



BANCO CENTRAL DO BRASIL

Trabalhos para Discussão **300**

**Conectividade e Risco Sistêmico no
Sistema de Pagamentos Brasileiro**

*Benjamin Miranda Tabak, Rodrigo César de Castro Miranda e
Sergio Rubens Stancato de Souza*
Novembro, 2012

ISSN 1519-1028
CGC 00.038.166/0001-05

Trabalhos para Discussão	Brasília	n° 300	novembro	2012	p. 1-34
--------------------------	----------	--------	----------	------	---------

Trabalhos para Discussão

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

Editor: Benjamin Miranda Tabak – *E-mail*: benjamin.tabak@bcb.gov.br

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

Chefe do Depep: Adriana Soares Sales – *E-mail*: adriana.sales@bcb.gov.br

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

Reprodução permitida somente se a fonte for citada como: Trabalhos para Discussão n° 300.

Autorizado por Carlos Hamilton Vasconcelos Araújo, Diretor de Política Econômica.

Controle Geral de Publicações

Banco Central do Brasil

Secre/Comun/Cogiv

SBS – Quadra 3 – Bloco B – Edifício-Sede – 1º andar

Caixa Postal 8.670

70074-900 Brasília – DF

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

Fax: (61) 3414-1898

E-mail: editor@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.

Central de Atendimento ao Público

Banco Central do Brasil

Secre/Surel/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>>

Conectividade e Risco Sistêmico no Sistema de Pagamentos Brasileiro

Benjamin Miranda Tabak^{1,2}

Rodrigo César de Castro Miranda¹

Sergio Rubens Stancato de Souza¹

Resumo

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(s) autor(es) e não refletem, necessariamente, a visão do Banco Central do Brasil.

Neste trabalho, são apresentadas as medidas de mitigação de risco sistêmico adotadas no Sistema de Pagamentos Brasileiro e analisados os pagamentos processados por esse sistema, com a finalidade de iniciar um processo de identificação de focos de riscos sistêmicos potenciais. As medidas de mitigação do risco sistêmico, no âmbito do Sistema de Pagamentos Brasileiro, tiveram por finalidade reduzir um possível contágio originado por esse sistema quando ocorrem inadimplências. No caso das câmaras de compensação, as medidas adotadas reduziram impactos de inadimplências; nos demais casos, reduziram o volume de um possível contágio adicional. Foram também realizadas análises da rede formada pelos pagamentos utilizando-se conceitos de teoria de redes, tendo sido obtidas informações sobre a interligação de instituições financeiras sistemicamente importantes e a fragilidade das mesmas, que podem auxiliar na prevenção de eventos sistêmicos.

Palavras-chave: Estabilidade financeira; Sistema de pagamentos; Contágio; Redes; Redes livres de escala.

Classificação JEL: E42; G21; G28.

¹ Departamento de Estudos e Pesquisas, Banco Central do Brasil

² Benjamin Tabak agradece o apoio financeiro do CNPQ

1. Introdução

O risco de liquidação é uma característica intrínseca de qualquer operação que dê origem a obrigações. No contexto atual, em que a tecnologia permite que um agente seja capaz de tratar, simultaneamente ou em curto intervalo de tempo, diversas operações nas quais os produtos de algumas delas sejam insumos para outras, a não tempestividade da entrega dos produtos pode originar atrasos ou falhas em cadeia, gerando contágio³ e ampliando efeitos adversos. Em sistemas financeiros, esse é um risco muito presente e materializado, por exemplo, em períodos de crises como a do *subprime*.

Uma das preocupações das entidades que supervisionam sistemas financeiros é evitar que inadimplências individuais originem um processo de contágio sistêmico, ao iniciar uma série de prejuízos sucessivos ao longo de uma cadeia de instituições ou mercados interconectados, resultando em choques adversos ao sistema financeiro. Para evitar contágio, o *Committee on Payment and Settlement Systems* (CPSS) recomenda implantar mecanismos de segurança, no âmbito do sistema de pagamentos, que isolem o efeito de inadimplências ocorridas ou que evidenciem esse efeito o quanto antes, permitindo que as partes afetadas tomem medidas para se resguardar da ampliação das perdas sofridas (*Committee on Payment and Settlement Systems* [2001]). Além dessa recomendação, é desejável analisar os pagamentos ocorridos no sistema, procurando identificar fontes de possíveis problemas futuros, de maneira a direcionar esforços de prevenção e contenção de eventos de risco sistêmico.

Neste trabalho, são apresentadas medidas de mitigação de risco sistêmico adotadas no Sistema de Pagamentos Brasileiro (SPB) e são analisados os pagamentos processados por esse sistema, por meio de uma abordagem de redes, com a finalidade de iniciar processo de identificação de focos de riscos potenciais no sistema. A seção 2 apresenta as medidas de mitigação de risco sistêmico já adotadas no SPB; a seção 3 discute os impactos, no risco sistêmico, dos processos de liquidação adotados nos subsistemas componentes no SPB, e trata da redução da importância sistêmica do Sistema de Transferência de Fundos (Sitraf); a seção 4 mostra as análises da rede

³ Segundo Litan (1997), o contágio ocorre quando a inadimplência de um banco origina a inadimplência dos bancos credores.

formada pelos pagamentos entre conglomerados financeiros; e a seção 5 conclui o trabalho.

2. Mitigação do risco sistêmico no âmbito do Sistema de Pagamentos Brasileiro

O SPB tem por objetivo processar, com segurança e tempestividade, a liquidação de obrigações envolvendo transferências de fundos, títulos, e valores mobiliários e câmbio, e é estruturado em sistemas de liquidação interligados pela Rede do Sistema Financeiro Nacional (SFN), segmentados de acordo com o mercado e tipo de ativo a ser transferido. Sua estrutura e principais características funcionais são fundamentadas em disposições legais e regulamentares, entre outras, que determinam que:

- todas as instituições bancárias (instituições que captam depósitos a vista) têm de manter suas disponibilidades de recursos no Banco Central do Brasil (BCB) – Lei nº 4.595, de 31 de dezembro de 1964;
- as entidades operadoras de sistemas considerados sistemicamente importantes são obrigadas a atuar como contraparte central e, ressalvado o risco de emissor,⁴ assegurar a liquidação de todas as operações (Lei nº 10.214, de 27 de março de 2001);
- os resultados líquidos apurados nos sistemas de liquidação considerados sistemicamente importantes devem ter sua liquidação final no BCB, em contas de reservas bancárias (Circular BCB nº 3.057, de 31 de agosto de 2001).

2.1. Sistemas de liquidação sistemicamente importantes

Um conceito importante na definição dos requisitos a serem atendidos pelos subsistemas que compõem o SPB e pela estrutura do sistema de pagamentos em sua totalidade é o de sistema de liquidação sistemicamente importante. A Circular nº 3.057, de 2001, aborda a definição, os requisitos e regulamenta a avaliação dos sistemas de

⁴ O risco de emissor refere-se ao não cumprimento, pelo emissor, de obrigações relacionadas com a emissão ou com o resgate do principal e acessórios do título ou valor mobiliário, no vencimento previsto. O não cumprimento dessas obrigações provoca, usualmente, mais impacto do que inadimplências de agentes isolados, pois pode envolver valores elevados e afetar simultaneamente um grande número de contrapartes.

liquidação sistemicamente importantes. Ela afirma que estão nessa categoria os sistemas de liquidação nas seguintes condições:

- sistemas de liquidação de transações com ativos financeiros, títulos, valores mobiliários, derivativos financeiros e moedas estrangeiras, independentemente do valor individual de cada transação e do giro financeiro diário; e
- sistemas de liquidação de transferências de fundos e de outras obrigações interbancárias não relacionadas com as transações identificadas no item anterior, se possuírem giro financeiro diário médio superior a 4% do giro financeiro diário médio do Sistema de Transferência de Reservas (STR), ou se forem sistemas de liquidação diferida que utilizam compensação multilateral e existir a possibilidade de que a inadimplência de um participante afete outros de modo a provocar interrupções em volumes significativos de pagamentos do SPB.

Dada a sua importância para a continuidade dos pagamentos, os sistemas de liquidação sistemicamente importantes devem atender, entre outros, aos seguintes requisitos:

- o resultado compensado das operações aceitas por sistemas de liquidação diferida deve ser liquidado pelo STR em contas de liquidação ou em contas de reservas bancárias;
- os prazos para a liquidação de operações, em relação ao momento da aceitação da operação, devem ser os seguintes: para transferências de fundos: até o final do dia; para operações a vista com títulos e valores mobiliários, exceto ações: até um dia útil; e para operações a vista com ações realizadas em bolsa de valores: até três dias úteis;
- recomenda-se realizar mais de uma sessão de liquidação ao longo de cada dia; e
- por fim, o prestador de serviços de compensação e de liquidação, ou câmara, deve assumir a posição de contraparte central, na liquidação das obrigações realizadas por seu intermédio, ressalvado o risco de emissor, e assegurar a

liquidação das obrigações relativas às operações aceitas, constituindo patrimônio especial e adotando mecanismos e salvaguardas adequados, tais como a definição de limites operacionais, a instituição de mecanismos de compartilhamento de perdas entre os participantes, a constituição de garantias pelos participantes, a constituição de fundo de garantia de liquidação, a contratação de seguro de garantia de liquidação e a contratação de linhas de crédito bancário.

A avaliação da importância sistêmica de sistemas de transferência de fundos deve ser feita mensalmente. Essa avaliação segue a metodologia publicada na Nota-Técnica-2009/003, do BCB.

2.2. Sistemas de liquidação do Sistema de Pagamentos Brasileiro

O SPB é segmentado em sistemas de liquidação. A seguir, esses sistemas são apresentados detalhando-se o contexto em que atuam, o tipo de liquidação adotado e mecanismos de segurança utilizados para conter a propagação de efeitos da inadimplência de participantes.

2.2.1. Sistemas de transferência de fundos

STR: realiza transferência entre contas de reservas bancárias e/ou contas de liquidação, com liquidação bruta em tempo real (LBTR). É o núcleo do SPB, por meio do qual são realizadas todas as transferências entre contas de reservas bancárias. Também passam por esse sistema as transferências associadas a operações de política monetária e cambial do Banco Central, à arrecadação de tributos e às colocações primárias, resgates e pagamentos de juros dos títulos da dívida pública federal pelo Tesouro Nacional. Além disso, são liquidados no STR os resultados líquidos apurados nos sistemas de liquidação considerados sistemicamente importantes.

Sitraf: realiza transferências entre contas de liquidação de titularidade de instituições possuidoras de contas de reservas bancárias. É um sistema que utiliza compensação contínua, operado pela Câmara Interbancária de Pagamentos (CIP), que processa ordens de transferência para liquidação no mesmo dia, de valor inferior a R\$ 1 milhão. A partir desse valor, as transferências devem ser feitas pelo STR. Possui

características de sistema LBTR e de sistema com liquidação diferida líquida (LDL), e pode considerar a ordem de transferência de fundos isoladamente, no contexto de uma compensação bilateral ou multilateral. Nesse sistema, as transferências só são feitas se houver fundos nas contas de liquidação dos participantes pagadores. Para isso, ao início de cada dia, o Sitraf determina, para cada participante, o valor do pré-depósito a ser transferido por ele para a sua conta de liquidação. Participantes que emitiram ordens de transferência de fundos ainda pendentes ao final do dia devem transferir depósitos adicionais para possibilitar a execução das ordens. Ordens não executadas até o final do dia são canceladas.

O **Sistema de Liquidação Diferida das Transferências Interbancárias de Ordens de Crédito (Siloc)**, que também é operado pela CIP, a **Centralizadora da Compensação de Cheques (Compe)** e a **Câmara TecBan**⁵ são sistemas LDL com compensação multilateral de obrigações. O Siloc liquida obrigações interbancárias relacionadas com Documentos de Crédito, Transferências Especiais de Crédito e bloquitos de cobrança. Em todos esses instrumentos, o valor é limitado a R\$5 mil, entre participantes detentores de conta Reservas Bancárias. Na Compe, são liquidadas obrigações relacionadas a cheques de valor inferior a R\$250 mil, entre participantes possuidores de contas de reservas bancárias ou de liquidação com depósitos movimentáveis por cheques; e na TecBan, são efetivadas transferências interbancárias de fundos, entre contas de liquidação dos participantes, relacionadas principalmente com pagamentos realizados com cartões de débito e com saques em redes de atendimento automático de uso compartilhado, como a rede Banco24Horas. No caso do Siloc e da Compe, a liquidação é em D+1, e no caso da Câmara TecBan, D ou D+1, dependendo do horário em que é originada a transferência de fundos.

2.2.2. Sistemas de liquidação de operações com títulos, valores mobiliários, derivativos e câmbio interbancário

Esses sistemas são considerados sistemicamente importantes pela Circular nº 3.057, de 2001. Nesses sistemas, a liquidação financeira interbancária é efetuada em contas de reservas bancárias pelo STR. Na liquidação, são observados os princípios de

⁵ Sistema de compensação e de liquidação operado pela Tecnologia Bancária S.A. por meio do qual são processadas transferências de fundos interbancárias relacionadas principalmente com pagamentos realizados com cartões de débito da bandeira Cheque Eletrônico e com saques em redes de atendimento automático de uso compartilhado, principalmente no denominado Banco24Horas.

entrega contra pagamento (EcP) e de pagamento contra pagamento (PcP). Os sistemas são:

Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (Selic): processa a emissão, o resgate, o pagamento dos juros e a custódia de títulos emitidos pelo Tesouro Nacional e pelo BCB. Também processa, em LBTR, a liquidação de operações no mercado secundário registradas no seu ambiente, liquidando as obrigações financeiras relacionadas a elas por meio do STR;

BM&FBOVESPA⁶ (Bolsa de Mercadorias e Futuros) – Câmara de Ativos: liquida operações com títulos públicos federais. Nesse sistema, a liquidação é feita em D ou D+1, conforme o horário da negociação, com compensação multilateral, e a entidade atua como contraparte central. A Câmara estabelece limites operacionais, com base em garantias depositadas. No caso de inadimplência, conta com um fundo operacional constituído com recursos da própria BM&FBOVESPA, que pode ser usado para concluir o processo de liquidação em caso de inadimplência de participante;

BM&FBOVESPA – Câmara de Derivativos: liquida obrigações financeiras relacionadas a operações com contratos a vista, a termo, de futuros, de opções e de *swaps*. A liquidação é feita com compensação multilateral em D+1, por intermédio do STR, em contas de reservas bancárias, e a BM&FBOVESPA atua como contraparte central. Ocorrendo inadimplência, as posições do participante são encerradas. Se, depois de compensados os contratos, for apurado resultado líquido negativo, a BM&FBOVESPA realiza as garantias constituídas pelo participante. Se as garantias se mostrarem insuficientes, a câmara utiliza recursos disponíveis em diferentes fundos constituídos para esse fim e que contam com recursos das corretoras, dos membros de compensação e da própria câmara. Se os recursos ainda não forem suficientes, a câmara pode solicitar novos aportes de recursos aos seus participantes e, em último caso, utilizar o próprio patrimônio;

BM&FBOVESPA – Câmara de Câmbio: liquida operações interbancárias de câmbio realizadas no mercado de balcão da BM&FBOVESPA. As obrigações

⁶ Companhia formada a partir da integração das operações da Bolsa de Valores de São Paulo (BOVESPA) e a Bolsa de Mercadorias e Futuros (BM&F).

correspondentes são compensadas multilateralmente e a BM&FBOVESPA atua como contraparte central. A Câmara de Câmbio conta com linhas de crédito em moeda nacional e em moeda estrangeira, a serem utilizadas na conclusão tempestiva do ciclo de liquidação, se ocorrer inadimplência de algum participante. A liquidação das operações é assegurada primeiramente pelas garantias constituídas individualmente pelos participantes. Se os recursos obtidos com a execução das garantias do participante inadimplente não forem suficientes para a liquidação de suas posições, o valor faltante é repartido entre os bancos adimplentes que contrataram operações para liquidação na data em que ocorreu a inadimplência;

Companhia Brasileira de Liquidação e Custódia (CBLC): liquida operações com títulos de renda variável (mercados a vista e de derivativos – opções, termo e futuro) e títulos privados de renda fixa (operações definitivas no mercado a vista). A liquidação usualmente⁷ é feita com compensação multilateral de obrigações, tendo a BM&FBOVESPA como contraparte central, assegurando a liquidação das operações entre os agentes de compensação. Havendo inadimplência de participante, o sistema utiliza os seguintes recursos, nesta ordem: recursos obtidos com a execução de garantias depositadas pelo agente de compensação inadimplente ou por investidor a ele vinculado; recursos do fundo de liquidação, correspondentes à participação do agente de compensação inadimplente; recursos do fundo de liquidação correspondentes à participação dos demais agentes de compensação; recursos do fundo de liquidação correspondentes à contribuição institucional da CBLC; e recursos relacionados ao patrimônio especial do sistema.

Central de Custódia e de Liquidação Financeira de Títulos (Cetip): processa a emissão, o resgate, o pagamento de juros e a custódia de títulos de renda fixa privados, títulos públicos estaduais e municipais e títulos representativos de dívidas de responsabilidade do Tesouro Nacional. As operações no mercado primário são geralmente liquidadas com compensação multilateral de obrigações (a Cetip não atua como contraparte central). Compensação bilateral é utilizada na liquidação das operações com derivativos e LBTR, nas operações com títulos negociados no mercado secundário. Se houver inadimplência, a compensação multilateral é reprocessada; e

⁷ Em situações específicas, pode ser feita em tempo real, operação por operação.

Central de Cessões de Crédito (C3): registra, compensa e liquida cessões de crédito.⁸ Para a realização de uma operação de cessão de crédito, os créditos a serem cedidos e os contratos de cessão devem ser, inicialmente, registrados nessa central, que posteriormente processa a compensação e liquidação das cessões. A transferência de fundos é feita via STR, simultaneamente à transferência de titularidade dos créditos registrados. Havendo inadimplência de um participante, a entidade, que não atua como contraparte central, reprocessa a compensação.

3. Risco de contágio e risco sistêmico no âmbito do Sistema de Pagamentos Brasileiro

Um sistema de pagamentos pode influenciar os riscos de contágio⁹ e sistêmico do sistema financeiro, uma vez que atua como canal para o fluxo de recursos. Dependendo da forma como está estruturado, pode intensificar ou atenuar interrupções em transferências de fundos ocasionadas por inadimplências dos agentes. Os sistemas de liquidação que integram o SPB utilizam processos de LBTR, de LDL ou combinações desses processos.

Em sistemas de liquidação LBTR, uma transação só é aceita se os recursos a serem transferidos estiverem disponíveis na conta da instituição pagadora. As transações aceitas são executadas imediatamente. Nesse caso, o sistema de pagamentos não interfere no risco sistêmico, pois não modifica o fluxo de recursos entre as partes. No entanto, a exigência de disponibilidade de recursos como condição para a realização das transferências faz com que seja necessária maior liquidez e acesso a linhas de crédito intradiárias de maior volume pelos participantes do sistema do que seriam necessários no caso de sistemas de liquidação líquida (bilaterais ou multilaterais).

No caso de sistemas de liquidação LDL, as instituições fazem depósitos nas contas de liquidação e registram ordens de transferência até um horário-limite, que define o final do ciclo. Ao final do ciclo, executa-se a compensação; a posição de cada

⁸ Atualmente, o sistema trata cessões de operações de financiamento de veículos automotores e de crédito consignado; futuramente, serão incluídos tratamentos de outros tipos de operações de crédito.

⁹ Contágio no contexto do sistema de pagamentos é o contágio direto: o fato de uma instituição falhar em cumprir com suas obrigações faz com que outra instituição também falhe. O contágio é dito sistêmico quando afeta uma porção significativa do sistema financeiro.

empresa é calculada e os valores líquidos resultantes são transferidos. A transferência pode se dar no mesmo dia do registro da ordem ou em dia posterior, caso em que se diz que a liquidação é diferida. Se houver inadimplência de algum participante do ciclo, as ordens de liquidação emitidas por ele são canceladas, o que pode deixar as contrapartes com saldo negativo, levando também ao cancelamento de suas respectivas ordens e propagando a situação de inadimplência para participantes que originalmente possuíam recursos. Essa é uma situação cujo risco de contágio do sistema de pagamentos pode aumentar: o risco aumenta porque os participantes credores dos que estavam inicialmente inadimplentes não têm tempo hábil para suprir as deficiências de suas posições. Por outro lado, esse tipo de processo de liquidação tem a vantagem de exigir menor necessidade de liquidez para os participantes. Sistemas de liquidação LDL com contraparte central, limites e exigências de garantias podem atenuar riscos de contágio originados por inadimplências, pois essas características possibilitam a absorção e, em última instância, o compartilhamento de perdas causadas por elas.

No que se refere à transferência de fundos, o STR é a espinha dorsal do Sistema de Pagamentos Brasileiro, realizando todas as transferências líquidas finais de sistemas de liquidação sistemicamente importantes, entre as contas de reservas bancárias envolvidas, por determinação regulamentar. Dado que é um sistema LBTR, não amplifica os riscos de contágio e sistêmico em caso de inadimplência. O Sitraf também realiza transferência de fundos, no entanto essas transferências são realizadas somente entre contas de liquidação. Esse sistema executa ciclos de liquidação durante o dia. Os participantes inadimplentes, ao final de um ciclo, são chamados a depositar, em suas contas de liquidação, os recursos necessários à execução de suas transferências. Caso esse depósito não seja feito até o final do dia, as transferências pendentes são canceladas, podendo originar uma cadeia de cancelamentos de transferências.

Em junho de 2011, entrou em vigor a Circular BCB nº 3.534, de 6 de maio de 2011, que estabeleceu que Transferências Eletrônicas Disponíveis (TEDs) com valor igual ou superior a um milhão de reais deveriam ser liquidadas por sistema operado pelo BCB. Essa determinação teve por objetivo enquadrar o Sitraf, reduzindo sua importância sistêmica. Transferências de valor a partir de um milhão de reais deixaram de cursar pelo Sitraf (operado pela CIP) e passaram a ser executadas pelo STR (operado pelo BCB). Isso fez com que a maior parte do volume financeiro das transações

interbancárias consideradas neste estudo migrasse de um sistema LDL, sem um sistema de garantias para absorver o impacto de inadimplências (que aumenta o risco de contágio), para um sistema de liquidação em tempo real (que não aumenta o risco de contágio). O gráfico 1 mostra a evolução da composição do STR e do Sitraf no volume financeiro das transações examinadas.

Até junho de 2011, a composição das transferências era de 57% para o Sitraf e de 43% para o STR. Em junho a composição começa a mudar e, ao final de 2011, o STR era responsável por 77% das transações examinadas e o SITRAF, por 23%. Assim, podemos considerar que o risco sistêmico de contágio por meio do sistema de pagamentos diminuiu consideravelmente (veja Banco Central do Brasil [2011b]), uma vez que não só o volume dos pagamentos processados pelo Sitraf diminuiu, mas também o valor das transações.

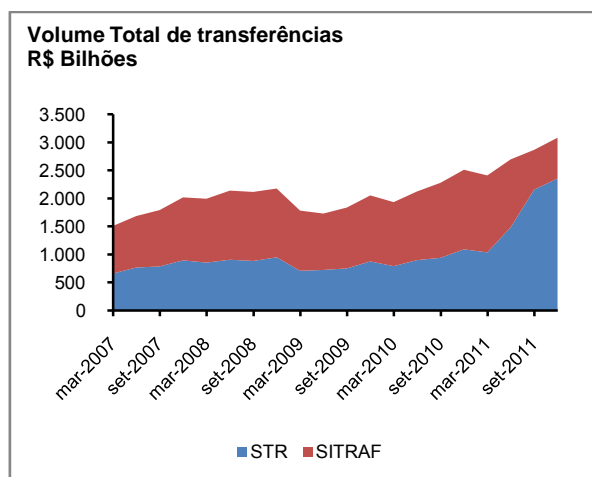


Gráfico 1 – Volume de transferências

4. Análises da rede de pagamentos

Em um sistema financeiro, a realização de transações entre seus participantes cria uma rede de obrigações entre eles, possibilitando a ocorrência de contágio, situação em que problemas de liquidez de uma instituição participante pode levar à quebra de outras. Assim sendo, a análise dessas redes é importante para a avaliação da estabilidade do sistema financeiro e pode ser útil para capturar as externalidades que o risco associado a uma única instituição cria para o sistema como um todo.

A análise de redes no sistema financeiro tem tido abordagens teóricas e empíricas. Os modelos teóricos têm procurado identificar características das redes associadas à robustez ou ao contágio; os trabalhos empíricos partem de dados das redes e analisam suas características, ou simulam a propagação de choques ou inadimplências pela estrutura da rede em uma abordagem estática. Uma revisão da literatura de redes no sistema financeiro pode ser encontrada em Allen e Babus (2009).

Entre os trabalhos teóricos, Allen e Gale (2000) mostram que um sistema financeiro interconectado em uma rede completa está sujeito a menor risco de contágio do que sistemas interconectados em redes incompletas. Freixas *et al.* (2000) modelam o risco sistêmico em um mercado interbancário sujeito a choques de liquidez, atenuados por linhas de crédito interbancário, e afirmam que: 1) em condições normais, essas linhas de crédito reduzem os custos de manutenção de ativos líquidos pelos bancos, e 2) a estrutura da rede de fluxos financeiros afeta a estabilidade do sistema bancário em relação a choques de solvência. Dasgupta (2004) concorda que depósitos interbancários ajudam os bancos a se protegerem de choques de liquidez regionais, mas os expõem a riscos de contágio, e questiona se bancos deveriam manter depósitos interbancários. Ao utilizar modelo que permite avaliar o nível ótimo de conectividade no sistema bancário, o autor afirma que, em condições de crise, o nível de conectividade ótimo corresponde a uma rede parcialmente completa.

Iori *et al.* (2006) desenvolve modelo baseado em agentes de uma rede de bancos, na qual os bancos podem interagir por meio de empréstimos interbancários, e analisa a influência da homogeneidade ou heterogeneidade dos bancos na estabilidade do sistema financeiro. Outro modelo baseado em agentes é o desenvolvido por Nier *et al.* (2007). Nesse modelo, o sistema bancário é modelado como um gráfico randômico no qual a estrutura da rede é determinada pelo número de nós e pela probabilidade de estarem interconectados. Os autores concluem que o efeito da conectividade dos bancos é não monotônico e que sistemas bancários com maior concentração são sujeitos a maior risco sistêmico.

Eisenberg e Noe (2001) estudam o processo de compensação em uma rede de pagamentos interbancários, representados por uma matriz, e demonstram a existência de um vetor de pagamentos único e que otimiza o valor pago após a compensação.

Utilizando a metodologia apresentada, propõem uma técnica para avaliar o contágio de inadimplências de bancos no sistema. A técnica que desenvolvem é utilizada em simulações de contágio em redes de bancos no sistema financeiro em trabalhos posteriores.

Uma corrente da literatura estuda a possibilidade de contágio em redes interbancárias, reconstruídas a partir de fluxos de pagamentos. Em alguns trabalhos, a estrutura em rede do sistema de pagamentos é analisada, como em Inaoka *et al.* (2004), Soramäki *et al.* (2007), Boss *et al.* (2008), Pröpper *et al.* (2009) e Embree e Roberts (2009); em outros, é estudado o mercado interbancário, como em Iori *et al.* (2008). Esses trabalhos têm em comum a aplicação de conceitos de teoria de redes nas análises realizadas, com a finalidade de inferir propriedades globais dos sistemas analisados.

Há também estudos de sistemas bancários a partir de dados de balanço, que são utilizados para estimar relacionamentos de crédito bilaterais para diferentes sistemas bancários. A partir dessas exposições, a estabilidade do mercado interbancário é testada simulando-se a quebra de um banco. Utilizando essa metodologia, Upper e Worms (2004) analisam o sistema bancário alemão; Cocco *et al.* (2005), o mercado interbancário português; Furfine (2003), o mercado estadunidense; Wells (2004), o mercado do Reino Unido; e Degryse e Nguyen (2007), o risco de ocorrência de uma cadeia de quebras de bancos no mercado interbancário belga. Upper (2006) afirma que os resultados têm forte dependência do processo de estimação das exposições de crédito interbancário. Na maioria dos trabalhos, os dados são extraídos dos balanços dos bancos e a exposição de cada banco aos demais bancos individuais é calculada pelo método da máxima entropia. Mistrulli (2007) compara os resultados obtidos por esse método com dados de exposições bilaterais reais e afirma que o método de máxima entropia enviesava os resultados.

A contribuição do presente trabalho é aplicar técnicas de análise de redes complexas aos fluxos de pagamentos dos sistemas de transferência de fundos que formam o núcleo do SPB, com a finalidade de obter informações relacionadas ao risco sistêmico. Assim, a partir da estrutura de conectividade observada no sistema de pagamentos, são propostas diferentes medidas para auxiliar na identificação de instituições sistemicamente importantes. Vale ressaltar que a análise é realizada tendo

em vista que os dados estudados são passados e que este não é um processo de avaliação do risco presente.

4.1. Dados

Os dados utilizados foram os lançamentos entre conglomerados financeiros dos tipos 1 e 2,¹⁰ realizados com sucesso no Sitraf e no STR, de 2006 a 2011, a título das instituições e a título de seus clientes. Não foram considerados dados relativos a:

- Selic;
- transferências intraconglomerado;
- transferência para câmaras;
- repasses (Fundo de Garantia do Tempo de Serviço - FGTS, Fundo de Compensação de Variações Salariais -FCVS, liquidação de documentos com código de barras, outros tributos);
- devoluções; e
- operações com Tesouro Nacional e BCB (incluindo operações de redesconto, compulsório, meio circulante).

Os dados foram agregados diariamente, para cada par instituição pagadora/instituição recebedora. Em algumas análises realizadas, o uso de agregações adicionais será indicado.

4.2. Conectividade

A análise da estrutura da rede formada pelos pagamentos do SPB insere-se na literatura que busca identificar as associações entre as características dessa rede e a vulnerabilidade ou robustez do sistema financeiro a eventos causadores de impacto sistêmico.

May *et al.* (2008) enfatizam a importância de identificar características estruturais de diversos tipos de sistemas que tenham sobrevivido a eventos sistêmicos raros para identificar as características de sistemas complexos relacionadas a um alto grau de robustez. Georg (2011) afirma que, em tempos normais, a topologia de uma rede bancária tem pouco impacto. No entanto, em tempos de crise, é relevante,

¹⁰ Conglomerado Financeiro Tipo 1: possui pelo menos uma instituição do tipo Banco Comercial ou Banco Múltiplo com Carteira Comercial; Conglomerado Financeiro Tipo 2: possui pelo menos uma instituição do tipo Banco Múltiplo sem Carteira Comercial ou Banco de Investimento, mas sem conter instituições do tipo Banco Comercial e Banco Múltiplo com Carteira Comercial.

apontando como um dos motivos o fato de que, em tempos de crise, as instituições financeiras serem menos capazes de absorver choques e estarem com liquidez reduzida.

A literatura tem encontrado evidências de que algumas redes de pagamentos interbancários são livres de escala. Por exemplo, Soramäki *et al.* (2007), com relação ao Fedwire (Estados Unidos da América); e Inaoka *et al.* (2004), com relação ao BOJ-Net (Japão). Por outro lado, Boss *et al.* (2008) rejeitam a afirmação de que a rede do sistema de pagamentos austríaco (ARTIS) seja livre de escala.

Uma rede é dita livre de escala (*scale-free network*) se a cauda superior da distribuição da conectividade¹¹ dos seus nós (S) segue uma lei de potência dada por $prob(S = x) = kx^{-\alpha}$ ¹². Em redes com essa topologia,¹³ a grande maioria dos nós tem conectividade baixa e pouco nós têm conectividade elevada. A presença desses nós de conectividade elevada tende a diminuir o caminho médio entre os nós do sistema: se o contágio começa na instituição A , o número de instituições que precisam ser afetadas para que a instituição B seja afetada é relativamente pequeno. Além disso, em geral, o caminho médio entre dois nós inclui um elemento fortemente conectado que, ao sofrer contágio, pode contagiar um número muito grande de outros nós ao mesmo tempo. Por causa disso, redes livres de escala são robustas a choques aleatórios, mas vulneráveis a choques direcionados aos nós mais importantes (ver Crucitti *et al.* [2004]), como muitas vezes ocorre durante as crises. A formação desse tipo de rede é investigada por Barabási *et al.* (1999), que mostraram que esse tipo de rede pode ser formado por um processo de anexação preferencial (*preferential attachment*), em que um novo nó acrescentado à rede forma conexões com probabilidade proporcional à conectividade dos nós anteriormente participantes da rede.

Neste trabalho, foi feita a estimação do expoente da lei de potência, supondo que a rede formada pelos pagamentos estudados é livre de escala. Essa suposição é

¹¹ Em uma rede, a conectividade de um nó é o número de nós ligados a ele. No caso de uma rede de sistema de pagamentos, a rede é direcionada. Nesse caso, definem-se o *in-degree* (d^{in}), o número de conexões que chegam ao nó e o *out-degree* (d^{out}), o número de ligações que partem do nó. Nas análises dos nós de um sistema de pagamentos, usa-se, como conectividade do nó, o *out-degree* (ver Soramäki [2007]).

¹² Alguns autores definem a lei de potência como: $prob(S > x) = kx^{-\beta}$. Nesse caso, $\beta = \alpha - 1$.

¹³ Outras topologias comumente citadas são as *Random Networks*, formadas por nós conectados de forma aleatória (nessas redes, a conectividade dos nós tem pouca variabilidade), e as *Small-World Networks* (redes em que a conectividade dos nós é baixa).

baseada na similaridade do processo de escolha dos bancos por seus clientes e de contrapartes pelas instituições financeiras e o processo de formação de redes livres de escala. Nesse processo, ocorre anexação preferencial a instituições financeiras de maior porte pelas diversas economias de escala que apresentam, seja pela diversidade de operações, presença geográfica ou estrutura dos mercados. Como exemplo de estrutura de mercado, o BCB avalia e define um conjunto de instituições financeiras para atuarem como *dealers* de câmbio e do mercado aberto, motivo pelo qual essas instituições se tornam participantes muito mais frequentes nesses tipos de operação do que as demais.

A estimação de α foi feita de acordo com Clauset *et al.* (2009), que é dado por:

$$\hat{\alpha} \approx 1 + n \left[\sum_{i=1}^n \ln \frac{x_i}{x_{min}-1/2} \right]^{-1} \quad (1)$$

Os dados utilizados foram transferências agregadas trimestrais. Os resultados obtidos são apresentados no gráfico 2:

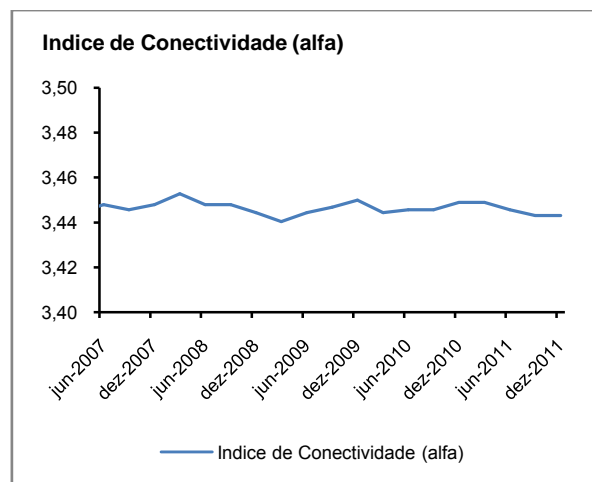


Gráfico 2 – Índice de conectividade

O valor obtido para o índice de conectividade esteve aproximadamente constante no período analisado, na faixa de 3,45, indicando que a concentração dos pagamentos do sistema financeiro praticamente não variou ao longo do período (Inaoka *et al.* [2002] encontraram $\alpha=2,3$ para o BOJ-Net; e Soramäki *et al.* [2005] encontraram 2,11 para o Fedwire). A estrutura do sistema financeiro é concentrada em poucos *money centers* altamente conectados a bancos periféricos com poucos conexões. Isso pode ser visto na figura 1a, que mostra a rede de conectividade conjunta do STR e do Sitraf para as

transações examinadas no 4º trimestre de 2011. O conjunto examinado consiste de cem instituições e o volume financeiro total movimentado entre elas no trimestre é de 3,08 trilhões de reais. A figura 1b mostra um subconjunto da figura 1a, que consiste na rede das 25 instituições mais conectadas. O volume financeiro total das transferências entre essas instituições foi de 2,80 trilhões de reais, o que corresponde a 90,9% do total.

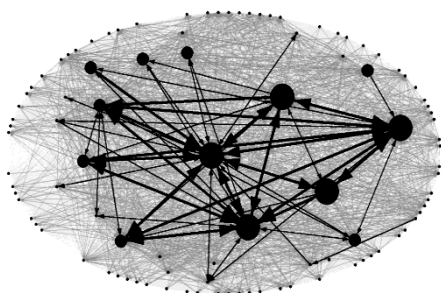


Figura 1a – Conectividade no sistema de pagamentos

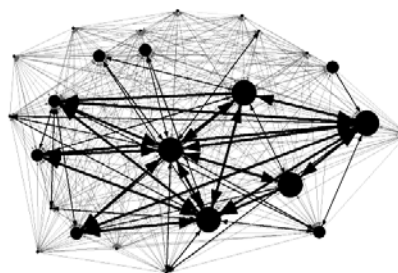


Figura 1b – Conectividade das 25 instituições mais conectadas

Embora se considere que o sistema de pagamentos em si tenha sua contribuição para o risco sistêmico diminuída com o tempo,¹⁴ o fato de existir um conjunto de instituições fortemente conectadas e que figura na maior parte das transações financeiras indica que essas instituições são críticas em momentos de crise, pois o sistema todo opera com elas. Usualmente, o risco sistêmico tem como foco a inadimplência severa de grandes instituições financeiras. No caso brasileiro, o risco de grandes instituições é constantemente observado e avaliado pelo BCB (veja Relatórios de Estabilidade Financeira, Banco Central do Brasil [2011a], [2011b] e [2012a]). Além disso, essas instituições operam com altos níveis de capital regulamentar e econômico e têm observado lucros elevados, fatores que atenuam o risco de contágio.

4.3. Posicionamento dos agentes

Esta análise consiste em determinar, para cada banco da rede, com qual outro banco ele mantém o maior fluxo de pagamentos, definido como a soma de pagamentos e recebimentos. Caso essa análise seja feita com pagamentos bilaterais líquidos, são obtidos fluxos direcionais de recursos que permitem uma análise dos pares de bancos doadores e recebedores líquidos desses recursos.

¹⁴ Pela saída de grandes transações do Sitraf.

A definição dos pares de bancos com relacionamento mais intenso é feita com o auxílio do conceito de distância entre nós de uma rede. Seguindo Cajueiro e Tabak (2007), define-se a distância $d^w(i, j)$, entre os bancos i e j , como:

$$d^w(i, j) = 2 - (W(i, j) + W(j, i)) / \max(W(i, j) + W(j, i)), \quad (2)$$

sendo $W(i, j)$ = valor dos pagamentos do banco i para o banco j .

Calculadas essas distâncias, é desenhada uma *Minimum Spanning Tree* (MST), que mostra, dados dois bancos quaisquer, o caminho de maior tráfego (menor distância). Essa análise é feita para determinar a importância de cada banco no sistema de pagamentos como um todo, ou seja, quais os bancos que estão envolvidos em mais relacionamentos importantes para outros bancos. Essa importância é indicativa de uma dominância (pelo menos) local: pode ser que os volumes de pagamentos que envolvem um dado banco não sejam significativos em termos sistêmicos, mas sejam importantes para a vizinhança. A figura 2 mostra as MSTs calculadas com dados agregados de um mês para três períodos diferentes: junho de 2006, setembro de 2008 e dezembro de 2011.¹⁵

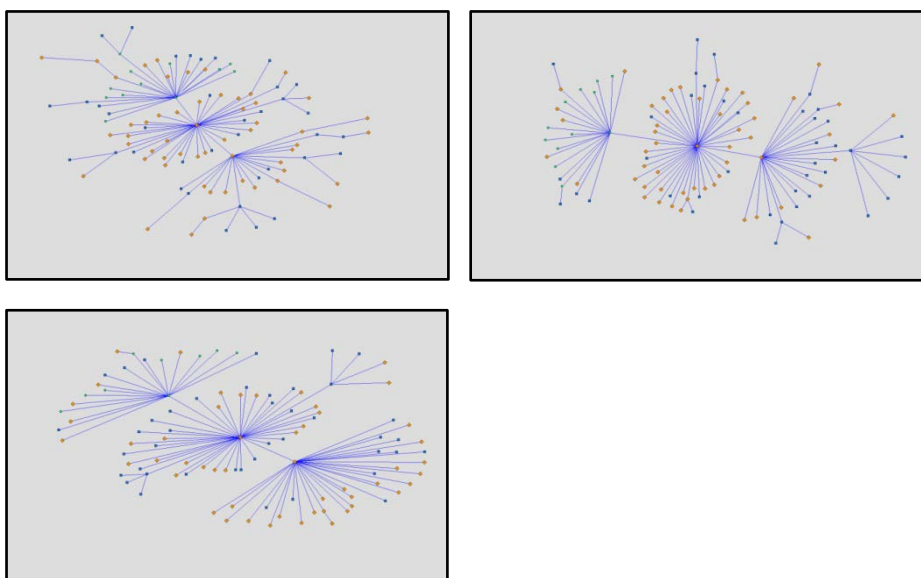


Figura 2: *Minimum Spanning Tree* da rede de pagamentos interbancários. Acima, à esquerda: junho de 2006; à direita, setembro de 2008; abaixo, dezembro de 2011. Círculos verdes: bancos públicos; losangos amarelos: bancos privados nacionais; quadrados azuis: bancos estrangeiros.

¹⁵ As datas foram escolhidas para oferecer comparação entre períodos antes da crise financeira global, no auge da crise (falência do *Lehman Brothers*) e após a crise.

No intervalo de tempo analisado, o sistema de pagamentos interbancários mostra três bancos que sobressaem como *money centers*, com grande volume de pagamentos, sendo dois bancos privados e um público. Verificou-se também que os bancos públicos têm relacionamento mais próximo entre si e que os bancos estrangeiros ocupam posição periférica.

4.4. Dominância

É uma medida da centralidade¹⁶ de um banco, na rede, que leva em conta a direção e o volume dos pagamentos. Foi introduzida por VanDenBrink (2000). Neste trabalho, é utilizada para medir o impacto total relativo da supressão de um banco na receita de todos os bancos recebedores dos pagamentos. Bancos cujos pagamentos são uma parcela maior dos valores recebidos pelas contrapartes têm maior importância local,¹⁷ isto é, sua falta, ou quebra repentina, provoca queda maior nas receitas das contrapartes, com maior potencial de contágio. Se essas contrapartes também forem localmente importantes, junto a vizinhanças que incluam bancos que não fazem parte da vizinhança do primeiro banco, o contágio pode se ampliar. Bancos que atuam como *money centers* possivelmente se enquadram nessa categoria, devido ao relacionamento deles com maior quantidade de bancos pequenos. A medida de dominância é dada por:

$$\beta(i) = \sum_j [W(i, j) / \lambda(j)], \quad (3)$$

em que $\lambda(j) = \sum_i W(i, j)$ e $W(i, j)$ = valor dos pagamentos do banco i para o banco j .

Os dados utilizados nos cálculos são os definidos na seção 4.1, agregados por mês. Depois de calculadas, as dominâncias dos bancos individuais são agregadas por tipo de controle, fornecendo o resultado apresentado no gráfico 3a.

¹⁶ A centralidade refere-se à importância de um nó na rede. A centralidade pode depender iterativamente das centralidades dos vizinhos de um nó (a chamada *eigenvector centrality*), ou da fração de menores caminhos entre outros nós que passam pelo nó (*betweenness centrality*). No caso da análise de redes financeiras, um desafio é definir medidas de centralidade que tenham uma relação precisa com o impacto de eventos adversos. Uma classificação dos processos de rede e respectivas medidas de centralidade pode ser encontrada em Borgatti (2005).

¹⁷ A importância é pelo menos local, podendo ser sistêmica.

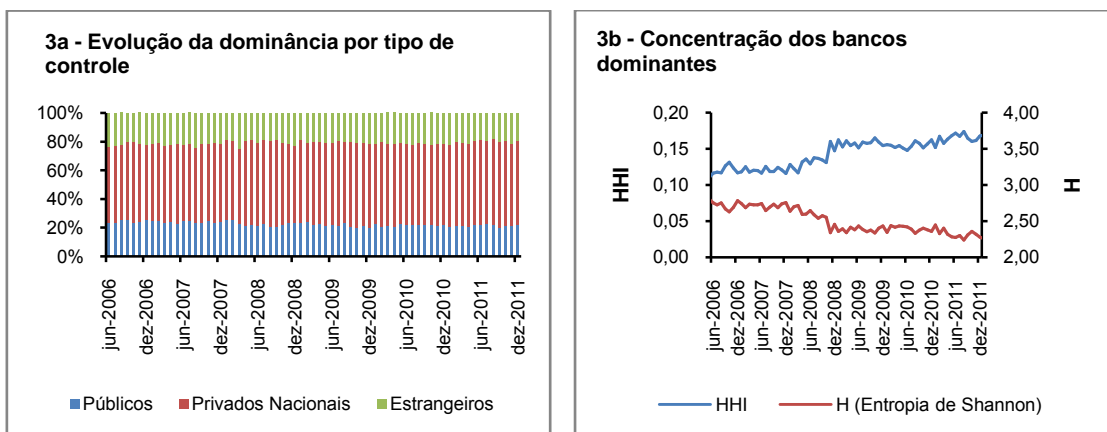


Gráfico 3a (esq.): evolução da dominância do conjunto dos bancos com cada tipo de controle (público, privado nacional, estrangeiro); 3b (dir.): medidas de concentração dos bancos dominantes ao longo do tempo.

Nessa figura, pode-se verificar que a importância relativa dos bancos privados é maior, seguida pela dos bancos públicos e, por fim, pela dos bancos estrangeiros. Verifica-se também que não houve variações significativas na distribuição dessas importâncias no período analisado. A importância relativa dos bancos do setor privado é maior porque há mais bancos no setor, e também porque há um número maior de bancos com grande volume de pagamentos. O cálculo da dominância média para cada tipo de controle apresenta resultados distorcidos: a dominância média dos bancos públicos é bem maior do que a dos bancos privados, pois a relação entre o volume operado pelos bancos grandes públicos e demais bancos do setor é bem maior do que o dos bancos privados, ainda que o setor privado possua mais bancos grandes. A medida de concentração da dominância, apresentada no gráfico 3b, mostra que a concentração da dominância dos bancos no sistema todo vem aumentando no período, com um salto a partir da crise de setembro de 2008.

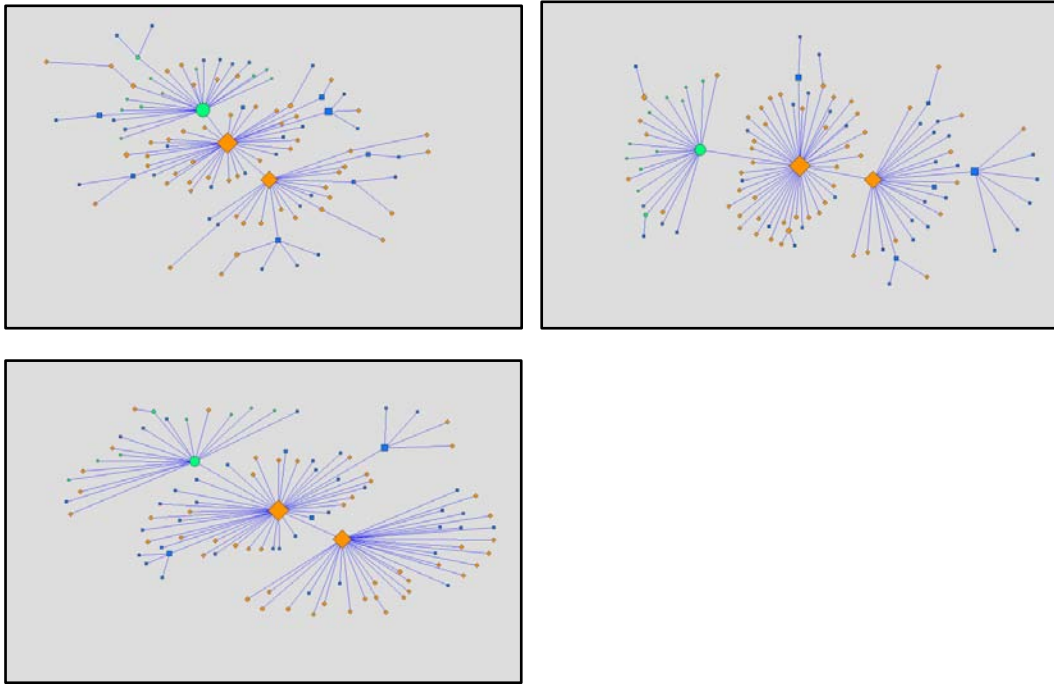


Figura 3: *Minimum Spanning Tree* da rede de pagamentos interbancários, incluindo a informação de dominância. Acima, à esquerda: junho de 2006; à direita, setembro de 2008; abaixo, dezembro de 2011. Círculos verdes: bancos públicos; losangos amarelos: bancos privados nacionais; quadrados azuis: bancos estrangeiros. O tamanho de cada nó da árvore é dado pela dominância do nó.

A figura 3 mostra as mesmas MSTs apresentadas na figura 2, adaptadas para incluir a informação de dominância. A dominância de cada instituição está apresentada como o tamanho de cada nó. Nota-se que as instituições mais centrais são as de maior dominância.

4.5. Distribuição de instituições financeiras críticas

Uma modificação da medida de centralidade utilizada no cálculo de dominância realizado na seção anterior pode ser utilizada para inferir o impacto da supressão de um banco na liquidez dos bancos recebedores de seus pagamentos. Esse impacto seria a medida de criticalidade do banco em relação a suas contrapartes recebedoras. Essa medida, assim como a medida de dominância, é local, sendo dada pela soma dos impactos nas contrapartes recebedoras de pagamentos. O impacto em uma contraparte é a relação entre o valor dos pagamentos recebidos por ela em uma unidade de tempo¹⁸ e o valor dos seus ativos líquidos, e representa uma *proxy* da exposição dessa contraparte ao banco. A criticalidade de um banco seria uma medida da exposição ao risco que ele provoca em suas contrapartes, e é dada por:

¹⁸ A unidade de tempo para agregação dos pagamentos é um dia, tendo em vista a prática do mercado em definir datas diárias para pagamentos e recebimentos e para o cálculo de saldos.

$$C(i) = \sum_j [W(i, j) / A^L(j)], \quad (4)$$

sendo $A^L(j) = \textit{buffer}$ de liquidez do banco j , dado por seus Ativos Líquidos.¹⁹

Essa medida pode ser útil em períodos de crise, uma vez que, nesses períodos, a liquidez usualmente é menor.

Em um sistema de pagamentos LDL, a medida apropriada seria obtida substituindo-se o termo $W(i, j)$ pelo pagamento líquido (após *netting*) do banco i para o banco j , se positivo. Por outro lado, o STR e o Sitraf procuram liquidar os pagamentos de forma bruta em tempo real, ou no próximo ciclo de liquidação intradiário, razão pela qual são considerados os pagamentos brutos.

Uma análise que essa medida de risco local sugere é a identificação dos piores casos de contágio para cada instituição. Essa análise, como a anterior, deve ser feita com base em dados diários e consiste em definir, para cada banco, qual é o vizinho mais crítico. Isso significa que, se um determinado banco falhar, o contágio mais perigoso que pode ocorrer é o da instituição vizinha definida como mais crítica localmente, o que sugere que essa instituição deve receber mais atenção por parte do monitoramento. Para essa análise, utiliza-se uma MST, gerada como na seção 4.3, a partir da seguinte distância:

$$d^c(i, j) = 2 - (c(i, j) + c(j, i)) / \max(c(i, j) + c(j, i)), \quad (5)$$

com $c(i, j) = W(i, j) / A^L(j)$

A figura 4 mostra as MSTs para três datas diferentes: o último dia útil dos meses janeiro de 2007, setembro de 2008 e dezembro de 2011.²⁰

¹⁹ Definido nos Relatórios de Estabilidade Financeira do BCB (por exemplo, Banco Central do Brasil [2011a]).

²⁰ As datas foram escolhidas para oferecer comparação entre períodos antes da crise financeira global, no auge da crise (falência do *Lehman Brothers*) e após a crise.

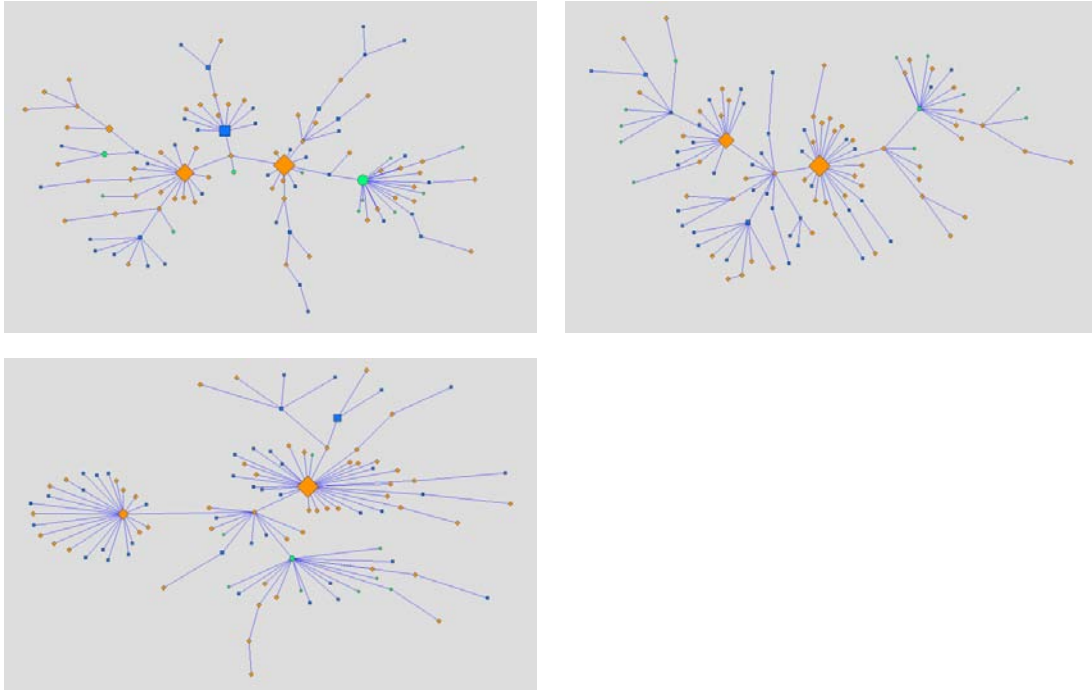


Figura 4: trajetórias críticas de contágio. Acima, à esquerda: janeiro de 2007; à direita, setembro de 2008; abaixo, à esquerda: dezembro de 2011. Círculos verdes: bancos públicos; losangos amarelos: bancos privados nacionais; quadrados azuis: bancos estrangeiros. O tamanho de cada nó é dado pela sua Criticidade $C(i)$.

A figura 4 mostra que a estrutura das trajetórias críticas de contágio pode mudar com o tempo, mas as instituições centrais tendem a ser as mesmas. Isso sugere que a importância sistêmica relativa dos bancos mais importantes não tem mudado significativamente.

4.6. Resultados sobre conectividade

A aplicação de técnicas de análise de redes complexas forma um conjunto de ferramentas úteis na identificação de instituições sistemicamente importantes, e a aplicação dessas ferramentas aos dados do SPB sugere que o sistema de pagamentos pode auxiliar o regulador a gerenciar o risco sistêmico.

As análises de centralidade oferecem uma primeira visão da estrutura da rede do sistema de pagamentos, indicando o seu grau de concentração em alguns centros financeiros, descrito pelo parâmetro α da lei de potência que caracteriza a cauda superior da distribuição das centralidades.

Se a **centralidade** propõe uma medida de concentração, a caracterização do volume de transferências entre duas instituições como uma medida de distância permite

a identificação dos nós mais centrais na rede, um primeiro indicativo de instituições sistemicamente importantes.

A partir da importância relativa das transferências de fundos de cada instituição sobre as demais, foi calculada uma medida de **dominância**, que parece corroborar a importância sistêmica das instituições identificadas pela medida de distância.

Para quantificar o impacto do fluxo de pagamentos na liquidez das instituições, foi introduzida uma medida de **criticalidade**, que também pode ser caracterizada numa medida de distância. Essa medida de distância pode ser utilizada para auxiliar a identificação de trajetórias de contágio em situações de crise, e mostra que as instituições sistemicamente importantes tendem a ser as mesmas ao longo do tempo, para o caso do SPB.

5. Conclusão

Neste trabalho, foram apresentadas medidas de mitigação do risco sistêmico adotadas no SPB e realizadas análises da conectividade entre conglomerados financeiros, observada a partir das transferências de fundos entre elas. No que se refere às medidas de mitigação de risco sistêmico no âmbito do SPB, os sistemas de liquidação que processam operações da BM&FBOVESPA utilizam LDL e possuem mecanismos de prevenção e compartilhamento de perdas causadas pela inadimplência de um participante, impedindo a propagação de eventuais perdas. Por outro lado, sistemas como STR e Selic, que utilizam LBTR, não impedem a propagação de perdas, mas permitem que a informação da perda seja prontamente comunicada às partes prejudicadas pela inadimplência, possibilitando que adotem medidas de regularização do saldo de suas contas de reservas bancárias, quando necessário. No caso do Sitraf, apesar de executar mais de um ciclo de liquidação por dia, existe a possibilidade de que transferências pendentes ao final do dia originem uma cadeia de cancelamentos de transferências entre os participantes do sistema. Procurando reduzir esse impacto, foi definido, em junho de 2011, que transferências a partir de R\$1 milhão deveriam passar pelo STR, eliminando os efeitos de cancelamentos de transferências de maior valor ao final do dia. Dessa forma, não só o volume financeiro das transações sujeitas a esse tipo de risco foi reduzido, como também o valor individual dessas transações, reduzindo o

impacto de um eventual cancelamento em uma contraparte. Isso tornou o sistema mais seguro (veja Banco Central do Brasil [2011b]).

Com relação à avaliação da conectividade dos pagamentos realizados na rede, concluiu-se que essa rede pode ser ajustada por uma rede livre de escala, o que sugere que o núcleo formado por instituições mais densamente conectadas deve ser foco de acompanhamento detalhado. Adicionalmente, verificou-se que 25% dos conglomerados estão envolvidos em 90,9% das transferências analisadas. Ainda que isso não implique necessariamente risco de contágio pelo sistema de pagamentos (tendo em vista que as transações de maior valor foram migradas para o STR, que possui liquidação *on-line*), pressupõe-se que há um conjunto de instituições que é central no sistema financeiro nacional. São os denominados centros monetários (*money centers*). A organização do sistema financeiro em torno dessas instituições é confirmada tanto pelas *minimum spanning trees*, que registram os caminhos com maior volume de pagamentos entre os bancos, como pelas medidas de dominância, que indicam concentração moderada da importância local dos bancos junto a seus recebedores de pagamentos. As medidas de concentração da dominância dos bancos mostram pequeno aumento da concentração no tempo, com salto durante crise de setembro de 2008.

Por fim, uma medida de criticalidade dos bancos foi calculada tendo como parâmetro de comparação a liquidez dos bancos em vez do total dos valores recebidos. Essa medida seria um indicador do impacto da não liquidação dos pagamentos devidos em uma data sobre a liquidez dos bancos recebedores. A partir dessa medida, foram calculadas as *minimum spanning trees* que sugerem caminhos de contágio em caso de crise, formados pelas ligações entre instituições mais críticas. A espinha dorsal desse caminho é composta por um grupo de instituições que incluem os *money centers* identificados anteriormente.

A continuidade deste trabalho envolve a identificação dos prováveis caminhos de propagação de crise e o desenvolvimento de simulações de contágio interbancário para uso conjunto na identificação de ameaças de eventos sistêmicos e no direcionamento de ações de resgate com minimização de custo/benefício. Apesar de este estudo se referir a transferências passadas, a metodologia pode ser utilizada para indicar quais instituições são críticas no que se refere ao risco sistêmico, uma vez que o padrão

das transferências depende da estrutura das relações contratuais mantidas, tanto pelas instituições financeiras como pelos seus clientes, na condução de seus negócios. Essas relações são estáveis no curto prazo, possibilitando a aplicação das análises aqui realizadas.

5. Referências

ALLEN, F.; BABUS, A. (2009). Networks in Finance. In *The Network Challenge*, editado por P. Kleindorfer e J. Wind, Philadelphia, PA: Wharton School Publishing, 367-382.

ALLEN, F.; GALE, D. (2000). Financial Contagion. *Journal of Political Economy*, University of Chicago Press, **108**(1): 1-33.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (2009). *Nota-Técnica-2009/003*, de 19 de fevereiro de 2009.

_____. (2011a). *Relatório de Estabilidade Financeira-abr/2011*, **10**(1).

_____. (2011b). *Relatório de Estabilidade Financeira-set/2011*, **10**(2).

_____. (2012a). *Relatório de Estabilidade Financeira-mar/2012*, **11**(1).

BARABÁSI, A.; ALBERT, R.; JEONG, H. (1999). Mean-Field theory for scale-free random networks. *Physica A* **272**. 173-187.

BORGATTI, S. (2005). Centrality and network flow. *Social Networks*, **27**(1), 55-71.

BOSS, M.; ELSINGER, H.; SUMMER, M.; THURNER, S. (2004). Network topology of the interbank market. *Quantitative Finance* **4**(6), 677-684.

BOSS, M.; KRENN, G.; METZ, V.; PUHR, C.; SCHMITZ, S. W. (2008). Systemically important accounts, network topology and contagion in ARTIS. *OeNB Financial Stability Report*, Oesterreichische Nationalbank, **15**.

CAJUEIRO, D. O.; TABAK, B. M. (2007). The role of banks in the Brazilian interbank market: Does bank type matter? *Physica A* **387** 6825-6836.

CLAUSET, A.; SHALIZI, C. R.; e NEWMAN, M. E. J. (2009). Power-law distributions in empirical data, *SIAM Review* **51**(4), 661-703.

COCCO, J.; GOMES, F.; e MARTINS, N. (2005). Lending relationships in the interbank market. *Working Paper*, London Business School.

COMMITTEE ON PAYMENT AND SETTLEMENT SYSTEMS (2001). Core Principles for Systemically Important Payment Systems, *CPSS Publications*, 43, Jan/2001.

CRUCITTI, P.; LATORA, V.; MARCHIORI, M.; RAPISARDA, A. (2004). Error and attack tolerance of complex networks, *Physica A* **340**, 380-394.

- DASGUPTA, A. (2004). Financial contagion through capital connections: A model of the origin and spread of bank panics. *Journal of the European Economic Association* **2**(6), 1049-1084.
- DEGRYSE, H.; NGUYEN, G. (2007). Interbank exposures: an empirical examination of systemic risk in the belgian banking system. *International Journal of Central Banking*, **3**(2), 123-171.
- EISENBERG, L.; NOE, T. H. (2001). Systemic risk in financial systems. *Management Science* **47**(2), 236–249.
- EMBREE, L.; ROBERTS, T. (2009). Network analysis and Canada's Large Value Transfer System. *Discussion Paper Series*, Bank of Canada, **13**.
- FREIXAS, X.; PARIGI, B.; ROCHET, J. C. (2000). Systemic risk, interbank relations, and liquidity provision by the central bank. *Journal of Money, Credit, and Banking*, **32**(3), 611-638.
- FURFINE, C. (2003). Interbank Exposures: Quantifying the Risk of Contagion. *Journal of Money, Credit and Banking*, **35**(1), 111-128.
- GEORG, C. (2011). The Effect of Interbank Network Structure on Contagion and Common Shocks, *Deutsche Bundesbank Discussion Paper Series 2*, 12/2011.
- IORI, G.; MASI, G. de; PRECUP, O. V.; GABBI, G.; CALDARELLI, G. (2008). The microstructure of the Italian overnight money market. *Journal of Economic Dynamics and Control*, **32**, 259-278.
- IORI, G.; JAFAREY, S.; PADILLA, F. (2006). Systemic risk on the interbank market. *Journal of Economic Behavior & Organization* **61**(4), 525–542.
- LITAN, R. E. (1997). Institutions and policies for maintaining financial stability, *Proceedings*, Federal Reserve Bank of Kansas City, **1997**, 257-297.
- MAY, R. M.; LEVIN, S. A.; SUGIHARA, G. (2008). Complex systems: ecology for bankers, *Nature* **451**, 893-895.
- MISTRULLI, P. (2007). Assessing financial contagion in the interbank market: maximum entropy versus observed interbank lending patterns. *Working Paper*, Bank of Italy.
- NIER, E.; YANG, J.; YORULMAZER, T.; ALENTORN, A. (2007). Network models and financial stability. *Journal of Economic Dynamics and Control* **31**, 2033–2060.
- PASTOR-SATORRAS & VESPIGNANI, A. (2001). Epidemic Spreading in Scale-Free Networks. *Physical Review Letters*, **86** (14), 3200-3203.
- PRÖPPER, M.; VAN LELYVELD, I.; HEIJMANS, R. (2009). Towards a network description of interbank payment flows. *DNB Working Papers*, De Nederlandsche Bank, **177**.

SACHS, A. (2011). *Completeness, Interconnectedness and Distribution of Interbank Exposures – A Parameterized Analysis of the Stability of Financial Networks*, (November 29, 2011). Disponível em SSRN: <<http://ssrn.com/abstract=1997182>> ou <<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1997182>>.

SORAMÄKI, K.; BECH, M. L.; ARNOLD, J.; GLASS, R. J.; BEYELER, W. E. (2007). The topology of interbank payment flows. *Physica A*, 379, 317-333.

UPPER, C. (2006). Contagion due to interbank credit exposures: what do we know, why do we know it, and what should we know? *Working Paper*, Bank for International Settlements.

UPPER, C.; WORMS, A. (2004). Estimating Bilateral Exposures in the German Interbank Market: Is There a Danger of Contagion? *European Economic Review*, 48(4), 827-849.

VANDENBRINK, R.; GILLES, R. P. (2000). Measuring domination in directed networks, *Social Networks* 22 141-157.

WELLS, S. (2004). U.K. interbank exposures: systemic risk implications. *Journal of Monetary Economics*, 2(1), 66-77

Banco Central do Brasil

Trabalhos para Discussão

Os Trabalhos para Discussão do Banco Central do Brasil estão disponíveis para download no website
<http://www.bcb.gov.br/?TRABDISCLISTA>

Working Paper Series

The Working Paper Series of the Central Bank of Brazil are available for download at
<http://www.bcb.gov.br/?WORKINGPAPERS>

- | | | |
|------------|---|----------|
| 254 | Macroprudential Regulation and the Monetary Transmission Mechanism
<i>Pierre-Richard Agénor and Luiz A. Pereira da Silva</i> | Nov/2011 |
| 255 | An Empirical Analysis of the External Finance Premium of Public Non-Financial Corporations in Brazil
<i>Fernando N. de Oliveira and Alberto Ronchi Neto</i> | Nov/2011 |
| 256 | The Self-insurance Role of International Reserves and the 2008-2010 Crisis
<i>Antonio Francisco A. Silva Jr</i> | Nov/2011 |
| 257 | Cooperativas de Crédito: taxas de juros praticadas e fatores de viabilidade
<i>Clodoaldo Aparecido Annibal e Sérgio Mikio Koyama</i> | Nov/2011 |
| 258 | Bancos Oficiais e Crédito Direcionado – O que diferencia o mercado de crédito brasileiro?
<i>Eduardo Luis Lundberg</i> | Nov/2011 |
| 259 | The impact of monetary policy on the exchange rate: puzzling evidence from three emerging economies
<i>Emanuel Kohlscheen</i> | Nov/2011 |
| 260 | Credit Default and Business Cycles: an empirical investigation of Brazilian retail loans
<i>Arnildo da Silva Correa, Jaqueline Terra Moura Marins, Myrian Beatriz Eiras das Neves and Antonio Carlos Magalhães da Silva</i> | Nov/2011 |
| 261 | The relationship between banking market competition and risk-taking: do size and capitalization matter?
<i>Benjamin M. Tabak, Dimas M. Fazio and Daniel O. Cajueiro</i> | Nov/2011 |
| 262 | The Accuracy of Perturbation Methods to Solve Small Open Economy Models
<i>Angelo M. Fasolo</i> | Nov/2011 |
| 263 | The Adverse Selection Cost Component of the Spread of Brazilian Stocks
<i>Gustavo Silva Araújo, Claudio Henrique da Silveira Barbedo and José Valentim Machado Vicente</i> | Nov/2011 |
| 264 | Uma Breve Análise de Medidas Alternativas à Mediana na Pesquisa de Expectativas de Inflação do Banco Central do Brasil
<i>Fabia A. de Carvalho</i> | Jan/2012 |

265	O Impacto da Comunicação do Banco Central do Brasil sobre o Mercado Financeiro <i>Marcio Janot e Daniel El-Jaick de Souza Mota</i>	Jan/2012
266	Are Core Inflation Directional Forecasts Informative? <i>Tito Nícias Teixeira da Silva Filho</i>	Jan/2012
267	Sudden Floods, Macroprudention Regulation and Stability in an Open Economy <i>P.-R. Agénor, K. Alper and L. Pereira da Silva</i>	Feb/2012
268	Optimal Capital Flow Taxes in Latin America <i>João Barata Ribeiro Blanco Barroso</i>	Mar/2012
269	Estimating Relative Risk Aversion, Risk-Neutral and Real-World Densities using Brazilian Real Currency Options <i>José Renato Haas Ornelas, José Santiago Fajardo Barbachan and Aquiles Rocha de Farias</i>	Mar/2012
270	Pricing-to-market by Brazilian Exporters: a panel cointegration approach <i>João Barata Ribeiro Blanco Barroso</i>	Mar/2012
271	Optimal Policy When the Inflation Target is not Optimal <i>Sergio A. Lago Alves</i>	Mar/2012
272	Determinantes da Estrutura de Capital das Empresas Brasileiras: uma abordagem em regressão quantílica <i>Guilherme Resende Oliveira, Benjamin Miranda Tabak, José Guilherme de Lara Resende e Daniel Oliveira Cajueiro</i>	Mar/2012
273	Order Flow and the Real: Indirect Evidence of the Effectiveness of Sterilized Interventions <i>Emanuel Kohlscheen</i>	Apr/2012
274	Monetary Policy, Asset Prices and Adaptive Learning <i>Vicente da Gama Machado</i>	Apr/2012
275	A geographically weighted approach in measuring efficiency in panel data: the case of US saving banks <i>Benjamin M. Tabak, Rogério B. Miranda and Dimas M. Fazio</i>	Apr/2012
276	A Sticky-Dispersed Information Phillips Curve: a model with partial and delayed information <i>Marta Areosa, Waldyr Areosa and Vinicius Carrasco</i>	Apr/2012
277	Trend Inflation and the Unemployment Volatility Puzzle <i>Sergio A. Lago Alves</i>	May/2012
278	Liquidez do Sistema e Administração das Operações de Mercado Aberto <i>Antonio Francisco de A. da Silva Jr.</i>	Maio/2012
279	Going Deeper Into the Link Between the Labour Market and Inflation <i>Tito Nícias Teixeira da Silva Filho</i>	May/2012
280	Educação Financeira para um Brasil Sustentável Evidências da necessidade de atuação do Banco Central do Brasil em educação financeira para o cumprimento de sua missão <i>Fabio de Almeida Lopes Araújo e Marcos Aguerri Pimenta de Souza</i>	Jun/2012

281	A Note on Particle Filters Applied to DSGE Models <i>Angelo Marsiglia Fasolo</i>	Jun/2012
282	The Signaling Effect of Exchange Rates: pass-through under dispersed information <i>Waldyr Areosa and Marta Areosa</i>	Jun/2012
283	The Impact of Market Power at Bank Level in Risk-taking: the Brazilian case <i>Benjamin Miranda Tabak, Guilherme Maia Rodrigues Gomes and Maurício da Silva Medeiros Júnior</i>	Jun/2012
284	On the Welfare Costs of Business-Cycle Fluctuations and Economic-Growth Variation in the 20th Century <i>Osmani Teixeira de Carvalho Guillén, João Victor Issler and Afonso Arinos de Mello Franco-Neto</i>	Jul/2012
285	Asset Prices and Monetary Policy – A Sticky-Dispersed Information Model <i>Marta Areosa and Waldyr Areosa</i>	Jul/2012
286	Information (in) Chains: information transmission through production chains <i>Waldyr Areosa and Marta Areosa</i>	Jul/2012
287	Some Financial Stability Indicators for Brazil <i>Adriana Soares Sales, Waldyr D. Areosa and Marta B. M. Areosa</i>	Jul/2012
288	Forecasting Bond Yields with Segmented Term Structure Models <i>Caio Almeida, Axel Simonsen and José Vicente</i>	Jul/2012
289	Financial Stability in Brazil <i>Luiz A. Pereira da Silva, Adriana Soares Sales and Wagner Piazza Gaglianone</i>	Aug/2012
290	Sailing through the Global Financial Storm: Brazil's recent experience with monetary and macroprudential policies to lean against the financial cycle and deal with systemic risks <i>Luiz Awazu Pereira da Silva and Ricardo Eyer Harris</i>	Aug/2012
291	O Desempenho Recente da Política Monetária Brasileira sob a Ótica da Modelagem DSGE <i>Bruno Freitas Boynard de Vasconcelos e José Angelo Divino</i>	Set/2012
292	Coping with a Complex Global Environment: a Brazilian perspective on emerging market issues <i>Adriana Soares Sales and João Barata Ribeiro Blanco Barroso</i>	Oct/2012
293	Contagion in CDS, Banking and Equity Markets <i>Rodrigo César de Castro Miranda, Benjamin Miranda Tabak and Mauricio Medeiros Junior</i>	Oct/2012
294	Pesquisa de Estabilidade Financeira do Banco Central do Brasil <i>Solange Maria Guerra, Benjamin Miranda Tabak e Rodrigo César de Castro Miranda</i>	Out/2012
295	The External Finance Premium in Brazil: empirical analyses using state space models <i>Fernando Nascimento de Oliveira</i>	Oct/2012

- 296 Uma Avaliação dos Recolhimentos Compulsórios** Out/2012
Leonardo S. Alencar, Tony Takeda, Bruno S. Martins e Paulo Evandro Dawid
- 297 Avaliando a Volatilidade Diária dos Ativos: a hora da negociação importa?** Nov/2012
José Valentim Machado Vicente, Gustavo Silva Araújo, Paula Baião Fisher de Castro e Felipe Noronha Tavares
- 298 Atuação de Bancos Estrangeiros no Brasil: mercado de crédito e de derivativos de 2005 a 2011** Nov/2012
Raquel de Freitas Oliveira, Rafael Felipe Schiozer e Sérgio Leão
- 299 Local Market Structure and Bank Competition: evidence from the Brazilian auto loan market** Nov/2012
Bruno Martins