pelo investidor para o prazo do investimento. No que tange o risco de crédito, temos de considerar o período durante o qual se ficará exposto a esse risco. A taxa de juro envolvida nesse título tem alguns riscos atrelados, a saber, o risco de liquidez e ao risco de mercado ou de oscilação de preço do título para determinada maturidade. O prazo do título, portanto, envolve esses dois tipos de risco, porque ambos os riscos - de crédito e de oscilação das taxas de juro - aumentam conforme se aumenta o prazo dos títulos.

Rendimento

O tipo de rendimento do título diz respeito à definição do critério para corrigir ou remunerar o investimento. Existem títulos com rendimento prefixado, como as LTN's – Letras do Tesouro nacional - e os CDB's – Certificados de Depósito bancário entre outros. Além dessa forma de rendimento encontramos os títulos indexados. Eles podem ser atrelados ao câmbio, como as NTNDs – Notas do Tesouro Nacional – que são corrigidas pela variação da taxa cambial (Real x USDólar), podem ser indexados às taxas de juro *overnight* como as LFTs – Letras Financeiras do Tesouro -, ou indexados à índices de inflação, como as NTN-Bs, que rendem a variação acumulada do IPC-A (índice de preços ao consumidor – amplo) e as NTN-Cs, que rendem a variação acumulada do IGP-M (índice geral de preços do mercado).

Por seguir oficialmente o Regime de Metas de Inflação, o Banco Central do Brasil tem formado um comitê, chamado de Comitê de Política Monetária, criado em 1996, que é o órgão do BACEN responsável pela definição das diretrizes da política monetária e da taxa básica de juros.

Em média, a cada 45 dias, o COPOM se reúne para determinação das taxas de juros brasileiras a serem perseguidas como meta. O histórico das reuniões pode ser visto no gráfico abaixo.



Gráfico 1– Meta das taxas de juros brasileiras pelo Banco central do Brasil.

Fonte: Bloomberg, 15/11/2011.

Dado que esta é a meta da taxa de juros, o governo, por ser “melhor” devedor e mais confiável, tende a entrar no mercado perseguindo tal taxa de juros. Essa atuação atrelada às forças de mercado, leia-se oferta e demanda, vem a determinar a taxa básica de juros da economia. No caso brasileiro, temos taxa Selic, o instrumento primário de política monetária do Copom, é a taxa de juros média que incide sobre os financiamentos diários com prazo de um dia útil (overnight)

lastreados por títulos públicos registrados no Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (Selic).

Vale a apresentação da taxa SELIC aqui, uma vez que, esta tem direta relação à estrutura a termo da taxa de juros. Por exemplo, dado que os títulos públicos são considerados livres de risco, podemos mensurar o montante a ser requisitado pelos agentes econômicos pelo prêmio de risco (seja risco de liquidez ou crédito).

Além disso, pelo mesmo Regime de Metas de Inflação, a taxa Selic também é o principal instrumento de controle da inflação, funcionando como a taxa de juros básica adotada no país. Estes não são objetivos do nosso trabalho, ainda assim, a importância destes tópicos é alta com os valores observados da nossa base de dados a ser apresentada mais a frente.

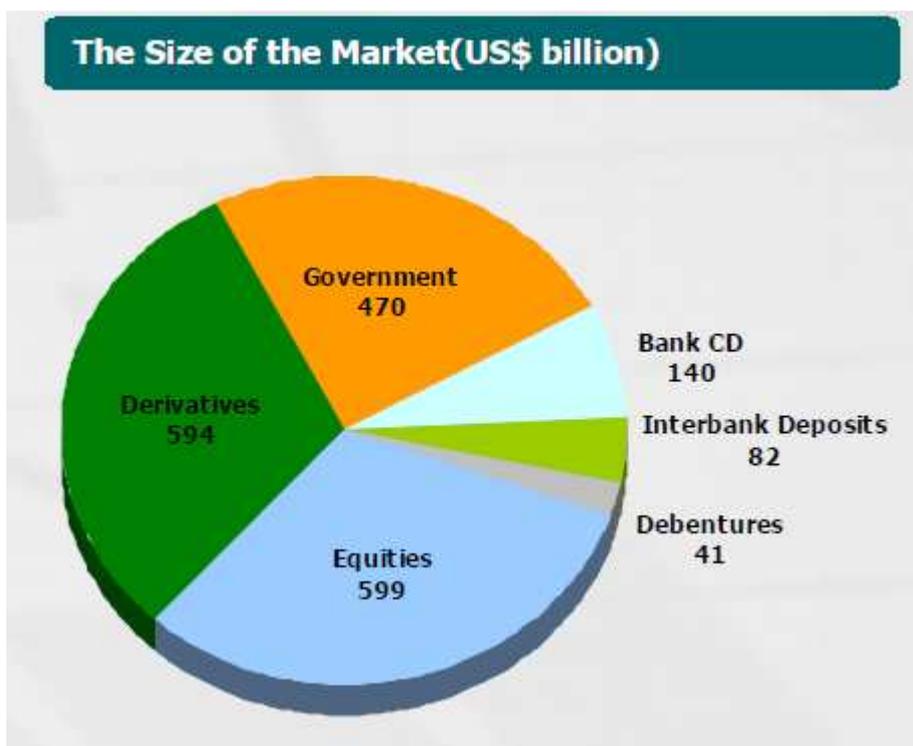


Figura 3 – Decomposição dos ativos negociados e seus volumes no mercado brasileiro.
Fonte: ANDIMA(2010).

Para ilustrarmos a importância do mercado de renda fixa brasileiro, vale apontar que representam mais de 700 bilhões de dólares transacionados (valor levantado pela ANDIMA em 2010).

A Estrutura a Termo da Taxa de Juros e o Modelo de Nelson e Siegel

Existe uma classe de títulos, a qual apenas promete o pagamento do valor de face na maturidade. Estes são chamados de títulos zero- cupom (*zero-coupon bonds* são tipicamente caracterizados por certas maturidades). Estes contratos envolvem o empréstimo de dinheiro de uma parte para outra no início e reembolso integral do principal acrescido de juros na data do vencimento. A construção de uma estrutura de juros a partir destes seria ideal, uma vez que seus fluxos de caixa são elementares. Como não existe uma série completa de títulos zero coupon negociados no mercado em maturidades suficientes, tal que permita a construção de uma curva de taxas à vista com dados exclusivamente observáveis, temos de nos usar de métodos de interpolação (a ser visto no próximo capítulo). Já os títulos com múltiplos pagamentos de juros e carteiras de renda fixa podem ser encarados como pacotes de fluxos de caixa, ou instrumentos múltiplos de zero coupon. Cada fluxo de caixa pode ser visto como um título de desconto com a mesma data de vencimento.

A taxa de juros aplicável a uma operação financeira forward, i.e., com início em data posterior à data spot do mercado e de vencimento futuro sucessivo, é denominada taxa forward ou taxa a termo. Segundo Sharpe et alii(1999),

“(...) uma aplicação financeira em um zero coupon bond de dois anos é equivalente à aplicação em título zero coupon também de um ano e a contratação imediata e firme dos termos de uma segunda aplicação em título zero coupon com prazo de um ano, mas com início dentro de um ano.”.

Jorion (1997) ainda denomina a representação gráfica das taxas a termo em função dos vencimentos de Estrutura a Termo. Ou seja, dado um conjunto de taxas spot, pode-se determinar uma seqüência de taxas forward através da seguinte equação:

$$(1 + f_{m;n})^{(n-m)} = \frac{(1+s_n)^n}{(1+s_m)^m} \quad (2)$$

Onde,

$f_{m;n}$: taxa forward para o período com início em m e vencimento em n anos medidos em percentual ao ano;

s_m : taxa spot para vencimento em m anos medidos em percentual ao ano;

s_n : taxa spot para vencimento em n anos medidos em percentual ao ano.

Através da estrutura a termo, formam-se expectativas sobre a economia. A forma da estrutura a termo impacta o funcionamento da economia real no que tange a consumo e investimento e pode ser um bom instrumento para prever de taxas futuras de inflação.

A relação entre taxas de juros e política monetária sempre foi um dos temas centrais da ciência econômica. O Banco Central do Brasil (BACEN), assim com o de muitos outros países, é responsável pela implementação da política monetária vigente no país. A implementação dessa política se dá, usualmente, através do controle sobre o estoque de ativos e sobre a taxa de juros de curto prazo. Na verdade, uma parcela significativa das autoridades monetárias intervém no mercado monetário com o objetivo de fixar uma meta para a taxa de juros de curto prazo. Por outro lado, os ciclos econômicos tendem a estar mais ligados às flutuações da taxa

de juros de longo prazo (pois consumo e investimento dependem de financiamentos e estes da estrutura a termo). Assim, a estrutura a termo é o instrumento pelo qual a política monetária interfere nas flutuações de produto presentes nas economias modernas. Dentro dessa perspectiva, uma boa compreensão da natureza desse instrumento parece ser essencial para o desenho de políticas monetárias capazes de atingir seus objetivos.

A literatura internacional a respeito da estrutura a termo se divide em dois grandes grupos a serem desenvolvidos na seção seguinte.

Modelos de Interpolação

Podemos dizer, então, no caso de curva de juros, que para cada prazo t , temos uma taxa de juros *spot* i associada, obtida por algum título negociado no mercado. Para que esta seja objeto de análise e estudo, é necessário que detenha a propriedade da continuidade. Ou seja, como existem apenas alguns vencimentos específicos observados no mercado financeiro que são negociados, temos de criar uma estrutura que atenda a todos os valores de t (conjunto completo).

$$\{t, i(t)\}$$

Para fazermos uso da curva completa, temos de construí-la por interpolação, seja por métodos paramétrico ou não-paramétricos. O primeiro, ou modo de interpolação aproximada, assume uma forma funcional explícita da taxa de juros em função da maturidade (variável independente). Onde os parâmetros estimados não podem ser definidos com a imposição de que a curva estimada precifique com exatidão todos os vértices de mercado, i.e., faz-se uma suavização.

Métodos não-paramétricos de estimação da ETTJ podem ser definidos como aqueles que não assumem uma forma funcional explícita para a variável dependente

(taxa de juros) em função das variáveis independentes (maturidade). A escolha dos vértices (nós) pode, no entanto, ser feita de forma que a curva estimada cruze com exatidão todas as maturidades que possuem títulos negociados no mercado levando assim a curvas estimadas muito voláteis ao longo do tempo. Métodos paramétricos de estimação da ETTJ são definidos como aqueles que assumem uma forma funcional explícita da taxa de juros em função da maturidade e onde os parâmetros estimados não podem ser definidos com a imposição de que a curva estimada precifique com exatidão todos os vértices de mercado.

Resumidamente, os modelos de estimação da curva de juros podem ser divididos em interpolações não-paramétricas, que respeitam condições de não arbitragem, e paramétricas, que priorizam a suavidade das curvas obtidas por intermédio de estimação de parâmetros.

O modelo de Nelson e Siegel

O paper proposto por Nelson e Siegel inicia com uma boa justificativa da importância que a estimação da curva de juros representa para os estudiosos do campo:

“Students of statistical demand functions might find it more productive to examine how the whole term structure of yields can be described more compactly by a few parameters.” - Milton Friedman, em Nelson e Siegel (1987)

Estudiosos da estrutura a termo de curva de juros têm como consenso descrever esta com as características de monotônica, curvada ou com formato de S. Wood(1983) apresenta um histórico de dados da curva que demonstram tal evidência. De forma a manter essas propriedades, os autores utilizam componentes exponenciais para explicar o comportamento da curva de juros em cada maturidade. Este trata-se de um modelo aproximado onde os autores utilizam *Parsimonious Modeling para obtenção de resultados*. Sua proposição é que a classe de funções que geralmente dão forma a curvas *yield* são soluções particulares de equações diferenciais. O solução geral de uma equação diferencial de segunda ordem com raízes reais capaz de fazer previsão de uma taxa *forward* r_t em uma maturidade τ dado por,

$$r(\tau) = \beta_{0,t} + \beta_{1,t} * e^{(-\frac{t}{\tau_1})} + \beta_{2,t} * e^{(-\frac{t}{\tau_2})} \quad (3)$$

Onde,

τ_1, τ_2 : são constantes associadas a equação;

$\beta_{0,t}, \beta_{1,t}, \beta_{2,t}$: são determinados por condições de contorno.

Estas condições dão solução a uma família de curvas de forward rate que atendem às restrições de monotonicidade e formato S.

Como já definido anteriormente, a *yield curve* é, dado a hipótese das expectativas puras, a média das taxas forward para uma dada maturidade τ :

$$R_t(\tau) = \frac{1}{\tau} * \int_0^\tau r(x) dx \quad (4)$$

sendo a curva yield representada por $R(\tau)$.

Outra forma de suavização, a partir da primeira equação, mostra-se mais aproximado. Neste caso temos também a solução de uma equação diferencial de segunda ordem, mas com raiz real de multiplicidade dois, e é tido em,

$$r_t(\tau) = \beta_{0,t} + \beta_{1,t} * e^{(-\frac{t}{\tau})} + \beta_{2,t} * \left(\frac{t}{\tau}\right) * e^{(-\frac{t}{\tau})} \quad (5)$$

A função $R_t(\tau)$ se mantém para esta solução com raízes iguais. Se integramos a função dentro do intervalo utilizado para a previsão, e dividirmos pelo prazo τ , obtemos,

$$R_t(\tau) = \beta_{0,t} + \frac{(\beta_{1,t} + \beta_{2,t}) * (1 - e^{(-\frac{t}{\tau})})}{\frac{t}{\tau}} - \beta_{2,t} * e^{(-\frac{t}{\tau})} \quad (6)$$

Substituindo t/τ por $\lambda_t \tau$, temos,

$$R_t(\tau) = \beta_{0,t} + \beta_{1,t} * \left(\frac{1 - e^{-\lambda_t \tau}}{\lambda_t \tau}\right) + \beta_{2,t} * \left(\frac{1 - e^{-\lambda_t \tau}}{\lambda_t \tau} - e^{-\lambda_t \tau}\right) \quad (7)$$

onde $R_t(\tau)$ aqui representa a curva de taxas forward.

O termo λ_t determina a taxa de decaimento exponencial. Para valores pequenos atribuídos a λ_t , temos um decaimento exponencial das taxas de juros, sendo este resultado de ajuste mais próprio para estimação de vencimentos mais longos das taxas de juros. O contrário também é válido, ou seja, conforme λ_t assume maiores, mais rápido será o decaimento e melhor o ajuste para os vencimentos curtos.

Esse modelo é amplamente utilizado por diversos bancos centrais por tratar-se de uma forma funcional simples que descreve toda a estrutura temporal das taxas de juros com um pequeno número de parâmetros. O formato da equação permite uma estrutura suave e flexível que acomoda os diversos formatos de ETTJ observados nos dados.

Os fatores da estrutura possuem a interpretação de nível, curvatura e inclinação, como podem ser vistos na figura abaixo.

Nível

O nível da curva de juros é determinado pela expectativa dos agentes quanto ao seu valor esperado. Mudanças abruptas no fator nível não interferem nas taxas de retorno que envolvem diferentes maturidades ao longo da curva. Mudanças de governo e/ou postura da autoridade monetária são exemplos de fatores capazes de alterar o valor nível da curva.

Inclinação

A inclinação é a parte da curva de juros que mais interessa aos agentes que negociam entre maturidades ao longo da curva em períodos futuros. Isto porque estas refletem a relação entre as taxas de juros de curto e longo prazos. Como já especificado no capítulo anterior, Hicks define que esta inclinação deve ser positiva, segundo a hipótese de preferência por liquidez, uma vez que os agentes necessitam de um prêmio por carregar o risco de prazos mais longos.

Curvatura

A curvatura determina a concavidade ou convexidade da curva de juros. Vale dizer, é responsável pela velocidade de crescimento ou decaimento dos retornos dado a maturidade.

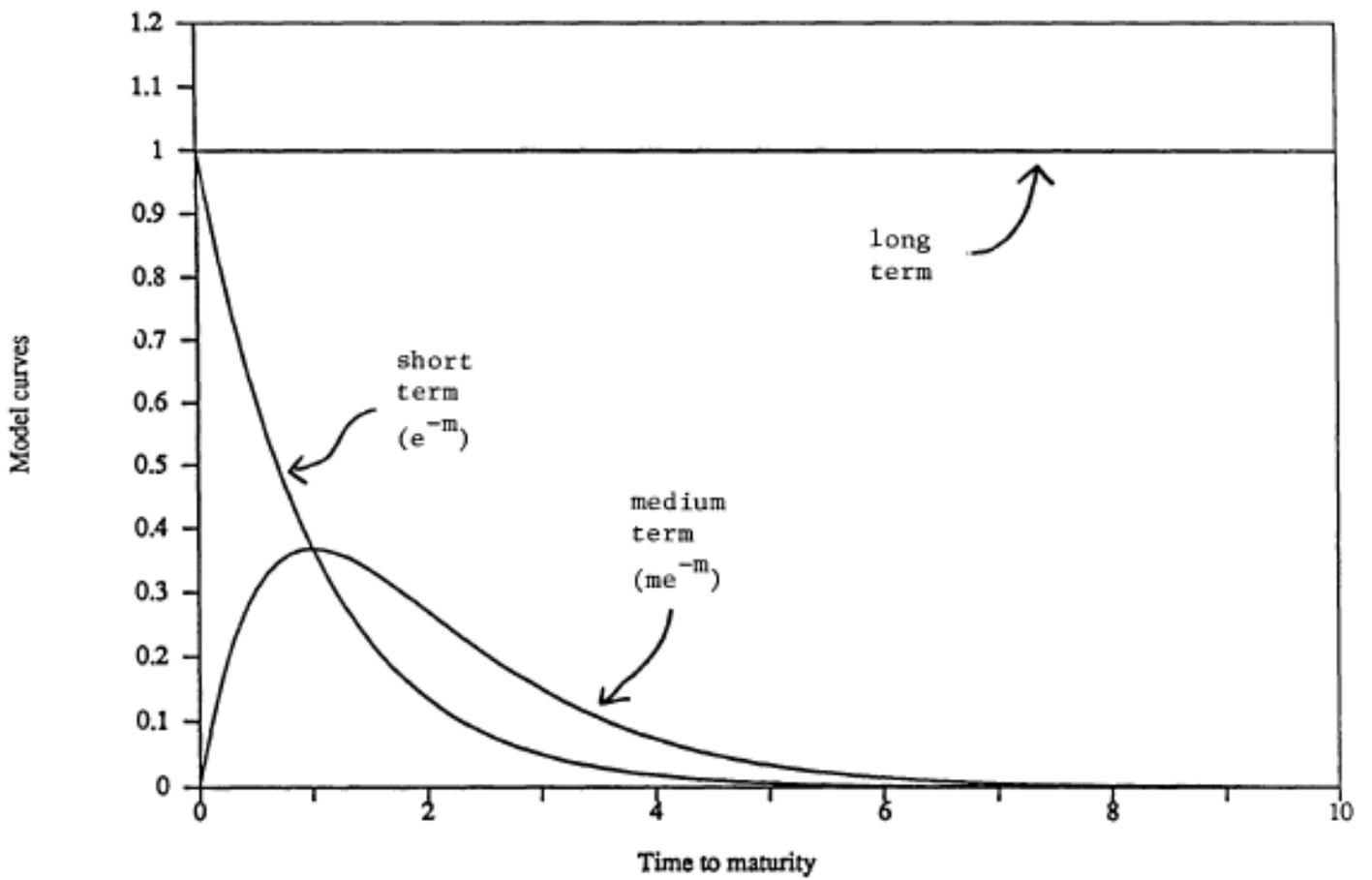


Figura 4– Decomposição dos tres fatores no modelo Nelson e Siegel.
Fonte: Nelson e Siegel (1987).

Apesar do modelo Nelson e Siegel ter sido desenhado como um modelo estático que aproxima diversas formas de curvas de juros em um determinado ponto do tempo, Diebold e Li (2006) reinterpretaram-no como um modelo dinâmico. Regredindo, período a período, os juros nos componentes exponenciais do modelo, seus coeficientes se tornaram capazes de variar no tempo, ou seja, $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ e $\lambda\gamma$, determinando toda a estrutura termo $R(m)$ em um determinado período. Apesar do coeficiente $\lambda\gamma$ poder variar no tempo, os autores, por simplicidade, fixaram-no. Com isso, o modelo se tornou linear permitindo sua estimação através de um MQO. Embora o modelo base consiga captar grande parte das variadas formas das curvas *spot*, ele não pode lidar com todas as formas que a estrutura a termo das taxas de juros assume ao longo do tempo, sobretudo as dos países emergentes, onde as curvas tendem a aparecer bastante retorcidas, com mais de um ponto de inflexão.

Até recentemente, no entanto, o modelo Nelson-Siegel enfrentou a crítica de não cumprimento pela construção de ausência de oportunidades de arbitragem, como enfatizado por Bjork e Christensen (1999), porque não garante que a evolução intertemporal dos rendimentos seja consistente com a forma que a curva de juros assume em cada ponto no calendário do tempo. Christensen, Diebold e Rudebusch (2009) evitam tal armadilha acrescentando à especificação dinâmica de Nelson-Siegel uma correção matemática, que garante o funcionamento das restrições de não arbitragem, mas que também aumenta a complexidade computacional.

A fim de remediar este problema, vários modelos paramétricos mais flexíveis da classe Nelson e Siegel têm sido propostos pela literatura, seja adicionando fatores adicionais, seja incluindo outros parâmetros de decaimento, ou ainda pela combinação de ambos. Alguns deles que podem ser citados, incluindo alternativas ao modelo Nelson e Siegel com correção ou não a não arbitragem, são Svensson (1994), Bliss (1997), Björk e Christensen (1999) e Almeida, Duarte e Fernandes (2001). A relevância dessa classe de modelos paramétricos na modelagem das estruturas a termo é constatada pelo Banco de Compensações Internacionais – BIS

(2005). O estudo do BIS aponta que quatorze dos quinze bancos centrais analisados utilizam modelos paramétricos para a construção de curvas de juros *zero-coupon*, sendo que nove deles fazem uso do modelo Nelson e Siegel e/ou do modelo Svensson.

Estimação

Dados

Na tentativa de replicar o modelo de Nelson e Siegel para o caso brasileiro, não foi possível utilizar as cotações das Letras do tesouro Nacional, títulos zero cupom do governo brasileiro, diferentemente do paper inicial dos autores. Isso se dá pela pequena quantidade de maturidades com liquidez nesse mercado. Para contornar tal problema, vamos recorrer às cotações de DI negociadas na BM&F para *proxy* de maturidades até 48 meses. Tais cotações são expressas em taxas ao ano.

Esta amostra é composta com curvas diárias no período de 05/01/07 a 04/01/11. Esse período totaliza 986 observações e garante uma amostra grande com qualidade de estimação. Foram escolhidas 15 maturidades, a saber, 1,3,4,6,9,12,15,18,21,24,27,30,36,42 e 48 meses.

Para cada dia observado, existem 15 taxas de juros distintas para 15 maturidades escolhidas. Para cada dia, fazemos uso da equação (5), de forma a estimar os parâmetros betas.

Meses	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	DP	Soma dos DP
1	0,110016	0,111224	0,14131	0,085138	0,015664	0,241677092
3	0,110436	0,111534	0,145159	0,085861	0,015604	0,239840008
4	0,110874	0,111567	0,146915	0,085821	0,015612	0,240079125
6	0,111905	0,112071	0,153191	0,086051	0,015682	0,242224216
9	0,113775	0,1123	0,160388	0,08728	0,015682	0,242221104
12	0,115816	0,113441	0,164007	0,089867	0,015516	0,237135498
15	0,117758	0,115076	0,169146	0,093517	0,015281	0,229996053
18	0,119328	0,116318	0,171193	0,095481	0,014846	0,217087869
21	0,120603	0,117174	0,172579	0,097876	0,014405	0,204388322
24	0,121572	0,118171	0,174416	0,100596	0,014004	0,193181702
27	0,122299	0,119064	0,176216	0,102606	0,013799	0,187546514
30	0,122818	0,119562	0,177768	0,101847	0,01361	0,18244654
36	0,123562	0,12058	0,178319	0,100854	0,013109	0,169264526
42	0,124151	0,121145	0,179263	0,100321	0,012624	0,156980802
48	0,124587	0,121693	0,180032	0,099654	0,012579	0,155854059

Tabela 1– Estatísticas Descritivas da Curva de Juros Real em decimais de 05/01/07 a 04/01/11.

Na Tabela acima, podemos notar a média das taxas de juros reais para cada maturidade. Além disso, vale frisar como os desvios padrões diminuem conforme as maturidades aumentam. Isso ocorre, uma vez que a taxa de juros responde mais rapidamente a mudanças conjunturais no caso de maturidades mais curtas. Assim, vemos que é natural a maior dispersão das taxas de juros para vencimentos mais curtos.

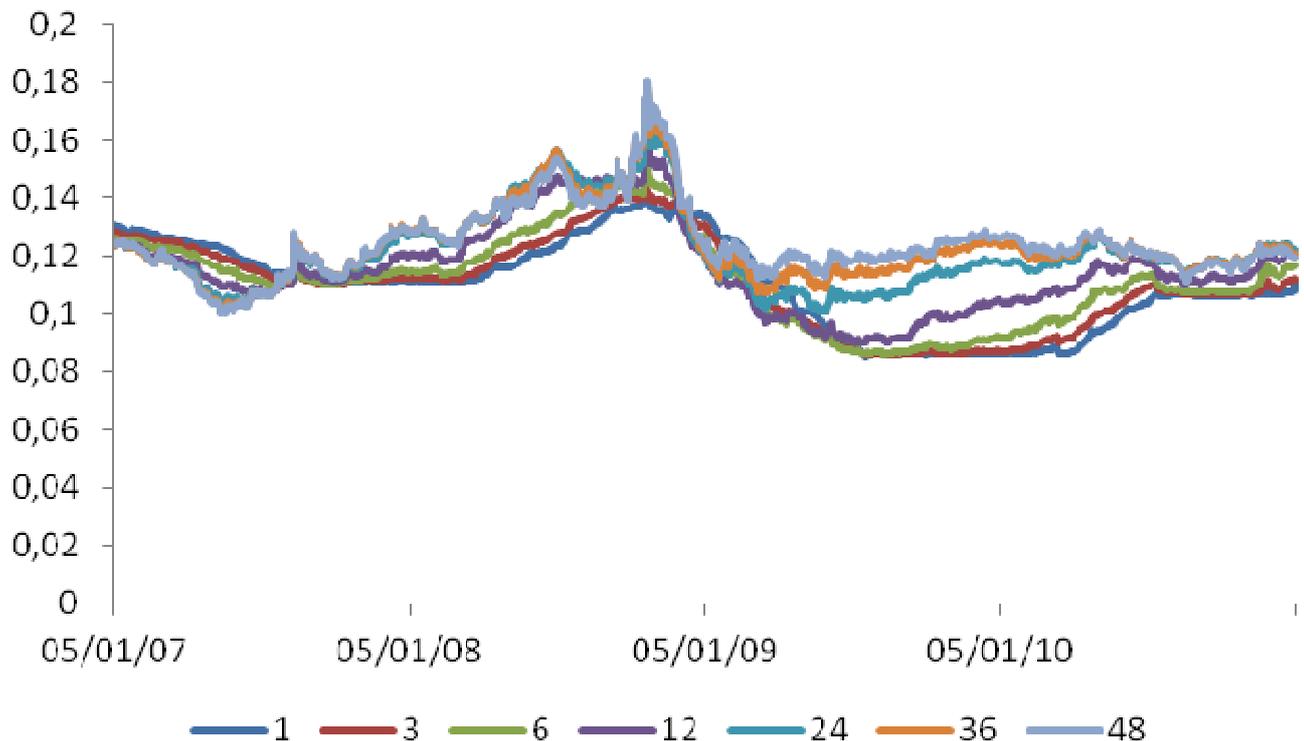


Gráfico 2– Evolução da Curva de Juros Real em decimais de 05/01/07 a 04/01/11.

Relembrando, este modelo consiste em três partes: uma constante, uma função de decaimento exponencial e uma função do tipo $\tau e^{-\tau}$ (função do tipo Laguerre). O constante representa o longo prazo das taxas de juro, enquanto que a função de decaimento exponencial reflete uma curva para baixo ($\beta_{1,t} > 0$) ou para cima ($\beta_{1,t} < 0$). A função de Laguerre em forma $\tau e^{-\tau}$ e é o produto de uma exponencial com um polinômio. Nelson e Siegel (1987) escolheu um polinômio de primeiro grau que faz a função de Laguerre no modelo de gerar uma corcunda ($\beta_{2,t} > 0$) ou uma calha ($\beta_{2,t} < 0$). Quanto maior o valor absoluto de $\beta_{2,t}$ mais pronunciada a corcunda e /ou calha é.

O coeficiente λ_t , chamado de o parâmetro de forma, determina a localização do máximo (resp. mínimo) do Laguerre função. O parâmetro de decaimento exponencial λ_t , que determina a velocidade de decaimento por inteiro da curva de taxas de juro, é definido como valor que maximiza $\beta_{2,t}$ na maturidade média dos

dados usados. Neste trabalho usaremos o valor de λ_t de **0,1391**. Este valor é obtido anteriormente às regressões dos betas e é aquele que minimiza o erro quadrático, considerando nossos dados mostrados anteriormente.

Uma vez definido o λ_t , podemos estimar os betas ao longo do tempo pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO). Segue abaixo a Tabela descritiva com seus valores e respectivos desvios.

Betas	Beta0	Beta1	Beta2
Média	0,130626	-0,02222	-0,01099
Mediana	0,130585	-0,0209	-0,00661
Máximo	0,19089	0,028934	0,072226
Mínimo	0,095666	-0,06532	-0,09001
DP	0,014055	0,022575	0,036472
Soma dos DP	0,194593	0,501977	1,310225

Tabela 2 – Estatística descritiva dos Betas.

Segue também a estatística RMSE que é a raiz quadrada do erro quadrático médio. Esta é usada na comparação de modelos de projeção para um a série com base nas suas projeções. Quanto menos as estatísticas RMSE melhor é a habilidade do modelo de fazer previsões. Podemos defini-la como,

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{T+1}^{T+h} (\hat{y} - y)^2}{h}}$$

Segue abaixo a Tabela que mostra os *outputs* para a qualidade do ajuste conforme as diferentes maturidades.

RMSE - Ajuste do Modelo de Nelson-Siegel (3 fatores latentes)		
		Ajuste
Maturidades	1	0,1442
	3	0,0455
	4	0,0804
	6	0,1157
	9	0,0979
	12	0,0504
	15	0,0493
	18	0,0798
	21	0,0930
	24	0,0854
	27	0,0695
	30	0,0538
	36	0,0374
	42	0,0693
48	0,1131	
Média		0,0790

Tabela 3 – Resultado do Ajuste do Modelo Nelson e Siegel por maturidades.

Antes de validar os betas, vale verificar se a série é ou não estacionária. Um processo estocástico é dito estacionário quando suas médias e variâncias forem constantes ao longo do tempo. Uma série estacionária, portanto, não possui tendência. Se ilustrado graficamente, podemos analisar o comportamento dos valores dos betas estimados para as observações como mostra o gráfico abaixo. Visualmente não podemos notar uma única tendência monotônica, apenas desvios positivos e negativos.

Mais formalmente, a determinação da estacionariedade da série pode ser vista pelo teste de Dickey Fuller aumentado (ADF). I.e., um processo é estacionário

se e só se o modelo autorregressivo tiver todas as suas raízes fora do círculo unitário se definido como

$$A(L) = 1 - \alpha_1 L + \alpha_2 L^2 - \dots - \alpha_p L^p$$

Se o processo obtiver raiz sobre o círculo, ele não é estacionário, mas não é explosivo. O teste ADF testa a H_0 : presença de raiz unitária no processo estocástico. Abaixo segue a saída do EViews para o p-valor de ADF para os betas.

Betas	Beta0	Beta1	Beta2
ADF	0,1909	0,4138	0,6742

Tabela 4 – Resultado do p-valor da estatística Dickey Fuller aumentado.

Vemos que ao nível de significância de 5% não é possível rejeitar a hipótese nula de existência de uma raiz unitária. Assim, as séries de $\beta_{0,t}, \beta_{1,t}, \beta_{2,t}$ possuem raízes fora ou sobre o círculo de raiz unitária, i.e., as séries são não estacionárias com tendência estocástica. Ainda assim, podemos fazer uso destes modelos, uma vez que as séries são não explosivas⁷.

⁷ Uma série é dita não estacionária explosiva quando os coeficientes do polinômio são maiores que 1. Séries econômicas geralmente são explosivas, pois incorporam choques e tem elevado grau de persistência.

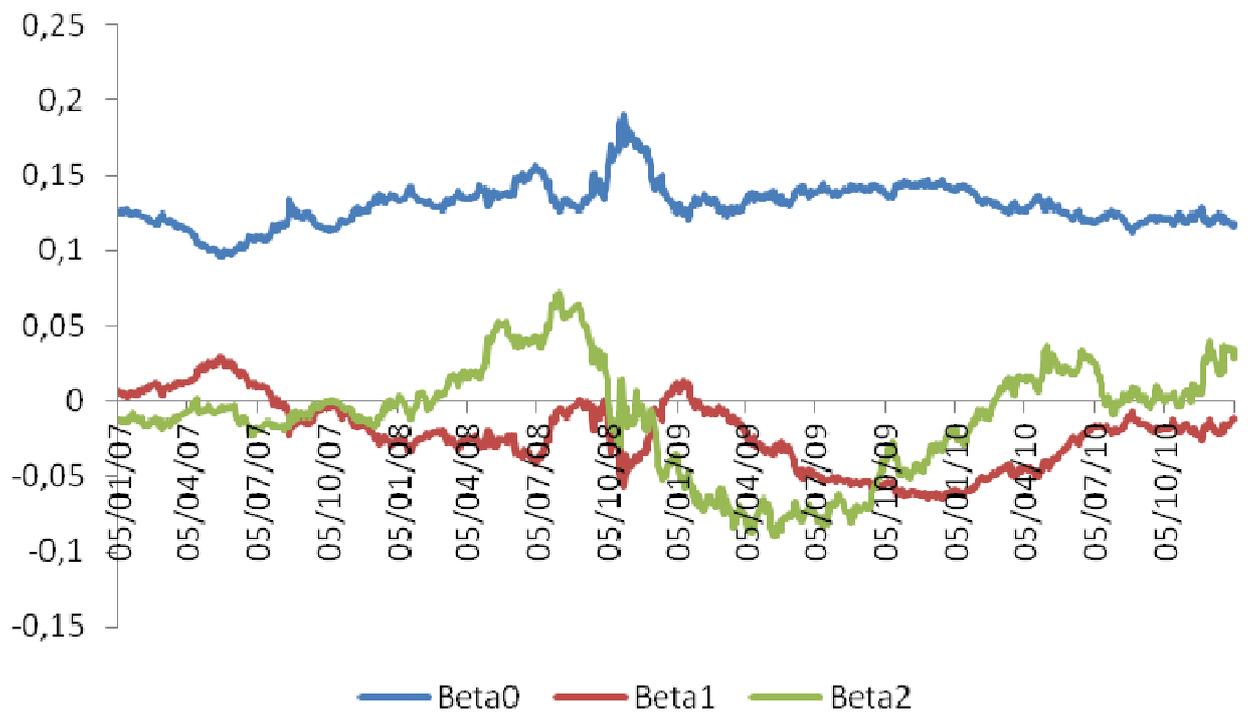


Gráfico 3 – Evolução dos parâmetros Betas.

Após a estimação, é possível ajustar a curva de juros, ou reproduzi-la *in sample*, utilizando $\beta_{0,t}$, $\beta_{1,t}$, $\beta_{2,t}$ encontrados. Abaixo, seguem os gráficos de ajuste para a curva de juros observada em alguns dias. A idéia é ilustrar a capacidade do modelo em se ajustar para diversos formatos da curva de juros.

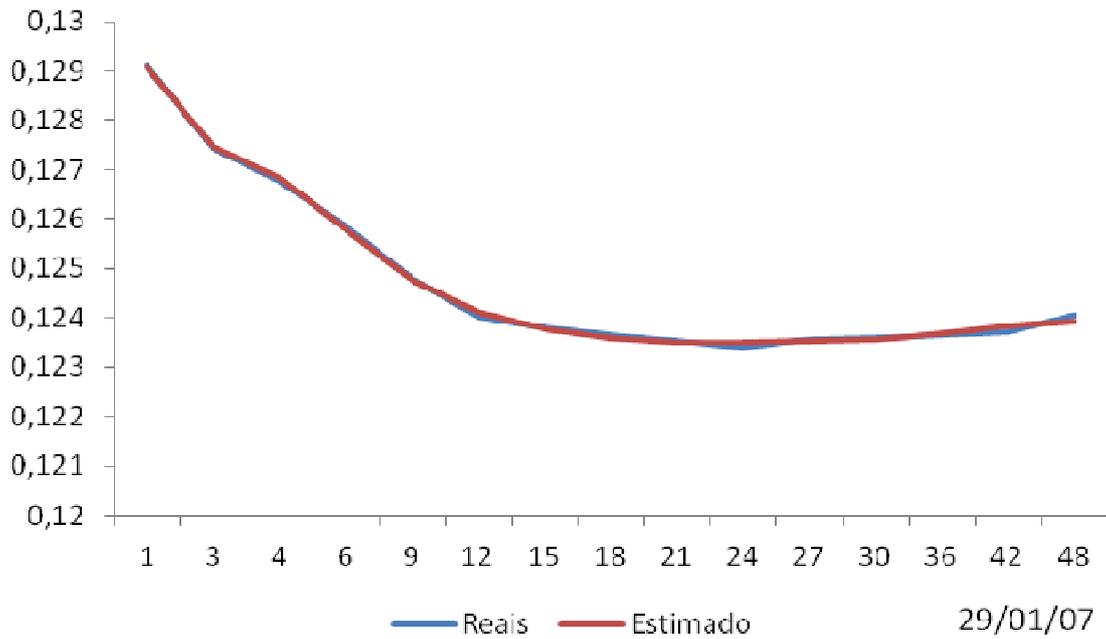


Gráfico 4 – Ajuste da curva de juros (taxas em decimais) em 29/01/07 para diferentes maturidades, negativamente inclinada.

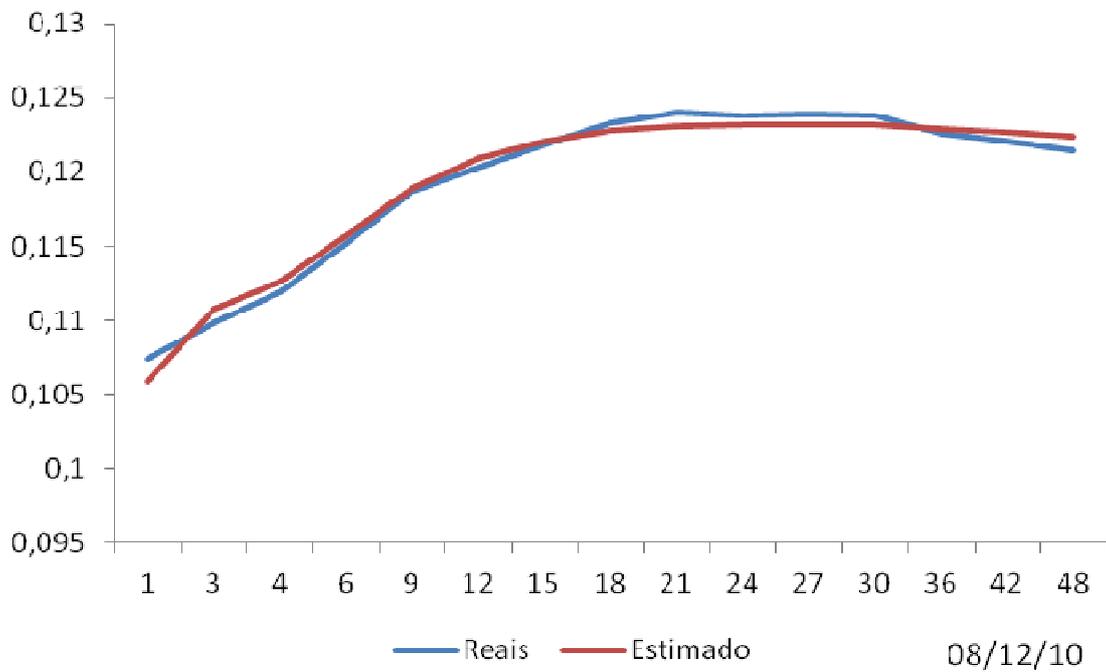


Gráfico 5– Ajuste da Curva de Juros (taxas em decimais) em 08/12/10 para diferentes maturidades, positivamente inclinada.

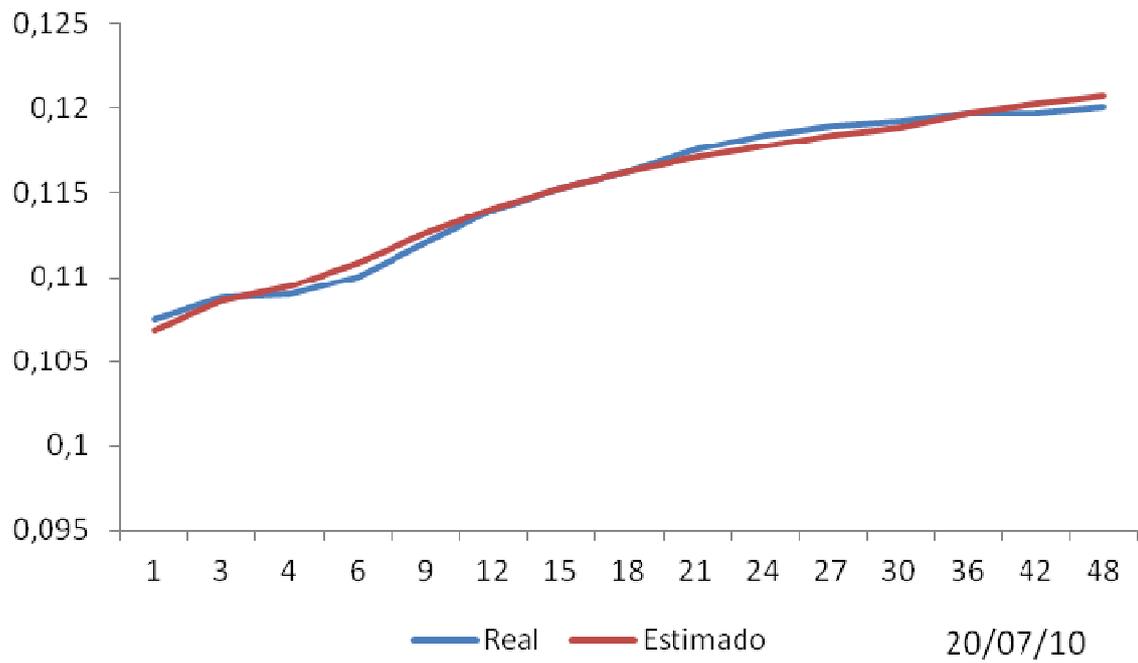


Gráfico 6 – Ajuste da curva de juros (taxas em decimais) em 20/07/10 para diferentes maturidades, positivamente inclinada.

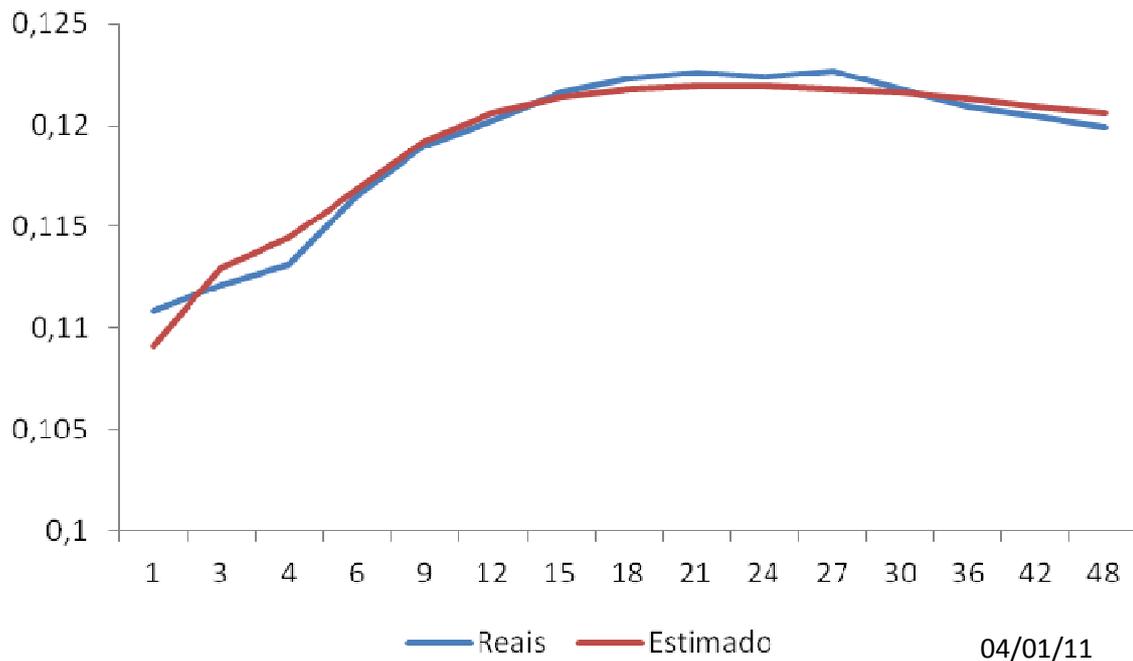


Gráfico 7 – Ajuste da Curva de Juros (taxas em decimais) em 04/01/11 para diferentes maturidades, positivamente inclinada.

Dado o nosso período de captura dos dados, de 05/01/07 a 04/01/11, podemos ver que foi possível reproduzir vários formatos de curva, ascendente, quase linear e côncava. Isso pode ser explicado pelo período contido nessa amostra de crise no ano de 2008. A crise financeira internacional, evidenciada a partir da crise no mercado imobiliário norte-americano, conhecida apenas como a crise de 2008, afetou tanto mercados financeiros como a economia real e, a partir, desta, podemos testar o ajuste da curva de juros em diversos momentos de conjuntura da economia brasileira e mundial como mostram os gráficos 4 – 7.

Vale lembrar que uma das principais vias de contágio da crise internacional se deu por meio da falta de crédito, i.e., com menos dinheiro no mercado e bancos em todo o mundo, existe mais cautela e, portanto, diminuição do volume de empréstimos assim como encarecimento destes.

Considerações Finais

O objetivo deste trabalho foi mostrar a importância da estrutura a termo da taxa de juros e revisar alguns conceitos importantes no que tange ao nosso objeto de análise. Buscamos também replicar a metodologia de Nelson e Siegel para o caso brasileiro e modelar o comportamento da estrutura a termo da taxa de juros para prazos futuros.

Notamos que foi possível aqui apresentar a capacidade satisfatória de tal modelo em se ajustar a curva de juros, uma vez que a condição de representar as diversas formas possíveis que a curva de juros pode assumir foi cumprida.

Por fim, vale lembrar que a conjuntura econômica brasileira no período da coleta de dados possibilitou o teste do ajuste para a curva de juros em seus diversos formatos. Isso se deu, devido à crise financeira em 2008, a qual é abrangida pelos dados coletados. Isso se faz importante, pois há indícios da capacidade de ajuste do modelo em situações adversas.

BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, C.; DUARTE, A.; FERNANDES, C. **Credit Spread Arbitrage in Emerging Eurobond Markets**, 2001.

ANDIMA. Estrutura a termo das taxas de juros estimada e inflação implícita.

ANDIMA: Metodologia, ANDIMA, versão Abril de 2010.

BALBINOTO NETO, G. Notas de aula, **PPGE/UFRGS**. Disponível em

<http://www.ppge.ufrgs.br/giacomo/arquivos/eco02002/estrutura-termo-taxa-juros.pdf>

(visualização em 10/11/2011).

BERNANKE, B. S. On the predictive power of interest rates and interest rate spreads. **New England Economic Review**, Federal Reserve Bank of Boston, p. 51-68, Nov./Dec. 1990.

_____. Nonmonetary aspects of the financial crisis in the propagation of the great depression. **The American Economic Review**, v. 73, p. 257-276, June 1983.

BERNANKE, B. S., BLINDER, A. S. **The federal funds rate and the channels of monetary transmission**. Princeton University, Sep. 1989 (Unpublished Paper).

BJORK, T.; CHRISTENSEN, B. Interest Rate Dynamics and Consistent Forward Rate Curves, **Management Working Papers, School of Economics and Management, University of Aarhus**, 1999.

BLISS, R. Moviments in the Term Structure of Interest Rates. **Federal Reserve Bank of Atlanta Economic Review**, 1997.

BREALEY, R.; SHAEFER, S. Term Structure and Uncertain Inflation. **Journal of Finance**, v. 32, 1977.

CALDEIRA, F.J. Estrutura a Termo da Curva de Juros no Brasil: Observada e Ajustada. **ANPEC SUL 2010**, Agosto 2010.

CAMPBELL, J. Y. Some lessons from the yield curve. **Journal of Economic Perspectives**, v. 9, n. 3, p. 129-152, Summer 1995.

COX, J. C. et alii. **A re-examination of traditional hypotheses about the term structure of interest rates**, v. 36, n. 4, Setembro. 1981.

CULBERTSON, J. M. The Term Structure of Interest Rates, **The Quarterly Journal of Economics** v. 71, no. 4, 1957.

CUSHING, M. J., ACKERT, L. F. Interest rate innovations and the volatility of long-term bond yields. **Journal of Money, Credit and Banking**, v. 26, n. 2, Maio 1994.

CHRISTENSEN, J.; DIEBOLD, F.; RUDEBUSCH, G. An Arbitrage-Free Generalized Nelson-Siegel Term Structure Model, **The Econometrics Journal**, v. 12, 2009.

DIEBOLD, F.; LI, C. Forecasting the Term Structure of Government Bond Yields. **Journal of Econometrics**, 2006.

ESTRELLA, A., HARDOUVELIS, G. A. **The term structure as a predictor of real economic activity**. Federal Reserve Bank of New York, May 1989 (Research Paper, 8.097).

FAMA, E. Forward and Spot Exchange Rates. **Journal of Monetary Economics** v. 14, 1984.

FISHER, I.. **The Nature of Capital and Income**. New York: MacMillan, 1906.

FRIEDMAN, B. A., KUTTNER, K. N. **Money, income and prices after the 1980s**. Feb. 1989 (NBER Working Paper, 2.852).

HICKS, J. R. **Value and capital: an inquiry into some fundamental principles of economic theory**. Oxford: Clarendon Press, 1939.

HUBBARD, R. **Money the Financial System and the Economy**. Addison-Wesley, 1994.

HULL, J. C. **Options, futures, and other derivative securities**. Prentice Hall, 1993.

JORION, P. **Value at Risk: The New Benchmark for Controlling Market Risk**. McGraw-Hill Book Company, 1997.

LAURENT, R. D. An interest-based indicator of monetary policy. **Economic Perspectives**, p. 3-14, Jan./Feb., 1988.

———. Testing the spread. **Economic Perspectives**, Julho/Agosto. 1989.

LITTERMAN, R. B., WEISS, L. Money, real interest rates, and output: a reinterpretation of postwar U.S. data. **Econometrica**, v. 53, Janeiro. 1985.

MCCALLUM, B. A reconsideration of Sims' evidence concerning monetarism. **Economics Letters**, v. 13, 1983.

MODIGLIANI, F.; and SUTCH, R. Innovations in interest rate policy. **American Economic Review**, 1966.

NELSON, C.; SIEGEL, A. Parsimonious modeling of yield curves. **Journal of Business**, 1987.

ROSSI, J. A estrutura a termo da taxa de juros: uma síntese. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v.26, n.3, dezembro 1996.

RUDEBUSCH, G. D. Federal reserve interest rate targeting, rational expectations, and the term structure. **Journal of Monetary Economics**, v. 35, n. 2, Abril 1995.

SANTOMERO, A. e BABEL, D. **Financial Market Instruments and Institutions**. Boston, McGraw-Hill, 2001.

SHARPE, W.; ALEXANDER, G.; BAILEY, J. **Investments**. Prentice Hall, 1999.

SHILLER, R. J., CAMPBELL, J. Y., SCHOENHOLTZ, K. L. Forward rates and future policy: interpreting the term structure of interest rates. **Brookings Papers on Economic Activity**, n. 1, 1983.

SIMS, C. A. Monetary, income, and causality. **The American Economic Review**, v. 62, Setembro. 1972.

_____. Comparison of interwar and postwar cycles: monetarism reconsidered. **The American Economic Review**, v. 70, Maio 1980.

STOCK, J., WATSON, M. New indexes of coincident and leading economic indicators. In: BLANCHARD, O. J., FISCHER, S. **NBER Macroeconomics Annual**. Cambridge, Mass.: The MIT Press, 1989.

SVENSSON, L. Estimating and interpreting forward interest rates, **NBER Working Paper**, n. 4871, 1994.

VAN HORNE, J. **Financial market rates and flows**. Prentice Hall, 1990.

WOOD, J. Do yield curves normally slope up? The term structure of interest rates, **Economic Perspectives, Federal Reserve Bank of Chicago**, 1983.