

Padrão Espectral do *Quantum* Externo Brasileiro

Nelson da Silva

Maio de 2017

Trabalhos para Discussão



456

ISSN 1519-1028
CGC 00.038.166/0001-05

Trabalhos para Discussão	Brasília	n° 456	Maio	2017	p. 1-38
--------------------------	----------	--------	------	------	---------

Trabalhos para Discussão

Editado pelo Departamento de Estudos e Pesquisas (Depep) – *E-mail*: workingpaper@bcb.gov.br

Editor-chefe: Francisco Marcos Rodrigues Figueiredo – *E-mail*: francisco-marcos.figueiredo@bcb.gov.br

Coeditor: José Valentim Machado Vicente – *E-mail*: jose.valentim@bcb.gov.br

Assistente Editorial: Jane Sofia Moita – *E-mail*: jane.sofia@bcb.gov.br

Chefe do Depep: André Minella – *E-mail*: andre.minella@bcb.gov.br

Todos os Trabalhos para Discussão do Banco Central do Brasil são avaliados em processo de avaliação tipo *double blind*.

Reprodução permitida somente se a fonte for citada como: Trabalhos para Discussão nº 456.

Autorizado por Carlos Viana de Carvalho, Diretor de Política Econômica.

Controle Geral de Publicações

Banco Central do Brasil

Comun/Divip

SBS – Quadra 3 – Bloco B – Edifício-Sede – 2º subsolo

Caixa Postal 8.670

70074-900 Brasília – DF

Telefones: (61) 3414-3710 e 3414-3565

Fax: (61) 3414-1898

E-mail: identidadevisual.comun@bcb.gov.br

As opiniões expressas neste trabalho são exclusivamente do(s) autor(es) e não refletem, necessariamente, a visão do Banco Central do Brasil.

Ainda que este artigo represente trabalho preliminar, citação da fonte é requerida mesmo quando reproduzido parcialmente.

The views expressed in this work are those of the authors and do not necessarily reflect those of the Banco Central or its members.

Although these Working Papers often represent preliminary work, citation of source is required when used or reproduced.

Divisão de Atendimento ao Cidadão

Banco Central do Brasil

Deati/Diate

SBS – Quadra 3 – Bloco B – Edifício-Sede – 2º subsolo

70074-900 Brasília – DF

DDG: 0800 9792345

Fax: (61) 3414-2553

Internet: <http://www.bcb.gov.br/?FALECONOSCO>

Non-technical Summary

The role played by the foreign sector, as an essential element for economic stability, has significantly improved owing to the evolution in international economic relations. In Brazil, the trade balance is an important component of the external sector and supply and demand shocks may bring about fluctuations in export and import volumes over several time horizons. Therefore, the identification of this cyclical structure is crucial to understand the relationship between foreign trade and other economic variables, which is very important to the decision-making process of economic agents.

Traditional models in economics reveal empirical regularities of the external sector through time domain methods. However, the task of identifying statistical properties of those economic time series can also be undertaken by the frequency domain method. The main advantage of this technique is the decomposition of a time series into several cycles, making easier the identification of fluctuations at different time horizons. By applying classical spectral analysis, this paper estimates the cyclical pattern of export and import volumes, including different product classes of these aggregates.

Based on data from 1980 to 2015, the analysis shows that export volumes are driven by long run cycles, while import volume fluctuations are generally observed in the short run. This result suggests that supply shocks capture an important share of export fluctuations and demand shocks, of import variations. The spectral pattern remains unchanged even if the database includes only observations from 2003 on or if a different seasonal filter is applied to the data.

According to three product classes for the export sector, namely primary, semimanufactured and manufactured products, all of them follow the same pattern as of the total export volume, with no significant difference. On the import sector, three out of the four product classes, namely capital goods, raw materials and consumer goods, show the same spectral profile of total import volume. Fuels and lubricants is the only product class that differs from the total import volume. This class shows spectral concentration at low frequency, which means long terms cycles.

Sumário Não Técnico

O papel do setor externo, como um elemento essencial para a estabilidade econômica, tem aumentado significativamente por causa da evolução nas relações econômicas internacionais. No Brasil, a balança comercial é um componente importante do setor externo e choques de oferta e demanda podem causar flutuações do volume das exportações e importações em horizontes temporais diversos. Portanto, a identificação dessa estrutura cíclica é crucial para entender a relação entre o comércio externo e outras variáveis econômicas, o que é de suma importância no processo de tomada de decisão dos agentes econômicos.

Modelos tradicionais em economia detectam as regularidades empíricas do setor externo através de métodos no domínio do tempo. Contudo, a tarefa de identificar as propriedades estatísticas dessas séries econômicas também pode ser conduzida no domínio da frequência. A vantagem principal dessa técnica é a possibilidade de decompor uma série em diversos ciclos, facilitando a identificação de flutuações em horizontes temporais distintos. Empregando a análise espectral clássica, este trabalho desenvolve um estudo para estimar o padrão cíclico do volume de exportação e importação, incluindo as diferentes classes de produtos desses agregados.

Baseado em dados de 1980 a 2015, a análise mostra que o volume de exportações contém ciclos de longo prazo, ao passo que as flutuações do *quantum* de importações são tipicamente de curto prazo. Esse resultado sugere que choques de oferta capturam parte importante das flutuações nas exportações e choques de demanda nas importações. O padrão espectral permanece inalterado mesmo se a base de dados inclui somente observações a partir de 2003 ou se um filtro sazonal diferente é aplicado aos dados.

Em relação às três classes de produtos para o setor de exportações, a saber, produtos básicos, bens semimanufaturados e bens manufaturados, todas seguem o mesmo padrão do volume total das exportações, sem diferenças significativas. Do lado das importações, três das quatro classes de produtos, nominalmente, bens de capital, matéria prima e bens de consumo, apresentam o mesmo perfil espectral das importações totais. A única classe de produtos que se diferencia nas importações é combustíveis e lubrificantes. Essa classe tem concentração espectral na baixa frequência, o que significa ciclos de longo prazo.

Padrão Espectral do *Quantum* Externo Brasileiro

Nelson da Silva¹

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo analisar o comportamento cíclico do *quantum* das exportações e importações brasileiras. O período observado contém dados mensais entre 1980 a 2015. A etapa preliminar consistiu da identificação de quebras estruturais e do teste de raiz unitária. A análise espectral, por sua vez, permitiu a identificação dos componentes cíclicos das variáveis. Os resultados da fase preliminar mostram que as séries de exportação são estacionárias e as de importação integradas de ordem 1 e indicam quebras estruturais ocorridas nos anos 90 e início dos anos 2000. O estudo espectral revela que em nível as exportações são compostas por ciclos de longo prazo, equivalentes a períodos acima de 13 anos. A taxa de variação mensal do *quantum* de importações é constituída de oscilações de alta frequência. Em geral, as densidades espectrais estimadas são robustas ao método de dessazonalização e ao recorte amostral empregado.

Palavras-chave: Comércio externo brasileiro; quebra estrutural; análise espectral; ciclos.

Classificação JEL: C29, E32, F14

Este Trabalho para Discussão não deve ser citado como representando as opiniões do Banco Central do Brasil. As opiniões expressas neste trabalho são exclusivamente do autor e não refletem, necessariamente, a visão do Banco Central do Brasil.

¹ Departamento de Estudos e Pesquisas, Banco Central do Brasil. E-mail: nelson.silva@bcb.gov.br

1. Introdução

A quantidade de pesquisas ligadas à compreensão dos agregados do comércio externo brasileiro é bastante expressiva. As aplicações econométricas, contudo, têm sido majoritariamente situadas no campo do domínio do tempo.² Este trabalho tem o enfoque voltado ao estudo das propriedades das séries do *quantum* brasileiro de exportação e importação no domínio da frequência. A partir da abordagem espectral clássica, analisa-se em detalhes o perfil cíclico das séries de comércio exterior, suplementando as informações obtidas nas análises convencionais ao apontar ciclos nem sempre visíveis no domínio do tempo.

A investigação das propriedades espectrais surgiu do interesse em identificar, quantificar e caracterizar inicialmente os ciclos existentes nesses agregados de comércio externo. Especificamente, baseado nas questões levantadas por Woitek (1997), busca-se entender se as bases cíclicas das flutuações são irregulares ou estruturadas. Se cíclicas, a ideia é saber quantos são e em qual periodicidade. Por fim, há a tentativa de mensurar quanto da variância é explicada por um ciclo em particular e pelos ruídos.

Ao longo deste trabalho reporta-se os resultados do método espectral univariado aplicado às séries de *quantum* dos principais componentes das exportações e das importações brasileiras. O estudo explora as diversas aberturas do comércio externo. As séries de *quantum* incluem, do lado das exportações, total, bens básicos, bens semimanufaturados e manufaturados. Do lado das importações, total, bens de capital, bens intermediários, bens duráveis, bens não duráveis e a categoria combustíveis e lubrificantes. A amostra compreende o período jan./1980 a dez./2015.

As séries constituintes desta pesquisa foram submetidas a um exame preliminar relacionado à busca de indícios de estacionariedade e eventuais quebras estruturais. A segunda etapa foi analisar espectralmente as variáveis no nível ou na primeira diferença, conforme o teste de raiz unitária. Com o propósito de mostrar que os mesmos resultados se verificam numa gama maior de alternativas, analisou-se o perfil espectral na taxa de variação em relação ao mesmo mês do ano anterior e, dado o teste de quebra estrutural, num recorte amostral que se inicia em jan/2003.

² Nos trabalhos de Govêa e Schettini (2011) e Schettini (2012) há uma breve discussão de diversos artigos importantes voltados à estimação das funções de exportações e importações brasileiras.

Este artigo está relacionado à questão do perfil espectral típico de uma variável econômica, na linha dos estudos iniciados por Granger (1966). Em que pese a grande quantidade de trabalhos relacionados ao comércio externo brasileiro, não se conseguiu identificar na literatura pesquisas que tentassem verificar essa assertiva no nível de detalhamento do espectro das séries de exportação e importação e suas respectivas aberturas.

Este trabalho é de natureza estatística, situa-se no campo investigativo e tem como perspectiva a estimação do espectro das séries e o estudo da distribuição da variância entre as frequências. A procura de relações causais, as implicações no desenho de políticas econômicas visando a suavização dos ciclos, a investigação pormenorizada das possíveis razões econômicas explicativas do padrão espectral das séries, a tentativa de associar um determinado ciclo a um fenômeno em particular ou a comparação com os estudos no domínio do tempo estão além do escopo desta pesquisa.

Embora o propósito univariado possa à primeira vista parecer restrito, ainda que, por si só, o conhecimento das propriedades estatísticas das variáveis exportação e importação seja relevante no eventual desenho de políticas relacionados ao comércio exterior, essa etapa é essencial para uma eventual aplicação multivariada, na qual é possível analisar, por frequências, a correlação entre essas séries e os demais agregados econômicos. Muitas questões econômicas que podem ser abordadas com métodos multivariados, como é o caso do estudo dos ciclos de negócios internacionais, por meio da obtenção do espectro cruzado das séries, requer o conhecimento prévio da composição espectral das séries.

Portanto, pode-se pensar deste trabalho como uma primeira tarefa em direção ao estudo de flutuações cíclicas comuns das séries de comércio exterior em relação ao produto interno, demanda externa, investimento, consumo, capacidade instalada, câmbio e outras variáveis importantes na determinação das funções de exportação e importação. O perfil espectral univariado e os espectros cruzados, estes obtidos num contexto multivariado, são duas etapas de um mesmo procedimento. Analisar as séries separadamente é uma forma de documentar detalhes que muitas vezes seriam omitidos, por questões de espaço, em trabalhos mais voltados a ciclos.

O artigo está dividido nas seguintes partes, além desta introdução. A visão geral da literatura econômica, na qual se entende que o presente estudo se enquadra, é o foco da seção 2. A seção 3 resume os principais conceitos da análise espectral. A seção 4

discute o procedimento de estimação. Em seguida, na seção 5 apresentam-se os dados e os resultados. A seção 6 conclui o trabalho.

2. Revisão da Literatura

A decomposição de uma série em contribuições periódicas permite uma visão diferente da sua estrutura e do seu comportamento cíclico. Através dessa abordagem é possível verificar como a variância está distribuída entre os componentes cíclicos.

Como afirmado por Levy e Dezhbakhsh (2003), o padrão espectral é de grande importância em termos de teoria econômica e da construção de modelos, o que tem levado à crescente aplicação de métodos espectrais nos esforços relacionados à tarefa de identificar as propriedades estatísticas que caracterizam as séries econômicas. Do ponto de vista teórico, a concentração na baixa frequência pode sugerir, por exemplo, que as variações são causadas por choques persistentes, identificados na maioria das vezes como choques de oferta. Um modelo macroeconômico deve capturar essa característica espectral. Ainda, se não há concentração espectral significativa na frequência associada ao ciclo de negócios,³ as variações de curto prazo são menos relevantes na variabilidade da série.

As primeiras análises espectrais sistemáticas envolvendo variáveis macroeconômicas apareceram nos anos 60.⁴ O trabalho seminal nessa área é atribuído a Granger (1966), que descreveu o padrão espectral típico das séries econômicas, avaliadas em nível, como sendo concentrado na baixa frequência, com declínio suave ao longo das periodicidades mais curtas, mesmo depois de extraída a tendência e sazonalidade. A implicação é que há um ciclo bastante longo operando nas variáveis macroeconômicas.

No início dos anos 2000, ao analisar as séries de produto interno bruto de 58 economias, Levy e Dezhbakhsh (2003) confirmaram a concentração espectral na baixa frequência para os países desenvolvidos, o que implica a presença de movimentos longos

³ Citando trabalhos relevantes nessa literatura, Levy e Dezhbakhsh (2003) definem o ciclo de negócios como o período entre três e oito anos. Em radianos, esse período é equivalente a frequências no intervalo (0,785; 2,09).

⁴ Crowley (2010) afirma que a identificação das diferentes frequências atuando nas variáveis econômicas tem seu pioneirismo nos economistas do início do século passado, como Kitchin, Keynes, Schumpeter e outros. O trabalho de Granger (1966) é o mais celebrado em termos da aplicação sistemática da análise no domínio da frequência. Vale mencionar, contudo, que Crowley (2010), na tentativa de identificar a origem do uso sistematizado da análise espectral em economia, lembra que Schumpeter (1939) cita a publicação, em 1923, de um trabalho de análise espectral realizado por W.L. Crum, que trata da análise do periodograma das taxas mensais das notas promissórias em Nova Iorque de 1866 a 1922, e onde se encontrou um ciclo relevante de 40 meses.

e persistentes. Encontraram algumas disparidades nas séries das nações em desenvolvimento, contudo. De forma geral, os autores concluem que as variações do produto são primordialmente decorrentes de fatores de longo prazo e choques persistentes. No caso dos países em desenvolvimento, os choques de demanda são relevantes e podem explicar a diferença no padrão espectral.

Em trabalho recente, restrito aos dados dos Estados Unidos, Medel (2014) foi além da investigação do produto interno bruto somente. Ele ampliou não só o número de variáveis econômicas analisadas, mas também as investigou em diversos tratamentos a que são frequentemente submetidas em economia aplicada. O autor sustenta que o perfil espectral se mantém ao preconizado por Granger nas variáveis ligadas à atividade real, taxa de juros e outros indicadores, independentemente do tamanho da amostra, da extensão da banda espectral usada na estimação ou do método de remoção da tendência.

Usando a análise espectral clássica e dados do produto nacional bruto dos Estados Unidos, os resultados de Crowley (2010) são similares aos dos trabalhos citados acima. Por outro lado, em contraste às estimativas de Levy e Dezhbakhsh (2003) e Medel (2014), esses achados não se sustentam ao se adotar outros métodos no domínio da frequência. O autor conclui que o padrão espectral típico descrito por Granger (1966) parece ser um artefato da metodologia empregada ao invés de um fato estilizado. A essa constatação adicione-se a possibilidade de se gerar ciclos espúrios por conta da escolha inadequada do método de eliminar a tendência, um fato bem conhecido na literatura econométrica.

O estudo do padrão espectral também pode ser relacionado à análise do comércio externo em relação ao ciclo de negócios, pois esse conceito não se refere apenas às flutuações no produto. As variáveis de comércio internacional também têm natureza cíclica. Ainda que se julgue conveniente estabelecer uma discussão muito breve dessa temática, pela relação com o trabalho, como se apontou na introdução e, mais importante, por justificar a aplicação do método espectral canônico, como se verá adiante, é oportuno registrar a complexidade do tema. Citando Wang (2012), a própria definição de ciclo de negócios é controversa na sua definição e medida em decorrência das diferenças metodológicas, econométricas, propósito prático e de política econômica.

Nos estudos iniciais, o ciclo de negócios era classificado de acordo com a duração e periodicidade e a abordagem era mais relacionada ao domínio da frequência. Os diferentes tipos de ciclos dessa fase de pesquisa, que vai do final do século XIX e se estende até os anos 1950, são classificados por diversos autores como: i) Kitchin, com ciclos de 2 a 4

anos, relacionados ao investimento em estoque; ii) Juglar, período de 7 a 10 anos, decorrentes de investimento em capital fixo; iii) Kuznets, cerca de 15 a 25 anos, associado à questões demográficas e investimento em infraestrutura⁵ e; iv) Kondratieff, 45 a 60 anos, ligado ao fator tecnológico.⁶

Woitek (1997) destaca a redução nos anos 1960 do interesse de pesquisas na área de ciclos, em virtude do crescimento rápido e estável, e a posterior retomada do tema nos anos 1970, por conta do crescimento econômico errático, desemprego elevado e inflação alta. A tentativa de explicação do ciclo econômico teve proeminência na corrente monetarista, novos clássicos, ciclos reais de negócios e novos keynesianos. Como argumentam Woitek (1997) e Wang (2012), prevalecem nesses estudos métodos relacionadas ao domínio do tempo, onde a visão diferencia-se da inicial no sentido de não serem estabelecidas periodicidades.

Contudo, Woitek (1997) defende a aplicação da análise espectral no estudo dos ciclos quando o objetivo é responder as seguintes questões: i) as flutuações são irregulares ou ciclicamente estruturadas? ii) se cíclicas, quantos ciclos podem ser obtidos? iii) qual a periodicidade dos ciclos? iv) quanto da variância pode ser explicada por um ciclo em particular e qual a importância dos ruídos? v) o que pode ser dito sobre a relação avanços e retardos entre os ciclos de diferentes séries? Como o presente trabalho está apoiado nas quatro primeiras questões, justifica-se, assim, o emprego da análise espectral.

A flutuação da balança comercial sempre foi objeto de muitas investigações. Como argumentado por Rangarajan e Sundarajan (1976), o propósito, em geral, é determinar se os países desenvolvidos sofrem flutuações maiores e se isso afeta a taxa de crescimento.

Como mostrou Zimmermann (1995), as exportações são menos voláteis que as importações. Ao passo que as exportações são determinadas pelas condições econômicas em outros países, as importações são, por outro lado, mais pró-cíclicas à atividade doméstica. Quando o ciclo de negócios é alto, o excesso de demanda doméstica pode ser

⁵ Como é bem conhecido na literatura econômica, o ciclo de Kuznets pode ser gerado de maneira espúria como um artefato produzido pelo método de filtragem e não pelos dados. Howrey (1968) demonstrou que mesmo numa série do tipo ruído branco pode ser gerado um ciclo de 21 anos ao se aplicar a função de transferência do filtro de Kuznets.

⁶ Conforme Korotayev and Tsirel (2010), o ciclo de Juglar é a flutuação econômica mais bem conhecida nas economias modernas e também é identificado como ciclo de negócios. O nome é devido ao trabalho de Clément Juglar publicado em 1889, do qual, seguindo Woitek (1997), emergiu uma expressiva literatura de ciclos de negócios.

suprido pelos bens importados. Os dados, em geral, sugerem que as importações não apresentam defasagens ou adiantamentos em relação ao produto interno.

No caso brasileiro, ainda que alicerçados no emprego de métodos relacionados ao domínio do tempo, Magalhães e Toscano (2013) procuraram documentar as principais regularidades empíricas referentes ao padrão cíclico de variáveis de comércio exterior no Brasil. Duas conclusões importantes são: i) as exportações e importações são mais voláteis que a produção industrial e; ii) as variáveis apresentam comportamento pró-cíclico com defasagem. Os autores argumentam que os resultados encontrados constituem evidência inicial de ciclo de negócios no comércio externo.⁷

Um outro tema que o presente trabalho pode se relacionar diz respeito à previsão. Métodos sofisticados de estimação se tornaram ainda mais relevantes na medida em que a globalização aumentou a importância do comércio internacional na função de elemento estabilizador de uma dada economia. Seguindo a argumentação de Levy e Dezhbakhsh (2003), uma forma de testar um modelo macroeconômico é verificar se ele gera nas séries envolvidas o padrão espectral típico. O conhecimento das propriedades dessas séries pode sugerir novos elementos na formulação de modelos destinados à previsão da balança comercial, como em Silva e Hassani (2015), por exemplo. A estimação de um modelo em diferentes bandas de frequência pode implicar parâmetros significativamente diferentes, como apontou Sala (2015), na estimação de um modelo DSGE, e Medel (2014). Uma vez que os trabalhos de previsão da balança comercial no Brasil estão majoritariamente concentrados no domínio do tempo, essa pode ser uma questão importante.

⁷ Ainda que situado no campo do domínio do tempo, o trabalho de Magalhães e Toscano (2013) foi citado por cobrir um período mais adjacente ao presente estudo. Considerando-se um horizonte mais antigo, contudo, pode-se ver em Barros (1993) a investigação da relação, no domínio da frequência, das séries de comércio exterior com o produto interno. Numa abordagem espectral e com recorte amostral para o período 1920-1985, o autor calculou a correlação das exportações e importações com o produto interno bruto em diversas frequências. A correlação média ficou em torno de 0,6 na região entre 5 a 21,7 anos, que se definiu como sendo o período associado ao ciclo de negócios e cujas médias foram as mais altas. A densidade espectral das variáveis exportações e importações não foram apresentadas diretamente. Porém, essas séries foram incluídas no cálculo de um índice obtido da combinação linear de diversas variáveis, entre as quais produto interno, meios de pagamento, produto agrícola, produto industrial e tributos governamentais. Cobrindo dados anuais de 1856 até 1985, o autor conclui existir concentração espectral desse índice nas faixas de baixa frequência, associados aos ciclos de Kitchin, Juglar e Kuznets.

3. Análise espectral⁸

As primeiras aplicações da análise espectral no estudo das variáveis macroeconômicas remetem a meados dos anos 60 e foram decorrentes da necessidade de se entender mais detalhadamente a estrutura geral das séries, citando Iacobucci (2003). Dado que o objetivo do trabalho é limitado ao estudo do perfil espectral do volume de comércio externo brasileiro, esta seção contém uma breve revisão do método espectral canônico, limitado ao contexto univariado. A escolha do modelo clássico é decorrente de duas razões. A primeira é a simplicidade. Por se tratar de uma investigação inicial, preferiu-se uma abordagem convencional, ainda que se tenha em mente os resultados de Crowley (2010), apresentados na seção anterior. A segunda é relativa ao tamanho da série. Conforme Iacobucci (2003), o modelo espectral tradicional, relativo a outros instrumentos de análise espectral, por exemplo, ondaletas (*wavelets*), é mais conveniente no caso de séries não muito longas, como é o caso das variáveis objeto deste estudo. O contexto é univariado em razão da análise particularizada das séries, sem estabelecer relação entre elas ou outras variáveis econômicas.

A maioria das séries temporais são caracterizadas por múltiplos componentes cíclicos de períodos variados. A análise espectral é um método de separar esses diversos ciclos, a partir dos espectros individuais e cruzados. O estudo e a estimação do espectro são o objeto da análise espectral. O propósito principal é decompor a série original em uma soma infinita de funções periódicas. Os pares de senos e cossenos são os elementos básicos da análise no domínio da frequência.

O espectro de uma série temporal pode ser visto como a distribuição da variância da série em função da frequência. A frequência é a proporção de um ciclo (ou radianos) por unidade de tempo. Um ciclo é um período completo de uma função seno ou cosseno. O período é o inverso da frequência. A frequência mais elevada que pode ser observada nos dados é chamada “frequência de Nyquist”, ou seja, 0,5 ciclos por observação (período

⁸ Para citar algumas referências ao tema, a introdução e exposição teórica sobre análise espectral podem ser vistas em Brockwell e Davis (2002), Bloomfield (2000), Harvey (1975) e Hamilton (1994). Estratégias de estimação são encontradas em Stoica e Moses (2005). Shumway e Stoffer (2015) introduzem a análise espectral fazendo uso do *software* R nos exercícios de estimação. O trabalho de Pastore (1994) contém um exemplo aplicado à atividade industrial brasileira. As seções 3 e 4 deste artigo baseiam-se principalmente nesses trabalhos. A abordagem por meio da representação espectral também é chamada de análise no domínio da frequência. O leitor familiarizado com conceitos básicos do modelo espectral canônico univariado e sua estimação pode avançar essa seção e a próxima sem qualquer prejuízo no entendimento dos resultados.

= 2). Por exemplo, se os dados forem mensais, não é possível identificar ciclos inferiores a dois meses, ou seja, pico-vale-pico. A frequência fundamental corresponde a um ciclo completo ao longo da extensão da série temporal observada.

Toda série temporal estacionária pode ser exatamente representada por uma soma ponderada de funções trigonométricas de senos e cossenos. A soma do quadrado dos pesos de um par de funções trigonométricas (seno e cosseno) fornece, em termos da variância da série, a importância de uma determinada frequência relativa às outras. A soma do quadrado de todos os pesos (coeficientes) é proporcional à variância da série. Os coeficientes levam ao periodograma e a suavização desse à estimativa da densidade espectral.⁹

O periodograma dilui a variância da série em um conjunto discreto de variâncias. No espectro, as estimativas do periodograma são fracionadas em frequências vizinhas para obter estimativas mais suaves e com menor intervalo de confiança. O periodograma se relaciona ao espectro assim como o histograma está para a densidade de probabilidades.

Portanto, o espectro é um periodograma suavizado. O espectro é um conceito populacional e pode ser definido em termos de um modelo em que a série temporal consiste de uma combinação linear de senos e cossenos com amplitudes aleatórias. O periodograma é um conceito estatístico amostral. O modelo para o periodograma amostral é apresentado a seguir, seguindo Hamilton (1994). Uma série temporal estacionária com T observações (um número ímpar para fins de simplificação) pode ser escrita como:¹⁰

$$y_t = \mu + \sum_{j=1}^M [\alpha_j \cos \omega_j(t-1) + \delta_j \sin \omega_j(t-1)]$$

$$j = 1, 2, \dots, M \quad M = (T-1)/2$$

Na equação acima, y_t é o valor da série no período t , α_j e δ_j são os parâmetros que indicam o peso de cada seno e cosseno. Esses parâmetros são variáveis aleatórias que

⁹ O termo suavização refere-se a um processo em que a estimativa pontual de uma determinada frequência é substituída por uma média móvel ponderada, no qual se inclui a estimativa da própria frequência e de suas vizinhas.

¹⁰ A interpretação é equivalente quando T é par, como pode ser visto em Bloomfield (2000) e Brockwell e Davis (2002). Para tratar de uma forma geral, esse último autor define $\omega_j = \frac{2\pi j}{T}$, $j = -\left[\frac{T-1}{2}\right], \dots, \left[\frac{T}{2}\right]$, onde $[y]$ corresponde ao maior inteiro menor ou igual a y . O conjunto formado por ω_j é denominado frequências de Fourier associadas à amostra de tamanho T , definido no intervalo $(-\pi, \pi]$.

atendem certas condições relacionadas à normalidade e ausência de correlação. A frequência angular ω_j ($2\pi j/T$) depende de T e o conjunto (em ciclos por observação) é dado por $1, \dots, M/T$. Por essa construção, o ciclo mais longo é igual ao tamanho da série e o mais curto tem período 2.

A estimativa OLS para os parâmetros α_j e δ_j é da seguinte forma:

$$\mu = \bar{y} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T y_t$$

$$\hat{\alpha}_j = \frac{2}{T} \sum_{t=1}^T [(y_t - \bar{y}) \cos \omega_j(t-1)] \quad j = 1, \dots, M$$

$$\hat{\delta}_j = \frac{2}{T} \sum_{t=1}^T [(y_t - \bar{y}) \sin \omega_j(t-1)] \quad j = 1, \dots, M$$

Os regressores são ortogonais e uma estimativa separada de um par α_j e δ_j é feita para cada uma das frequências. As frequências são determinadas pelo número de observações, considerando $\Delta t = 1$, sendo equidistantes e ortogonais.

A ordenada do periodograma em uma determinada frequência ω_j é $(T/2)(\alpha_j^2 + \delta_j^2)$ e $(1/2)(\alpha_j^2 + \delta_j^2)$ é o montante da variância amostral de y_t que é atribuída a ciclos de frequência ω_j . A inserção desses valores num gráfico indica quais são as frequências mais importantes na variabilidade da série temporal. O gráfico da variância associada a cada uma das frequências ω_j é chamado de periodograma.

Estimativas OLS podem ser usadas para obter os parâmetros. A estimativa dos parâmetros α_j e δ_j é denominada de periodograma bruto. Esses valores possuem grande incerteza por conta da variabilidade elevada e são inconsistentes no sentido em que a variância não diminui quando o número de observações aumenta. A solução é suavizar as estimativas espectrais. Existem diversos métodos para o cômputo do espectro, reduzindo o erro amostral observado no periodograma. A técnica de suavização do periodograma é uma possibilidade.¹¹

Na análise espectral a série temporal é vista como uma possível realização de um processo estocástico e o objetivo é estimar o espectro usando a série observada. A função de distribuição espectral fornece a variância do processo associada às frequências

¹¹ O processo de suavização difere quanto ao número de frequências vizinhas incluídas e quanto ao peso dado a cada uma.

menores que um determinado valor. A função de densidade espectral é abreviadamente chamada de espectro.

O gráfico do espectro é essencialmente a distribuição da variância da série em função da frequência. A integração do espectro num intervalo fornece a variância associada àquela banda. A área total abaixo do espectro é a variância da série. Um pico no espectro representa uma variância relativamente alta na banda de frequência centrada no pico. Um espectro relativamente uniforme indica que a variância é proporcionalmente distribuída ao longo das frequências. Esse formato caracteriza um ruído branco, ou seja, um processo sem picos espectrais significativos.

4. Estimação

A estimação do espectro individual de uma série temporal percorre basicamente o seguinte roteiro. Na etapa inicial, ajusta-se a série temporal para que ela tenha média zero e não apresente tendência. A extração da média evita distorções quando a série é acrescida de zeros (*padding*, explicado adiante). A tendência produz pico na frequência zero, que pode obscurecer picos em outras frequências. Se a série contiver uma tendência linear, a mesma é removida através da estimação de uma reta de mínimos quadrados.

Em seguida, realiza-se um processo de *tapper* nas extremidades da série, que consiste em multiplicar cada valor da série por um número entre 0 e 1. Aplica-se a técnica de *tapering* no intuito de reduzir o *leakage*, que é o vazamento da variância de uma dada frequência entre as frequências vizinhas. Também pode-se aplicar o *padding*, que consiste da extensão da série por valores nulos de tal forma que o número total de frequências aumente, reduzindo o espaçamento entre elas.¹²

No passo seguinte, as estimativas do periodograma são calculadas. Como possuem variância elevada, o periodograma é suavizado. Neste trabalho, aplica-se a “janela espectral modificada de Daniell”, explicada adiante. Por fim, calcula-se o número de graus de liberdade e a largura de banda (*bandwidth*).¹³

¹² A aplicação da técnica de *tapering* e *padding* tem o efeito de aumentar a variância das estimativas espectrais. Bloomfield (2000) sugere uma proporção de 10% para o *tapering*. Neste trabalho foi usada uma função do tipo *split cosine bell* no início e no final da amostra. Essa função é padrão e está descrita em MathSoft (1998), por exemplo.

¹³ *Bandwidth* é o termo empregado para definir a dimensão do intervalo de frequências aplicado à estimativa espectral. Dada essa dimensão de suavização, é possível dizer que dois picos contidos num intervalo inferior a essa banda não são separáveis. A largura da banda aumenta quanto maior o grau de suavização.

A transformada discreta de Fourier em notação complexa,¹⁴ seguindo Shumway e Stoffer (2015), é dada por:

$$d\left(\frac{j}{T}\right) = \frac{1}{\sqrt{T}} \sum_{t=1}^T y_t e^{-2\pi i \frac{j}{T} t}$$

O periodograma é definido como:

$$I\left(\frac{j}{T}\right) = \left|d\left(\frac{j}{T}\right)\right|^2$$

Pode-se obter a seguinte relação:

$$\sum_{t=1}^T |y_t|^2 = \sum_j \left|d\left(\frac{j}{T}\right)\right|^2 = \sum_j I\left(\frac{j}{T}\right)$$

Essa expressão indica que a soma das ordenadas do periodograma dividida pelo comprimento da série é igual à variância. A ordenada em cada frequência corresponde à proporção da variância associada àquela frequência.

Como dito anteriormente, a suavização do periodograma pode ser feita pela janela modificada de Daniell, uma técnica bastante utilizada na análise espectral.¹⁵ A essência do método é a aplicação de uma média móvel, cujos pesos nos extremos da janela são metade das demais, conforme a função:

$$g_k = \begin{cases} \frac{1}{2(L-1)} & \text{se } k = 1 \text{ ou } k = L \\ \frac{1}{(L-1)} & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Na equação acima, L é um número ímpar, que define o número de pesos do filtro, e k um índice tal que $k = 1, 2, \dots, L$. Por exemplo, se $L = 5$, então $\{g_k\} = \left\{\frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}\right\}$. A aplicação sucessiva do filtro aumenta o número de pesos e acresce a suavização do espectro.

A suavização do periodograma gera uma boa estimativa do espectro ao reduzir a variância, contudo, aumenta o viés e reduz a possibilidade de separação de picos que estão próximos dentro de uma determinada banda. Não há um critério definitivo para a escolha de L . O *tradeoff* entre resolução e variância é controlado pela experimentação de vários filtros, que implica usar mais ou menos valores do periodograma para obter um valor médio para determinada frequência.

¹⁴ Na equação abaixo i é o número imaginário $i = \sqrt{-1}$.

¹⁵ Vários métodos de estimação são apresentados e discutidos em Stoica e Moses (2005).

Nas estimativas espectrais do periodograma bruto pode ser aplicado o teste de Fisher. Russel (1985) fornece uma fórmula para calcular os valores críticos do teste aos níveis de significância usuais. Na dinâmica do teste, as maiores proporções da variância, derivadas do periodograma, são comparadas aos valores críticos. O procedimento é sequencial. Somente se a proporção mais alta é significativa testa-se a segunda. Sendo a segunda relevante, avalia-se a terceira e assim por diante.

Ao espectro, por outro lado, pode ser construído um intervalo de confiança para a estimativa espectral na frequência especificada. Um pico é considerado significativo se o intervalo de confiança não inclui um determinado valor assumido como hipótese nula. A suposição de que o espectro da série corresponde a um ruído branco é um parâmetro comumente empregado, mas outras conjecturas podem ser assumidas como, por exemplo, um espectro extremamente suavizado ou proveniente de um processo AR.

Conforme discutido em Shumway e Stoffer (2015), o intervalo de confiança para o espectro $f(\omega)$ pode ser construído da seguinte forma:

$$\frac{2L_h \hat{f}(\omega)}{\chi_{2L_h}^2(1 - \alpha/2)} \leq f(\omega) \leq \frac{2L_h \hat{f}(\omega)}{\chi_{2L_h}^2(\alpha/2)}.$$

Na equação acima, L_h é o inverso da soma do quadrado dos pesos usados para suavizar as estimativas do periodograma e obter a média ponderada $\hat{f}(\omega)$ na frequência ω ; $\chi_{2L_h}^2(\alpha/2)$ é o valor da distribuição qui quadrado com $2L_h$ graus de liberdade ao nível de significância α . No caso de se aplicar o procedimento de *tapering* e/ou *padding*, há a necessidade de se ajustar o número de graus de liberdade.

5. Resultados

A análise é baseada nos dados brutos do *quantum* exportado e importado calculados pela Fundação Centro de Estudos e do Comércio Exterior - Funcex. Além dos totais, também se incluem as categorias de produtos. Na exportação, essas categorias, conhecidas como classes de produtos, são classificadas em básicos, semimanufaturados e manufaturados. Na importação, cuja denominação é Classificação Segundo o Uso e Destino Econômico (CUODE), as categorias são bens de capital, bens intermediários,

bens duráveis, bens não duráveis e combustíveis e lubrificantes.¹⁶ Esse detalhamento foi motivado pelo interesse em verificar se existem diferenças significativas entre os totais e as categorias no que diz respeito às propriedades cíclicas.

A escolha do número de observações foi conduzida pela disponibilidade dos dados. A amostra das séries utilizadas começa em janeiro de 1980 e se encerra em dezembro de 2015. A série da Funcex inicia em 1978 e a exclusão desses dois anos não altera o resultado geral. A preferência por informações mensais se justifica na preocupação de minimizar o problema de *aliasing*.¹⁷ A base das séries é 2006=100 e elas foram dessazonalizadas aplicando-se o procedimento *US Census Bureau's X12 ARIMA*. Para fins de estabilização da variância, utiliza-se o logaritmo.

As Figuras 1 e 2 registram a evolução do *quantum* de exportação e importação para os totais e as categorias de produtos. Também são apresentados os pontos de quebra estrutural e os correspondentes intervalos de confiança ao nível de 95%, provenientes da metodologia de Bai e Perron (2003).¹⁸

À exceção de combustíveis e lubrificantes, dois pontos de quebra estrutural foram estimados. O primeiro ponto de quebra se concentra no início e na metade dos anos 90 para as exportações e importações, respectivamente. A segunda quebra ocorre por volta de 2002 para os produtos exportados e 2007 nos importados. Assim, as mudanças estruturais que se observam nas importações sucedem às ocorridas nas exportações. A estabilização macroeconômica e as reformas regulatórias são possíveis fatores explicativos de boa parte da mudança nas séries nos anos 90.¹⁹ As alterações nos anos

¹⁶ Em consonância com a nova metodologia adotada pela SECEX – Secretaria de Comércio Exterior, detalhada na Nota Metodológica DEAE/SECEX/CGET nº 001/2016, a partir de maio de 2016 a Funcex passou a utilizar a Classificação por Grandes Categorias Econômicas (CGCE) em substituição à Classificação Segundo o Uso e Destino Econômico (CUODE). As séries temporais CGCE começam apenas em janeiro de 1997, utilizando a mesma desagregação adotada na classificação CUODE, ou seja, bens de capital, bens intermediários, bens de consumo durável, bens de consumo não durável, e combustíveis. A Funcex (2016) destacou em seu boletim de comércio exterior que comparou as séries calculadas com base na CGCE e na CUODE e constatou que elas descrevem trajetórias muito semelhantes, com as maiores discrepâncias situadas em bens de capital. Com base nisso e no fato que as séries CUODE antigas são mais longas, o que é ideal para a análise espectral, optou-se por sua utilização.

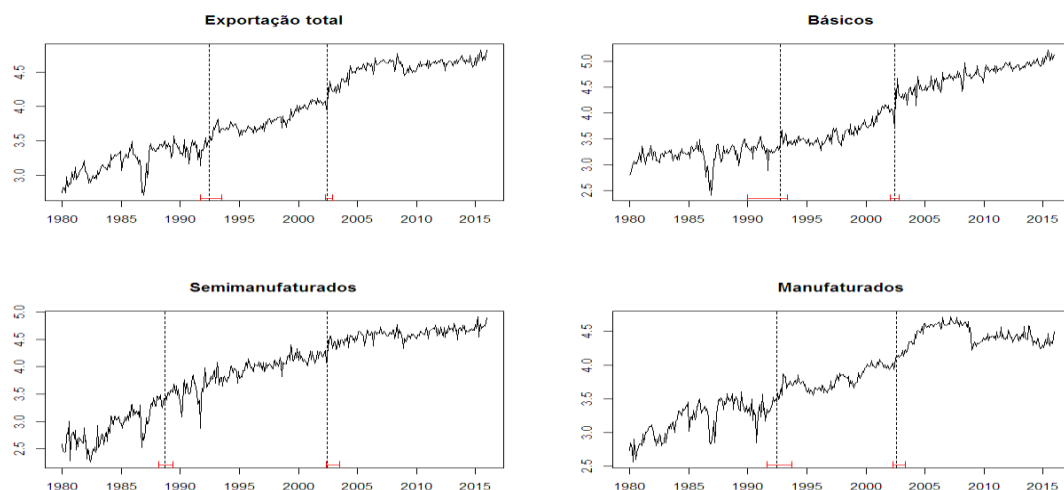
¹⁷ O problema do *aliasing* ocorre quando a série contém ciclos de curto prazo mas o espaçamento amostral não permite detectar corretamente esses ciclos, que se manifestarão na estimativa como ciclos de mais baixa frequência.

¹⁸ O pacote *strucchange* do *software* R (Zeileis et al. (2002, 2003)) é a ferramenta utilizada no teste de quebra estrutural. No procedimento, também teve-se como base o trabalho de Kleiber et al. (2004). O segmento amostral mínimo aplicado no teste é 100 meses.

¹⁹ Ver Veiga (1999).

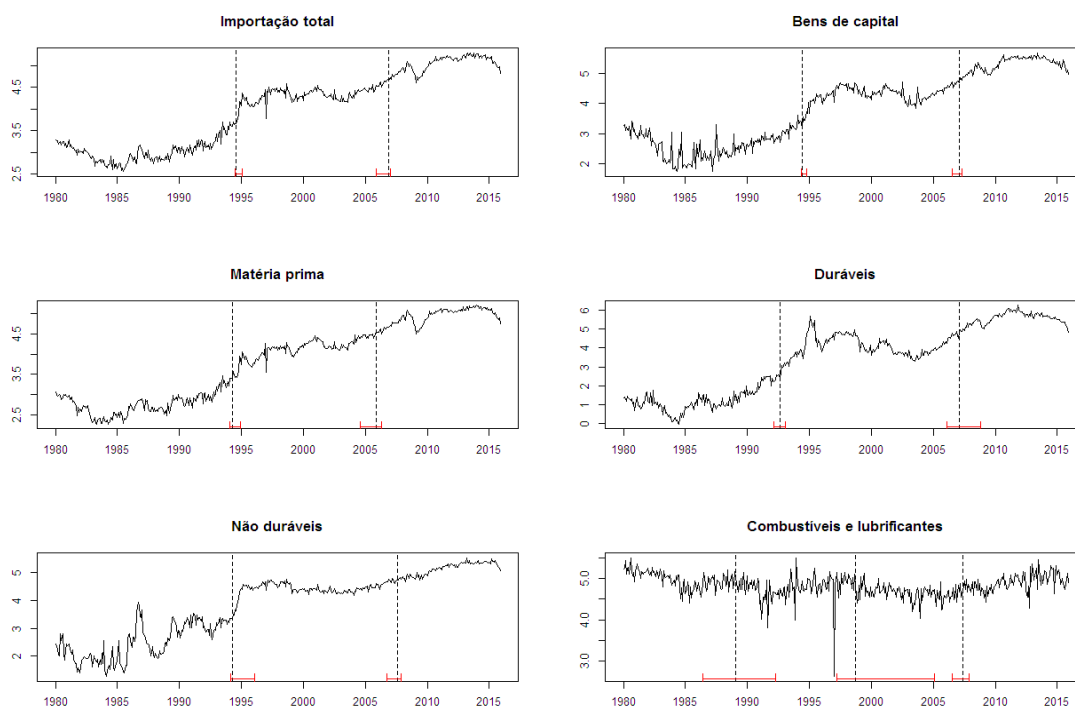
2000 podem estar ligadas em algum grau a fatores estruturais e ao aumento no comércio mundial, acompanhado do crescimento da economia chinesa.²⁰

Figura 1 – Logaritmo do *quantum* de exportação



Nota: As linhas verticais tracejadas identificam os pontos de quebra estrutural obtidos através da metodologia de Bai e Perron (2003). As linhas horizontais informam o respectivo intervalo de confiança ao nível de 95% de confiança.

Figura 2 – Logaritmo do *quantum* de importação



Nota: As linhas verticais tracejadas identificam os pontos de quebra estrutural obtidos através da metodologia de Bai e Perron (2003). As linhas horizontais informam o respectivo intervalo de confiança ao nível de 95% de confiança.

²⁰ Hidalgo e Feistel (2013) analisam as mudanças na estrutura do comércio exterior brasileiro sob a ótica da teoria de Heckscher-Ohlin.

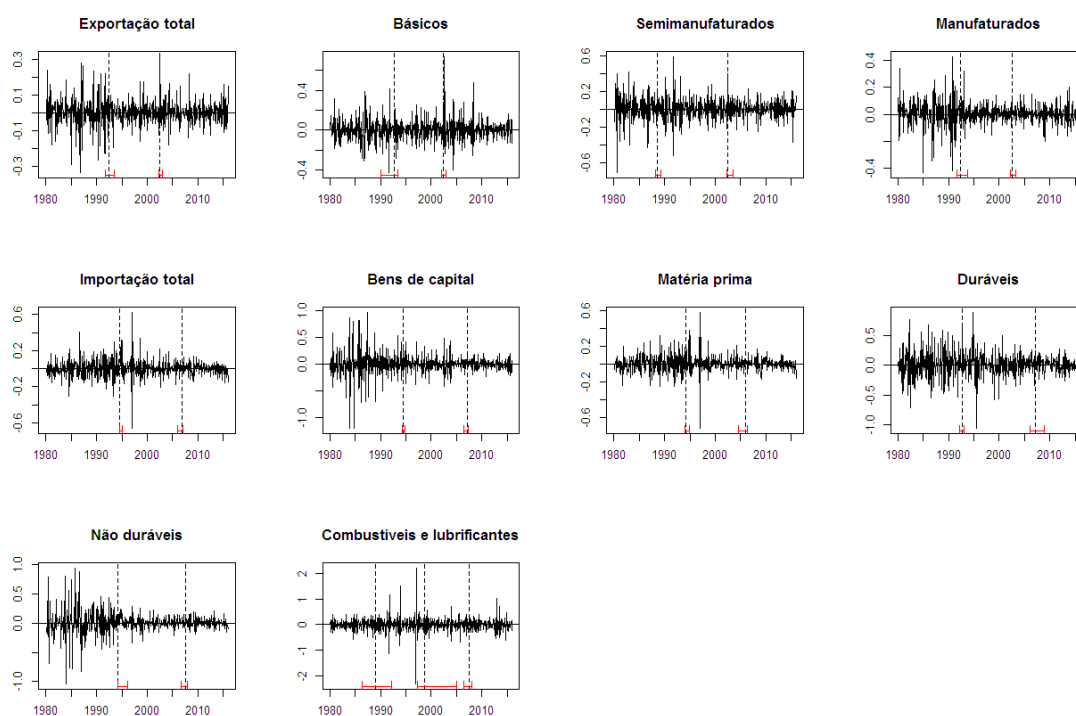
A análise espectral se baseia em séries cuja função de autocovariância seja absolutamente somável. Por isso, as variáveis precisam ser estacionárias. Qualquer tendência, seja ela determinística ou estocástica, deve ser removida antes de se proceder ao diagnóstico espectral. Esse requerimento foi examinado usando o tradicional teste ADF, incluindo tendência e intercepto. O *quantum* da exportação e suas categorias de produtos é estacionário aos níveis usuais de significância. A apreciação espectral pode, nesse caso, se basear nas séries em nível, com a possibilidade de se incluir uma tendência linear.

Os resultados indicaram a presença de uma raiz unitária no nível para o grupo da importação, exceto a categoria dos combustíveis e lubrificantes. Além disso, a densidade espectral dessas variáveis tem concentração em torno da frequência zero, ou seja, um período infinito, o que ratifica a não estacionariedade. Os processos não estacionários apresentam um pico elevado na frequência zero, o que pode ofuscar outros extremos relevantes. As taxas de variação são um processo de covariância estacionários e, portanto, a análise se baseará na diferença logarítmica das séries nesse caso das importações. A transformação dos dados tem o efeito sobre o formato do espectro. O filtro de primeira diferença retém as frequências associadas ao curto prazo e elimina as de longo prazo.²¹

A Figura 3 descreve graficamente as taxas de variação das séries dessazonalizadas de *quantum*. As linhas tracejadas e o intervalo de confiança são os mesmos das Figuras 1 e 2. A variabilidade das flutuações das categorias do *quantum* de exportação é inferior à das importações. O comportamento de combustíveis e lubrificantes é relativamente diferente das demais categorias com variações significativas nos anos 90.

²¹ A função de transferência do filtro $\Psi(B) = 1 - B$, sendo B o operador de defasagens, é $(1 - e^{-i\omega})$ e o ganho de amplitude é dado por $2(1 - \cos \omega)$. Em $\omega = 0$, o ganho é nulo e cresce continuamente até atingir o valor máximo 4. Conforme apontado em Pastore (1994), o filtro $(1 - B)$ não necessariamente implica que a variável filtrada apresente concentração espectral somente nas frequências altas. Ele simplesmente suprime a raiz unitária de um processo não estacionário, cuja tendência pode ser pensada como uma onda de período infinito. Como as séries de importação são processos não estacionários, o filtro de primeira diferença elimina a raiz unitária e não força o surgimento de espectros espúrios. Ao contrário, se o filtro fosse aplicado às exportações, por serem variáveis estacionárias, o procedimento implicaria aparecimento de um espectro espúrio aglomerado nas frequências altas.

Figura 3 – Variação percentual do *quantum* de exportação e importação



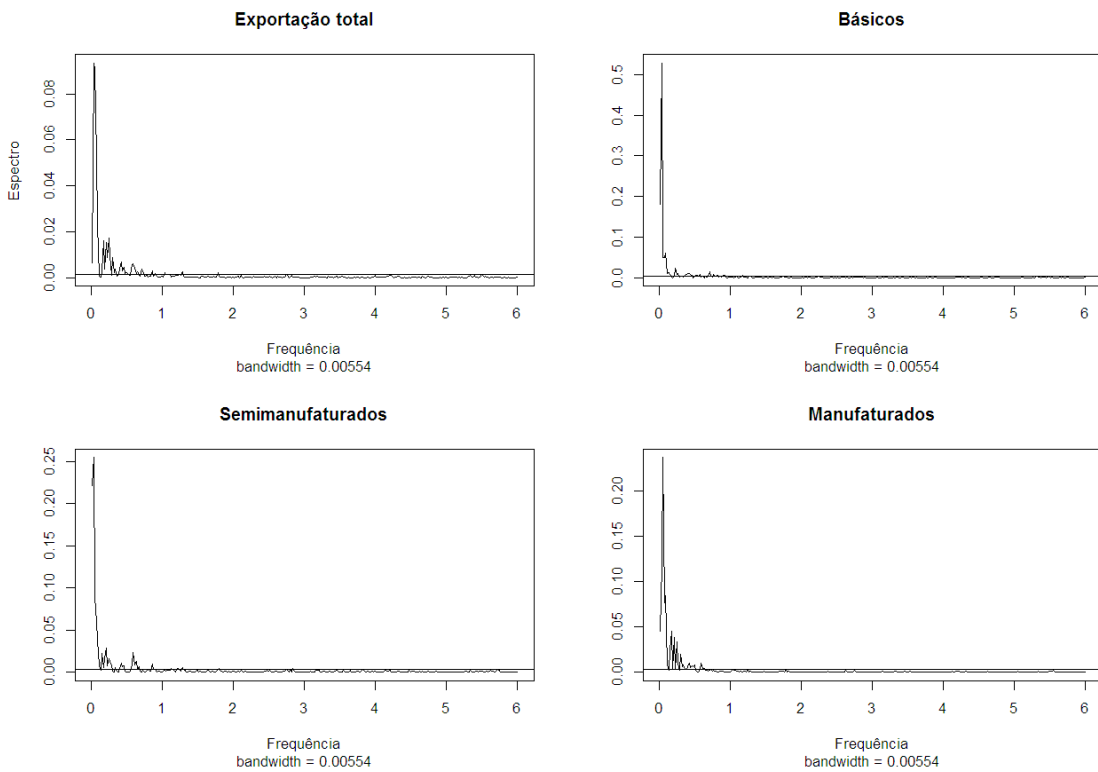
Nota: As linhas verticais tracejadas identificam os pontos de quebra estrutural obtidos através da metodologia de Bai e Perron (2003) no nível das séries, conforme Figuras 1 e 2. As linhas horizontais informam o respectivo intervalo de confiança ao nível de 95% de confiança.

O estudo das propriedades das séries no campo do domínio da frequência se inicia com o exame do periodograma e do espectro. A análise será efetuada na amostra jan./1980 – dez./2015 e dividida entre exportação e importação. Num procedimento paralelo ao de Medel (2014), duas abordagens adicionais envolvendo simultaneamente exportações e importações serão apresentadas. Uma delas é o estudo da taxa de variação mensal em relação ao mesmo mês do ano anterior usando dados não dessazonalizados. Aqui a ideia é verificar se os resultados são robustos ao método de transformação sazonal. Outra, decorrente dos resultados do teste de quebra estrutural, e para capturar a robustez em relação ao horizonte temporal, é a avaliação em uma amostra mais restrita para o período jan/2003 – dez/2015, consistindo, portanto, da eliminação das décadas de 80 e 90. Isso permite se concentrar num horizonte mais recente da balança comercial, onde a China, por exemplo, passa a ter papel importante na determinação das exportações e importações brasileiras.

Exportação

A Figura 4 mostra o periodograma bruto do *quantum* total exportado e das categorias de produtos.²² Pelo exame visual dos gráficos, constata-se que todas as séries de *quantum* de exportação têm um pico significativo na região de baixa frequência do periodograma, correspondendo a um ciclo de longo prazo.

Figura 4 – Periodograma do *quantum* exportado



Nota: A linha horizontal corresponde ao valor médio do periodograma. A frequência é expressa em termos de ciclos por ano, ou seja, múltiplos de 1/12. A medida do *bandwidth* também corresponde a ciclos por ano.

A estimação removeu a tendência linear e a média das séries. O número de observações foi aumentado com a inclusão de zeros (*zero-padding*) para obter melhor resolução gráfica. Na menor frequência (com 432 pontos) não foi possível observar um pico, semelhante ao caso de séries não estacionárias, contradizendo o teste de raiz

²² Na análise espectral foram utilizados os pacotes do *software* R *asta*, apresentado em Stoffer (2014), e *spec.pgram*, explicado em Venables e Ripley (2002).

unitária. Então, um pico surgiu com o aumento do número de pontos utilizados de 432 para 625 ($pad = 0,4$).²³

Os diversos valores do periodograma foram tabelados no propósito de se identificar a proporção da variância englobada em cada frequência. Os dados não contêm ciclos relevantes de períodos mais curtos (alta frequência). Somente as frequências mais baixas e os respectivos períodos associados foram registrados na Tabela 1. As frequências estão em números de ciclos por mês. Por exemplo, com 625 pontos, o conjunto total das frequências é composto pela sequência $1/625, 2/625, \dots, 1/2$. Os respectivos períodos correspondem aos meses de um ciclo e são obtidos pelo inverso da frequência.

Se a hipótese de ruído branco fosse válida, cada um dos 312 componentes periódicos corresponderia a aproximadamente $1/312$, ou 0,003, da variância total das séries. A análise dos picos mais significativos no periodograma, que correspondem às frequências que explicam boa parte da variância nos dados, serve para coletar evidência contra a hipótese de ruído branco.

A fim de calcular o percentual da variância contida nos ciclos mais acentuados, as intensidades espectrais associadas às frequências mais relevantes foram convertidas para uma estimativa percentual. Cada valor do periodograma foi dividido pela soma de todas as intensidades. As proporções resultantes relacionadas às frequências mais significativas aparecem na Tabela 1.

Os dados da Tabela 1 revelam que o *quantum* total possui 3 picos proeminentes, cujos ciclos têm extensão entre 156 e 312 meses, correspondendo aos períodos de 26, 17 e 13 anos, por ordem de importância. O montante de 46,5% da variância da série é explicado por esses três componentes cíclicos. O pico da categoria básicos está localizado no período de 312 meses e 41,1% da variância está associada a esse termo. Semimanufaturados têm dois pontos extremos, sendo o maior também de 312 meses, explicando 22% da variância. O ciclo de manufaturados é em torno de 208 meses, contendo 24,3% da variância.

²³ O *quantum* total e de manufaturados apresenta pico independentemente da adição de zeros, ratificando a evidência do teste ADF de que as séries são estacionárias.

Tabela 1 – Percentual da variância: exportações

Frequência	Período (mês)	Percentual da variância			
		Total	Básicos	Semi- manufaturados	Manufaturados
0,002	625,0	1,3%	14,1%	19,1%	4,7%
0,003	312,5	18,3%	41,1%	22,0%	12,1%
0,005	208,3	17,8%	3,9%	7,7%	24,3%
0,006	156,3	10,4%	3,9%	5,2%	7,9%
0,008	125,0	4,6%	4,7%	3,3%	8,7%
0,010	104,2	0,1%	0,7%	0,6%	0,8%
0,011	89,3	0,0%	1,0%	0,2%	0,2%
0,013	78,1	0,6%	0,6%	2,0%	2,5%
0,014	69,4	3,1%	0,1%	0,5%	4,7%
0,016	62,5	0,8%	0,0%	1,3%	0,4%
0,018	56,8	3,0%	0,4%	2,5%	4,0%
0,019	52,1	1,7%	1,9%	0,6%	0,3%
0,021	48,1	3,4%	0,6%	1,4%	3,4%
0,022	44,6	1,9%	0,7%	1,1%	1,0%

Nota: O método de Fisher foi aplicado para testar a significância estatística dos cinco primeiros picos de cada série aos níveis de significância de 5% e 1%. Os níveis de significância foram determinados de acordo os valores tabulados em Werner (1995), baseados na fórmula derivada por Russel (1985). A tabulação dos resultados está registrada na Tabela 2.

Da análise do conjunto de frequências reportadas na Tabela 1, é possível afirmar que os ciclos combinados de períodos superiores a 13 anos (156 meses) respondem por cerca de 50% da variância das séries, em média. Esse percentual sobe para 70% quando se permitem períodos acima de 4 anos. Portanto, os ciclos de longo prazo são mais relevantes na variabilidade do *quantum* de exportações. Intuitivamente, esses ciclos de 13 e 17 anos podem estar relacionados aos eventos de abertura comercial nos anos 1990 e ao aumento do comércio mundial, particularmente a elevação das exportações para a China em meados dos anos 2000. Na terminologia da seção 2, podem ser identificados ciclos do tipo Juglar e Kuznets, os quais são associados a investimentos em capital fixo e infraestrutura.

Na Tabela 2 se encontra o resultado do teste de Fisher da significância dos picos do periodograma. As proporções são as mesmas da Tabela 1. Os cinco primeiros picos são significativos para o total e todas as categorias ao nível de 1% de significância.

Os resultados obtidos do periodograma não suavizado são didaticamente convenientes por apontar um caminho na análise da estrutura periódica dos dados, mas

carecem de imprecisão em termos da variância. Os períodos extraídos dos dados podem não se aproximar exatamente das frequências incluídas no conjunto de observação. A ocorrência de transbordamento (*leakage*) é uma possibilidade. Os indícios fornecidos pelo periodograma podem ser aprimorados por meio da análise espectral, a seguir.

Tabela 2 – Teste de Fisher: exportações

Série	Pico				
	1	2	3	4	5
Total	18,3%	17,8%	10,4%	4,6%	3,4%
Básicos	41,1%	14,1%	4,7%	3,9%	3,9%
Semimanufaturados	22,0%	19,1%	7,7%	5,2%	3,3%
Manufaturados	24,3%	12,1%	8,7%	7,9%	4,7%
Valor crítico - 1%	4,0%	2,9%	2,5%	2,2%	2,0%
Valor crítico - 5%	3,3%	2,6%	2,2%	2,0%	1,9%

Nota: Os valores críticos aos níveis apresentados são provenientes de Werner (1995), baseados na fórmula de Russel (1985). Assumiu-se $n = 500$, o maior valor tabelado. As proporções são correspondentes às estimativas do periodograma e são as mesmas da Tabela 1.

As estimativas das intensidades do periodograma, então, foram suavizadas para obtenção do espectro. No alisamento, utilizou-se a janela modificada de Daniell, com $taper = 0,1$ e pad entre 0,1 e 1.²⁴ Os espectros obtidos e o limite mínimo do intervalo de confiança são vistos na Figura 5.

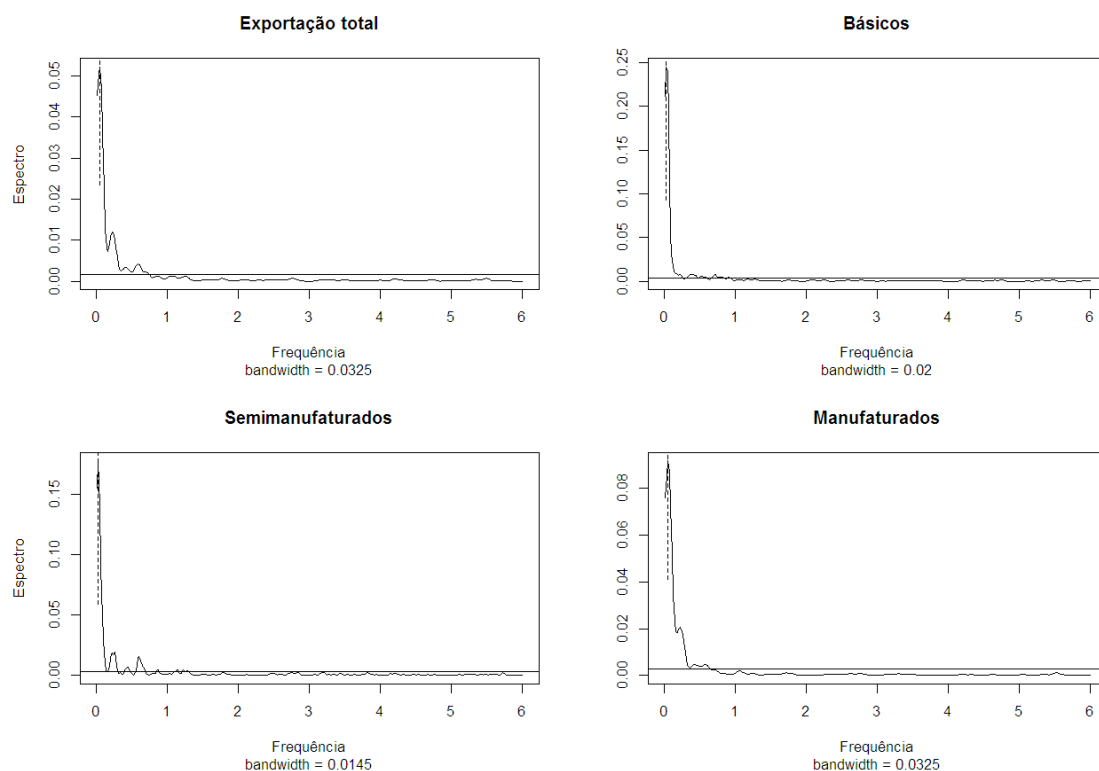
A Figura 5 exibe nas linhas verticais tracejadas o limite mínimo do intervalo de confiança ao nível de 95%. A linha horizontal é associada ao valor médio do espectro, em cujo cálculo se usam os valores avaliados nas frequências de Fourier. A hipótese nula assumida é que o espectro corresponde a um ruído branco e é rejeitada se o limite inferior do pico é maior que a média dos valores espectrais.

O formato geral do espectro se assemelha ao do periodograma. Os componentes apresentam um pico relativamente elevado na baixa frequência. O limite mínimo do intervalo de confiança dos pontos extremos está acima do valor médio. Portanto, o espectro também fornece evidências de que os picos são significativos. A análise provê elementos para se concluir que as séries do *quantum* de exportação são determinadas por ciclos de médio e longo prazos. O padrão espectral típico descrito por Granger (1966) se manifesta nessas variáveis. Fazendo um paralelo com as conclusões de Levy e Dezhbaksh

²⁴ A Figura 1A no Apêndice ao final do trabalho contém a representação gráfica dos coeficientes da janela modificada de Daniell.

(2003), pode-se sugerir que as flutuações do lado exportador são decorrentes de fatores de longo prazo e choques persistentes.

Figura 5 – Espectro do *quantum* exportado



Nota: A linha horizontal expressa a média do espectro e a linha vertical tracejada captura o limite mínimo do intervalo de confiança ao nível de 95%. A frequência é expressa em termos de ciclos por ano, ou seja, múltiplos de 1/12.

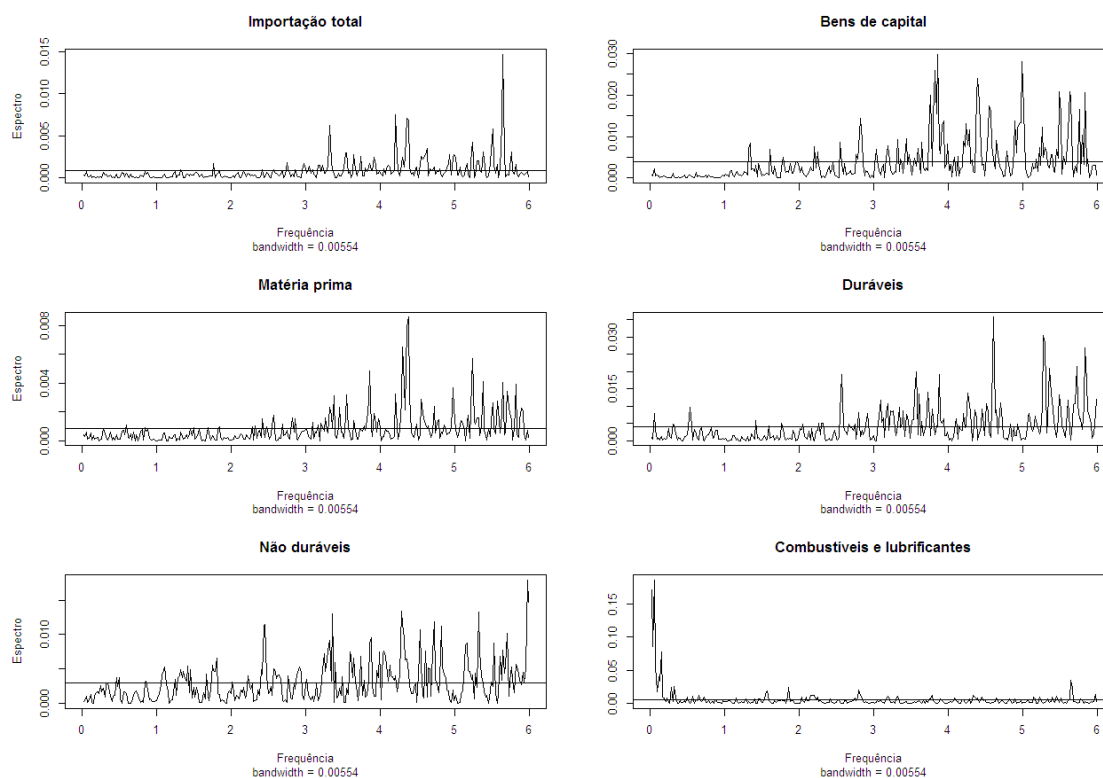
Importação

Neste caso, o cálculo do periodograma é referente à primeira diferença das séries de importação, à exceção de combustíveis e lubrificantes, por ser essa a única série estacionária em nível. As estimativas incluem zeros nas séries, da mesma forma que no caso das exportações, e também subtraem uma constante para que a média seja zero.

A Figura 6 agrupa o periodograma das séries de importação. Excluindo combustíveis e lubrificantes, os movimentos no *quantum* de importação são visualmente gerados por ciclos de curto prazo, sendo a variância diluída entre as frequências, e assemelhando-se ao espectro de um ruído branco para algumas categorias. A explicação da ausência de ciclos de longo prazo pode recair na hipótese do enrijecimento da pauta e da dificuldade de substituição dos bens importados por outros produzidos

domesticamente, como sugerido por Santos et al. (2015). A volatilidade maior das importações confirma para o caso brasileiro as observações de Zimmermann (1995), discutidas brevemente na seção 2.

Figura 6 – Periodograma do *quantum* importado



Nota: A linha horizontal corresponde ao valor médio do periodograma. A frequência é expressa em termos de ciclos por ano, ou seja, múltiplos de 1/12.

Combustíveis e lubrificantes, por outro lado, tem concentração espectral na baixa frequência, ciclos de longo prazo. Essa categoria é bastante complexa dada a importância para o país. Esse padrão cíclico pode estar associado às políticas de investimentos na área de energia, a correlação com os movimentos cíclicos da atividade econômica brasileira e ao comportamento do petróleo no mercado internacional.

A Tabela 3 mostra os resultados do teste de Fisher. Como pode ser visto, a contribuição de cada frequência na variação da taxa de crescimento das importações é baixa. A série do *quantum* total é a única que apresenta um pico significativo. Os cinco principais picos de combustíveis e lubrificantes são significativos e se situam na região de baixa frequência e explicam cerca de 18% da variância. Todas essas frequências são associadas a períodos de longo prazo. As demais séries componentes das importações têm

suas variâncias diluídas entre todas as frequências e não se pode rejeitar a hipótese de ruído branco.

Tabela 3 – Teste de Fisher: importações

Série	Pico				
	1	2	3	4	5
Total	5,3%	2,7%	2,6%	2,5%	2,3%
Bens de capital	2,5%	2,3%	2,2%	2,0%	1,7%
Matéria prima	3,3%	3,1%	2,5%	2,2%	1,9%
Duráveis	2,8%	2,4%	2,2%	2,1%	1,7%
Não duráveis	1,9%	1,6%	1,4%	1,4%	1,4%
Combustíveis e lubrificantes	10,7%	7,2%	4,5%	4,2%	3,1%
Valor crítico - 1%	4,0%	2,9%	2,5%	2,2%	2,0%
Valor crítico - 5%	3,3%	2,6%	2,2%	2,0%	1,9%

Nota: Os valores críticos aos níveis apresentados são provenientes de Werner(1995), baseados na fórmula de Russel (1985). As proporções são correspondentes às estimativas do periodograma.

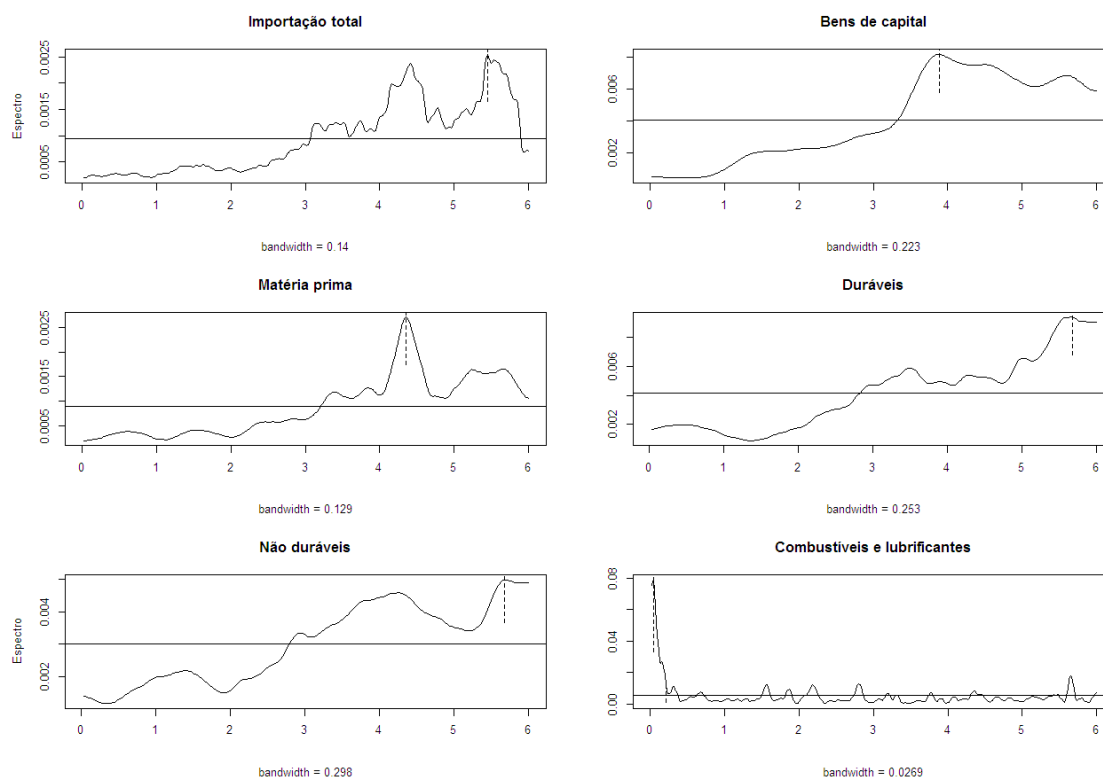
O periodograma suavizado mostrado na Figura 7, juntamente com o limite mínimo do intervalo de confiança, indica picos significativos na região de alta frequência entre dois e três meses. Esses picos podem estar associados à flutuações imediatas desencadeadas pela variação do câmbio e da produção. O espectro confirma que o pico em combustíveis e lubrificantes é significativo.

Portanto, o perfil espectral típico não se verifica nas diversas séries da importação. A tentativa de explicação é a mesma de Pastore (1994), embora em outro contexto: a causa é a utilização das taxas mensais de variação e não o nível. Como revelaram os testes de raiz unitária, os processos de importação são do tipo diferença-estacionários. Se, como no caso das exportações, uma tendência linear tivesse sido ajustada aos dados, ao invés do filtro primeira diferença, seria possível obter nas séries, em tese “estacionárias”, movimentos de baixa frequência, enviesando a concentração espectral. O não tratamento da raiz unitária levaria ao perfil espectral típico, mas esse seria espúrio. O perfil espectral se revelou sensível ao modo de tratamento da tendência, diferente do sugerido por Medel (2014).

A concentração espectral na alta frequência é uma informação relevante. Como mostrou Pastore (1994), a variância elevada da oscilação mensal das vendas reais dessazonalizadas gera flutuações de alta frequência no produto, indicando uma resposta

rápida da produção. Se o processo da atividade industrial ainda for dessa forma, o perfil espectral da variação mensal das importações é consistente com a dinâmica das vendas reais e da produção.

Figura 7 – Espectro do *quantum* importado



Nota: A linha horizontal expressa a média do espectro e a linha vertical tracejada captura o limite mínimo do intervalo de confiança ao nível de 95%. Combustíveis e lubrificantes corresponde ao nível da série e as demais a primeira diferença do logaritmo. A frequência é expressa em termos de ciclos por ano, ou seja, múltiplos de 1/12.

Variação sobre o mesmo mês do ano anterior

Uma medida bastante comum na análise de exportação e importação é a comparação da variação do mês em relação ao mesmo mês do ano anterior. Conforme discutido anteriormente na seção 2, as simulações de Medel (2014) mostraram que, em geral, o perfil espectral não se altera em virtude do método de remoção da tendência e sazonalidade. O objetivo do exercício desta seção é verificar se isso é verdadeiro para o caso das variáveis do *quantum* externo brasileiro. Para evitar a sobreposição de filtros, a opção nesse exercício foi por trabalhar com as séries originais, não dessazonalizadas.²⁵

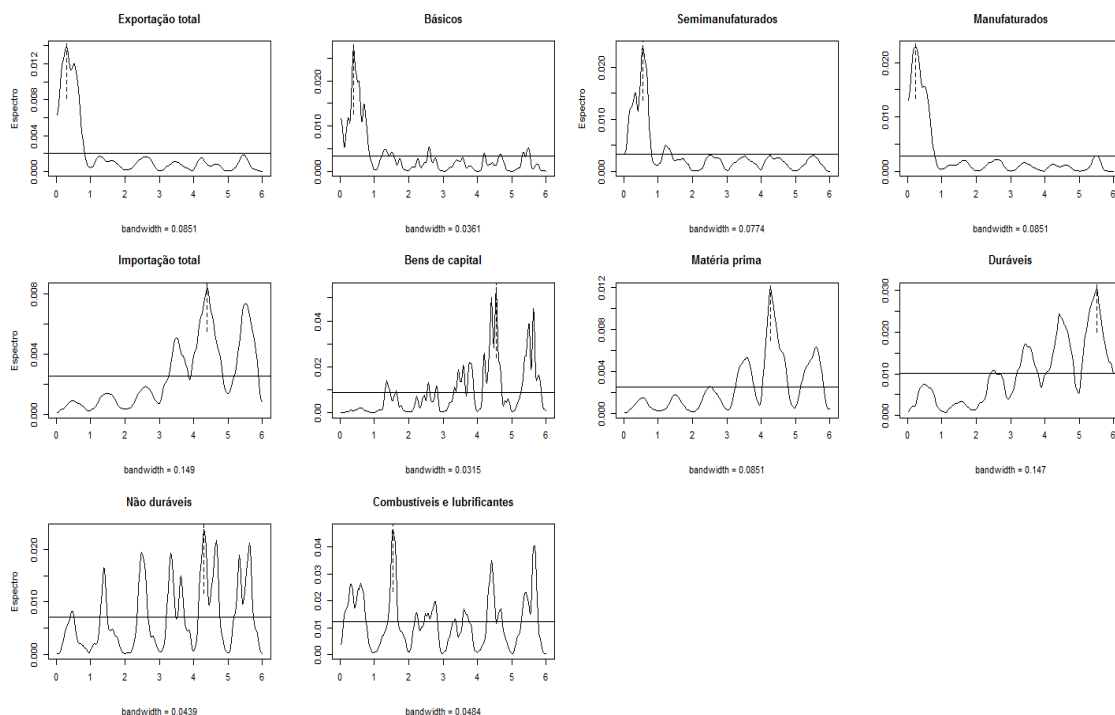
²⁵ As séries dessazonalizadas também foram submetidas ao mesmo exercício e os resultados são similares aos reportados nesta seção.

Como pode ser visto em Enders (2010), a primeira diferença de um processo raiz unitária sazonal não será estacionário. Contudo, a diferença sazonal de um processo raiz unitária pode ser estacionária. Considerando os testes anteriores, essa constatação tem reflexos na maioria das séries de importação. Observar a variação em relação ao mesmo mês do ano anterior, o que significa aplicar o filtro diferença sazonal, pode tornar a série estacionária, como requerido para o cálculo do espectro e, de fato, é o que acontece nas séries utilizadas neste trabalho, mas não é a forma correta de modelagem.²⁶ Para contornar esse problema, aplicou-se sequencialmente os filtros diferença e diferença sazonal, ou em termos genéricos, $z_t = (1 - B)(1 - B^{12})w_t$, onde $(1 - B)$ é a primeira diferença e $(1 - B^{12})$ é o operador de diferença sazonal para uma série mensal. Nas séries de exportação e combustíveis e lubrificantes, por serem estacionárias, a transformação é $z_t = (1 - B^{12})w_t$.

A Figura 8 contém os espectros quando se aplica esses filtros nas séries. Os procedimentos de cálculo são semelhantes aos realizados anteriormente. Nota-se que quase todas as séries têm o perfil espectral semelhante aos das figuras 5 e 7. A densidade espectral é concentrada na baixa frequência para as exportações e na alta no caso das variáveis do *quantum* importado. O espectro de combustíveis e lubrificantes é o caso que se diferencia, pois a flutuação é mais diluída entre os diversos componentes cíclicos. De maneira geral, a concentração espectral parece ser invariante ao método de remoção da tendência e de controle da sazonalidade.

²⁶ Não há evidência de raiz unitária sazonal ao se aplicar nas séries de importação o teste HEGY, usando o *Eviews add-in* desenvolvido por Ronderos (2015). Na frequência zero, por outro lado, a hipótese de raiz unitária não pode ser rejeitada, o que sugere a utilização do filtro primeiro diferença, evitando que a densidade espectral fique distorcidamente concentrada nela.

Figura 8 – Espectro *quantum* exportação e importação ($\Delta\%$ mesmo mês do ano anterior)

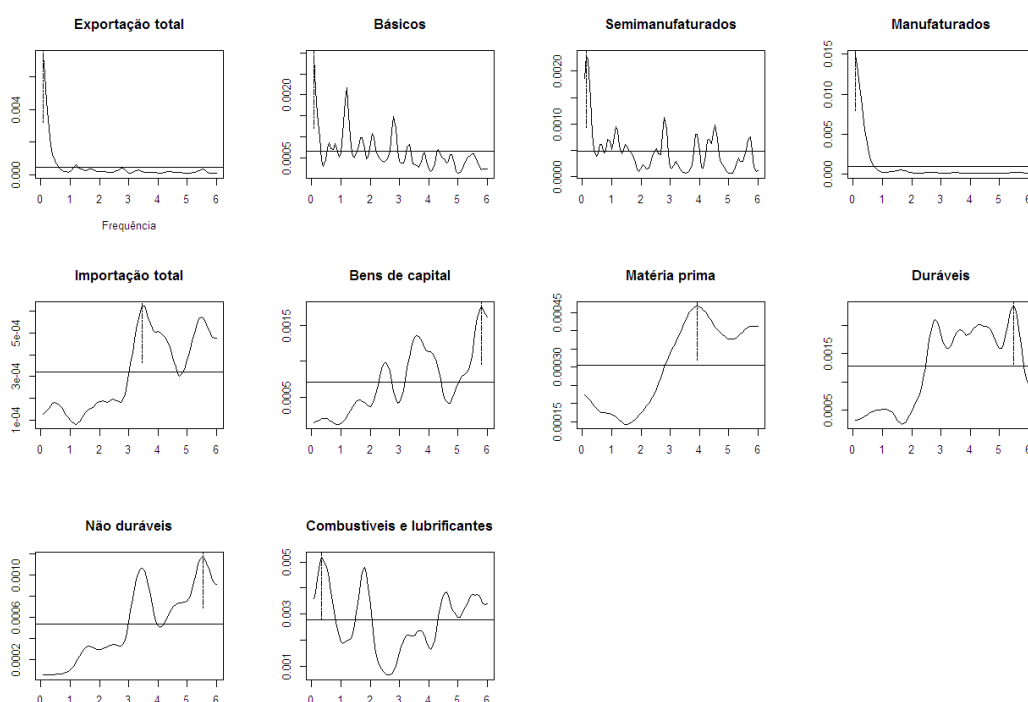


Jan/2003 – dez/2015

A hipótese de estacionariedade é de suma importância na análise espectral. O teste de quebra estrutural mostrou mudanças nas séries em períodos dos anos 1990 e 2000. Também é interessante averiguar a robustez do padrão espectral em relação ao tamanho amostral, da mesma forma como procedeu Medel (2014). Essas considerações justificam a condução do exercício em um período mais restrito da amostra, novamente trabalhando com dados dessazonalizados.

Os espectros para o período jan/2003 a dez/2015 são resumidos na Figura 10. A quantidade de frequências usadas para suavizar o periodograma pode ser visto na Figura A2 do Apêndice. Em geral, na comparação com as Figuras 5 e 7, os resultados são similares para exportações e importações agregadas. Em termos específicos de categorias de produtos, as exportações de básicos apresentam um espectro mais diluído, mas ainda com pico concentrado na região de baixa frequência e, nas importações, os componentes cíclicos relevantes dos combustíveis e lubrificantes também estão mais espalhados.

Figura 10 - Espectro do *quantum* exportado e importado



Nota: A linha horizontal expressa a média do espectro e a linha vertical tracejada captura o limite mínimo do intervalo de confiança, ao nível de 95%, do maior pico do espectro.

6. Conclusão

O perfil temporal observado nas séries de *quantum* dos componentes da balança comercial brasileira difere em dois aspectos. Em primeiro lugar, as exportações são estacionárias em nível e as importações na primeira diferença. Em segundo, as quebras estruturais nas exportações ocorrem antes das rupturas nas séries de importações. As categorias de produtos assemelham-se aos totais, com a exceção de combustíveis e lubrificantes.

Através da análise das funções de densidades espectrais, conclui-se que as séries dessazonalizadas do *quantum* de exportações são caracterizadas por flutuações de longo prazo. Elas se assemelham ao perfil espectral típico: a massa espectral é concentrada na baixa frequência, declinando suavemente conforme a frequência vai aumentando. Portanto, as variações do volume exportado são primordialmente decorrentes de fatores de longo prazo e choques persistentes.

O padrão espectral é diferente no caso das importações. O componente estacionário das importações totais é levemente marcado por ciclos de alta frequência,

com períodos inferiores a três meses. Uma explicação possível é que os elementos de curto prazo, como os choques de demanda, são responsáveis por explicar grande parte da variabilidade do volume importado. A dinâmica parece ser compatível com o comportamento das vendas reais e do produto.

Para se certificar de que não há mudanças no desenho espectral das variáveis, em função do tratamento sazonal ou das quebras estruturais, dois exercícios diferentes foram realizados. Avaliou-se a transformação dos dados pelo filtro diferença sazonal de ordem 12 e aplicou-se a metodologia a um segmento menor dos dados, restrito ao período posterior a 2003. O padrão espectral se mostrou robusto a essas possibilidades.

Embora a análise espectral seja um método útil para estudar o comportamento cíclico e refinar o estudo das propriedades de uma série temporal, é importante estar ciente de um aspecto limitador da análise: o tamanho da amostra. Como é usual nos trabalhos estatísticos relacionados aos movimentos de longo prazo das séries temporais, os resultados deste artigo também estão sujeitos à crítica geral de que as séries não são longas o suficiente e não atendem ao requerimento de estacionariedade. Assim, a análise espectral não pode provar ou refutar ciclos econômicos. Porém, ainda que não seja uma prova definitiva do padrão das séries, os resultados aqui relatados podem ser interpretados como um indício do comportamento do *quantum* de exportação e importação.

Para trabalhos futuros a sugestão é seguir em duas direções. Primeiro, dado que a análise espectral clássica requer séries estacionárias, outros métodos de estimação não demandantes dessa condição podem ser empregados: *wavelets*, por exemplo. Segundo, como já mencionado na introdução, a direção natural da pesquisa é investigar a interação cíclica entre as variáveis de comércio exterior e seus determinantes, como o produto interno, a demanda externa, a taxa de câmbio real, os termos de troca e outras séries que se julgue relacionadas às exportações e importações.

Apêndice

Figura A1 – Pesos do filtro modificado de Daniell (jan/1980 – dez/2015)

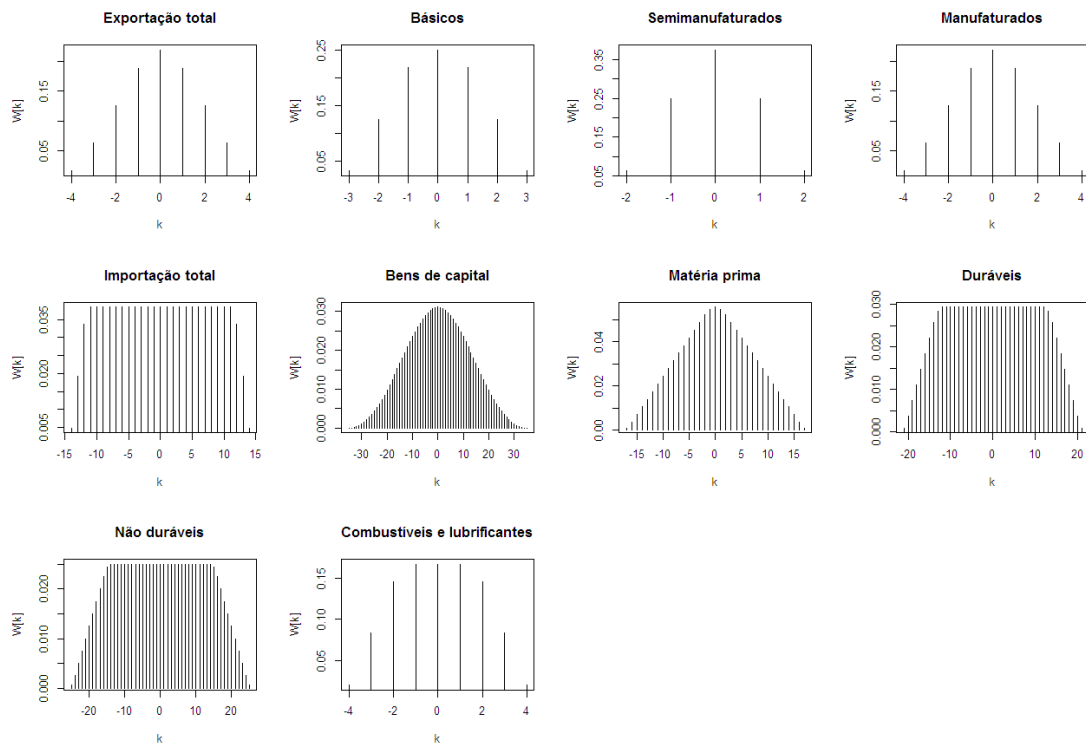
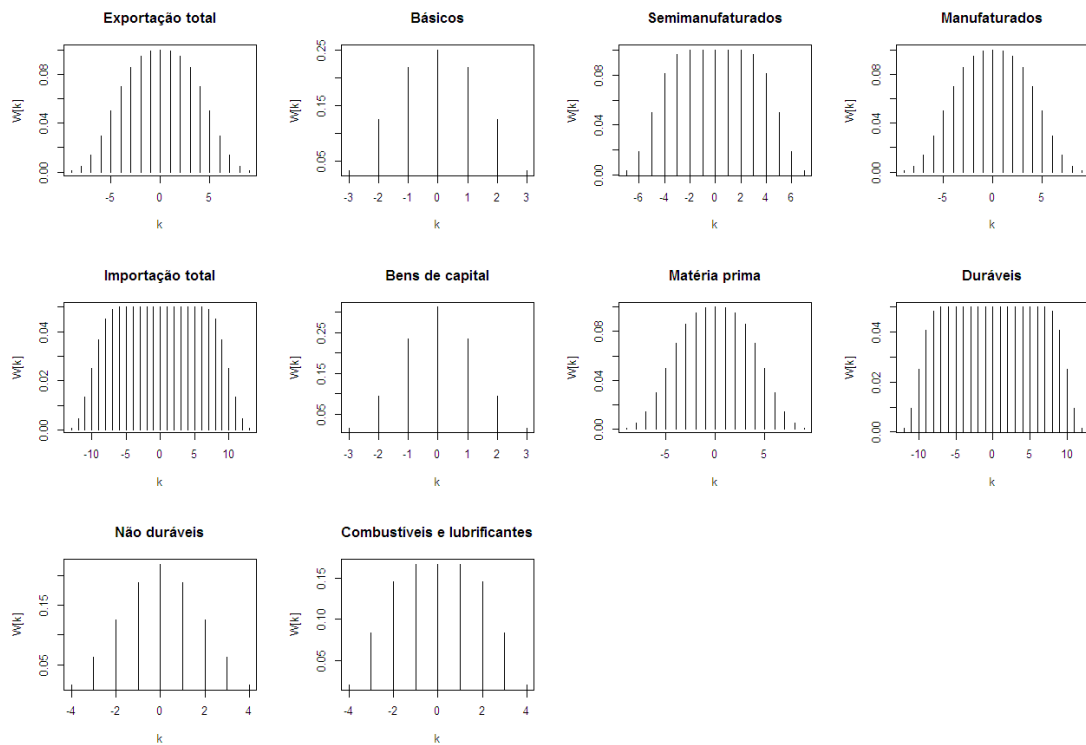


Figura A2 – Pesos do filtro modificado de Daniell (jan/2003 – dez/2015)



Referências

Bai, J.; Perron, P. Computation and analysis of multiple structural change models. **Journal of Applied Econometrics**, 18: p. 1-22, 2003.

Barros, A. R. A periodization of the business cycles in the Brazilian economy, 1856-1985. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 47, n. 1, p. 53-82, jan. 1993. ISSN 0034-7140.

Bloomfield, P. **Fourier analysis of time series: an introduction**. 2 ed., 2000.

Brockwell, P.J.; Davis, R. A. **Introduction to time series and forecasting**. 2 ed. New York: Springer, 2002.

Crowley, P. M. **Long cycles in growth: explorations using new frequency domain techniques with US data**. Bank of Finland Research Discussion Papers, 6/ 2010.

Enders, W. **Applied econometric time series**. 3. ed. Massachusetts: Wiley, 2010. 517 p. (Wiley Series in Probability and Statistics). ISBN 9780470505397.

Fundação Centro de Estudos do Comércio Exterior (Funcex). **Boletim de Comércio Exterior**, Ano XX, número 5, maio de 2016.

Gouvêa, R. R.; Schettini, B. P. **Estimativas econométricas para as importações agregadas com dados das contas nacionais trimestrais – 1996-2010**. Rio de Janeiro: Ipea, 48p., dez. 2011. (Texto para discussão n. 1683).

Granger, Clive W.J. The Typical Spectral Shape of an Economic Variable. **Econometrica**, v. 34, n. 1 (January), p. 150–161, 1966.

Hamilton, J. D. **Time series analysis**. Princeton University Press, 1994.

Harvey, A. C. Spectral Analysis in Economics. **Journal of the Royal Statistical Society. Series D (The Statistician)**, v. 24, p. 1-36, n. 1, mar. 1975.

Hidalgo, Álvaro Barrantes; Feistel, Paulo Ricardo. Mudanças na estrutura do comércio exterior brasileiro: uma análise sob a ótica da teoria de Heckscher-Ohlin. **Estudos Econômicos**. São Paulo, v. 43, n. 1, p. 79-108, mar. 2013.

Howrey, E. P. A spectrum analysis of the long swing hypothesis. **International Economic Review**, v. 9, n.2, p. 228–252, 1968.

Iacobucci, A. **Spectral analysis for economic time series**. OFCE Working papers n. 2003-07, 2003.

Kleiber, C.; Zeileis, A. **Validating multiple structural change models: A case study**, Technical Report / Universität Dortmund, SFB 475 Komplexitätsreduktion in Multivariaten Datenstrukturen, n. 2004,34, 2004. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10419/22546>

Korotayev, A. V; Tsirel, S. V. A spectral analysis of world gdp dynamics: kondratieff waves, kuznets swings, juglar and kitchin cycles in global economic development, and the 2008–2009 economic crisis. **Structure and Dynamics**, 4(1), 2010.

Levy, D.; Dezhbakhsh, H. On the Typical Spectral Shape of an Economic Variable. **Applied Economic Letters**, 10(7), p. 417-423, 2003.

Magalhaes, M.A de; Toscano, V. N. Ciclos de comércio exterior: um estudo comparativo entre Brasil e Espírito Santo. **Revista economia contemporânea**. Rio de Janeiro, v. 17, n. 2, p. 221-248, ago., 2013.

MathSoft, Inc. **S-PLUS 4 Guide to Statistics**, Data Analysis Products Division, MathSoft, Seattle, 1998.

Medel, C. 2014. **The typical spectral shape of an economic variable: a visual guide with 100 examples**. Working Papers Central Bank of Chile 719, Central Bank of Chile, 2014.

Pastore, A. C. Flutuações cíclicas e indicadores da atividade industrial. **Revista Brasileira de Economia**, v. 48, n. 3, p. 247-294, jul./set. 1994.

Rangarajan, C.; Sundararajan V. Impact of export fluctuations on income: a cross-country analysis. **The review of economics and statistics**, v. 58, n. 3, p. 368-72, 1976.

Ronderos, N. Seasonal unit root test. Jun., 2015. Disponível em: <http://www.eviews.com/Addins/addins.shtml>

Russell, R. J. L. Significance tables for the results of Fast Fourier transforms. **British Journal of Mathematical and Statistical Psychology**, 38, p. 116–119, 1985.

Sala, L. DSGE models in the frequency domain. **Journal of Applied Econometrics**, v.30, n. 2, p. 219-240, mar., 2015.

Santos, C. H. M.; Cieplinski, A. G.; Pimentel, D.; Bhering, G. **Por que a elasticidade-câmbio das importações é baixa no Brasil?** Evidências a partir das desagregações das importações por categorias de uso. Rio de Janeiro: Ipea, mar. 2015. (Texto de discussão n. 2046)

Schettini, Bernardo Patta; Squeff, Gabriel Coelho; Gouvea, Raphael Rocha. Estimativas da função exportações brasileiras agregadas com dados das Contas Nacionais Trimestrais, 1995-2009. **Economia Aplicada**, Ribeirão Preto, v. 16, n. 1, p. 167-196, mar. 2012.

Schumpeter, J. **Business cycles**. McGraw Hill, New York, NY, USA, 1939.

Shumway, R. H.; Stoffer, D. S. **Time series analysis and its applications**. EZ - Third Edition, 2015.

Silva, E. S.; Hassani, H. On the use of singular spectrum analysis for forecasting U.S. trade before, during and after the 2008 recession. **International Economics**, v. 141, p. 34-49, may., 2015.

Stoffer, David. **astsa**: Applied Statistical Time Series Analysis. R package version 1.3, 2014. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=astsa>

Stoica, P.; Moses, R. **Spectral analysis of signals**. Prentice Hall, 2005.

Veiga, P. M. Anos 90: as transformações na indústria e as exportações brasileiras. **Revista Brasileira de Comércio Exterior**. No 60, jul./set. 1999.

Venables, W.N.; Ripley, B.D. **Modern Applied Statistics with S**. Fourth edition. Springer, 2002.

Wang, P. **International business cycle coherence and phases**: a spectral analysis of output fluctuations of G7 economies. University of Plymouth and IÉSEG Economics Working Paper No. 1206, 2012. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=2297410> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2297410>.

Warner, R. M. **Spectral Analysis of Time - Series Data**. The Guilford Press, New York, London, 1998.

Woitek, U. **Business cycles**: an international comparison of stylized facts in a historical perspective. Physica-Verlag Heidelberg, 1997.

Zeileis, A.; Kleiber, C.; Krämer, W.; Hornik, K. Testing and Dating of Structural Changes in Practice. **Computational Statistics & Data Analysis**, 44, p. 109-123, 2003.

Zeileis, A.; Leisch, F.; Hornik, K.; Kleiber, C. strucchange: An R Package for Testing for Structural Change in Linear Regression Models. **Journal of Statistical Software**, 7(2), p. 1-38, 2002. Disponível em: URL <http://www.jstatsoft.org/v07/i02/>

Zimmermann, C. 1995. **International trade over the business cycle**: stylized facts and remaining puzzles. Cahiers de recherche CREFE / CREFE Working Papers 37, CREFE, Université du Québec à Montréal, revised aug., 1997.