

Modelo de defasagem distribuída polinomial para teste de estresse do sistema financeiro no Brasil

NATÁLIA CORDEIRO ZANIBONI

USP - Universidade de São Paulo
nzaniboni@usp.br

ALESSANDRA DE AVILA MONTINI

USP - Universidade de São Paulo
amontini@usp.br

ÁREA TEMÁTICA: Finanças, Crédito e Análise Setorial.

MODELO DE DEFASAGEM DISTRIBUÍDA POLINOMIAL PARA TESTE DE ESTRESSE DO SISTEMA FINANCEIRO NO BRASIL

RESUMO

A literatura sobre testes de estresse vem crescendo substancialmente nos últimos anos devido à importância destes exercícios, destacada pela recente crise financeira do *subprime* e a sequência de falências bancárias em muitos países. Esta recente recessão global impactou fortemente nos mercados emergentes, demonstrando a maior importância dos testes nestes mercados. Os estudos sobre testes de estresse focam na identificação das vulnerabilidades do sistema financeiro, e os modelos mais utilizados geralmente não consideram a defasagem dos efeitos das variáveis econômicas, pois a mudança em uma variável tem efeito distribuído em um período posterior. Para cobrir esta lacuna na literatura, este trabalho teve como objetivo propor um modelo de defasagem distribuída polinomial para estimar esta relação entre as perdas dos bancos com risco de crédito e fatores macroeconômicos. Uma aplicação no sistema financeiro do Brasil no período de 2004 a 2012 foi feita para comparar o modelo proposto aos modelos mais utilizados. Foram utilizadas variáveis explicativas macroeconômicas comumente adotadas na literatura, como taxa de juros, produção industrial, PIB e índice Ibovespa. O modelo de defasagem distribuída polinomial apresentou menor soma dos quadrados dos erros, indicando que é um modelo mais apropriado.

ABSTRACT

The literature on stress testing has grown substantially in recent years due to the importance of these exercises, highlighted by the recent subprime crisis and bank failures in many countries. This recent global recession strongly impacted emerging markets, demonstrating the importance of stress testing at these markets. Studies on stress tests focus on identifying the financial system vulnerabilities, and most commonly used models do not consider the delay of the economic variables effects, because the change in one variable has a distributed effect in a posterior period. To cover this gap in the literature, this paper aimed to propose a polynomial distributed lag model to estimate the relationship between the credit risk losses and macroeconomic factors. An application in Brazil's financial system from 2004 to 2012 was made to compare the proposed model to the most used models. Macroeconomic explanatory variables commonly adopted in the literature were used, such as interest rate, industrial production, GDP and Ibovespa index. The polynomial distributed lag model showed lower sum of squared errors, indicating that it is a more appropriate model.

Palavras-Chave: Risco de crédito, teste de estresse, modelo de defasagem distribuída polinomial.

1. INTRODUÇÃO

A literatura sobre testes de estresse do sistema financeiro vem crescendo substancialmente nos últimos anos devido à importância destes exercícios, destacada pela recente crise financeira do *subprime* e a sequência de falências bancárias em muitos países. A compreensão da vulnerabilidade das instituições financeiras a cenários macroeconômicos adversos é essencial para a correta avaliação do risco sistêmico e para regulação e supervisão do setor bancário. A recente crise também demonstrou que o teste de estresse pode servir como uma ferramenta para restaurar a confiança nos sistemas financeiros, aumentando a transparência e reduzindo a incerteza do mercado (FUNGÁČOVÁ; JAKUBÍK, 2013).

Testes de estresse vêm sendo aplicados por instituições financeiras desde 1990. O Acordo de Basileia 2¹ recomendou o uso de testes de estresse e os FSAPs (*financial sector assesment programs*) indicaram o uso de ferramentas quantitativas para estes testes. Testes de estresse podem ser executados em um nível micro, avaliando a sensibilidade de carteiras de instituições financeiras para gestão de riscos interna, ou em um nível macro, do sistema financeiro como um todo. O objetivo do teste de estresse macro é ajudar órgãos reguladores a identificar vulnerabilidades no sistema financeiro que podem causar problemas a este sistema (SORGE; VIROLAINEN, 2006).

A recente recessão econômica global (crise *subprime*) foi, em grande parte, gerada nas economias avançadas, porém impactou fortemente nos mercados emergentes. Instituições financeiras de economias emergentes com fortes ligações com o sistema financeiro internacional sentiram de maneira severa o ambiente macroeconômico adverso, principalmente devido à maior volatilidade do crescimento do crédito (FUNGÁČOVÁ; JAKUBÍK, 2013). Esse contexto demonstra a maior importância dos testes de estresse nos mercados emergentes.

A literatura em teste de estresse foca na identificação das vulnerabilidades do sistema financeiro, examinando a relação entre as perdas dos bancos com risco de crédito e fatores macroeconômicos (VAZQUEZ *et al.*, 2012). A maior parte dos trabalhos utiliza uma das seguintes metodologias nessa identificação: dados em painel, modelos de séries temporais e modelos de regressão linear. Porém, segundo Gujarati (2006), a mudança em uma variável raramente afeta outra instantaneamente, e esse efeito é distribuído ao longo de um período posterior à mudança. Este efeito não é capturado pelos modelos mais utilizados.

2. PROBLEMA DE PESQUISA E OBJETIVO

A mudança em um fator dificilmente afeta outros fatores de forma instantânea. Além disso, o efeito de uma variável pode se distribuir ao longo de vários períodos posteriores a essa mudança (GUJARATI, 2006). Os modelos mais comumente utilizados para identificar as vulnerabilidades do sistema financeiro em testes de estresse não necessariamente consideram esta particularidade. Para cobrir esta lacuna na literatura, este trabalho teve como objetivo propor um modelo de defasagem distribuída polinomial para verificar a relação entre as perdas dos bancos com risco de crédito e fatores macroeconômicos. Este modelo considera defasagens no efeito das variáveis macroeconômicas nas perdas financeiras. Uma aplicação no sistema financeiro do Brasil, utilizando o período de 2004 a 2012, indicou que este modelo foi mais adequado para prever estas perdas comparado aos modelos mais comumente utilizados.

¹ International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards: A Revised Framework, formulado pelo Comitê de Basileia

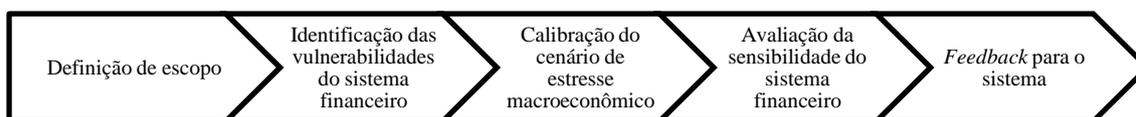
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os primeiros trabalhos que estudaram o risco de crédito em cenários macroeconômicos adversos foram publicados por Wilson (1998). Desde então, diversos estudos têm aplicado ferramentas de teste de estresse para avaliar a vulnerabilidade de sistemas bancários em cenários macroeconômicos adversos (END, VAN DEN *et al.*, 2006; KALIRAI; SCHEICHER, 2002; SCHECHTMAN; GAGLIANONE, 2012; SORGE; VIROLAINEN, 2006; VIROLAINEN, 2004; VLIEGHE, 2001).

Um teste de estresse macro pode ser definido como a avaliação da exposição a risco de uma ou um grupo de instituições financeiras em um cenário de estresse, porém plausível. O objetivo destes testes é fazer com que os riscos sejam mais compreensíveis, identificando as potenciais perdas de uma dada carteira em situação econômica anormal. Essa ferramenta é utilizada por instituições financeiras em seus sistemas de gestão, geralmente para gestão do risco de crédito, para tomada de decisão em tolerância a riscos e de alocação de capital.

A Figura 1 apresenta uma visão geral dos passos para construção de um teste de estresse. O primeiro passo é a definição de escopo, em que a instituição ou o órgão regulador necessita definir qual tipo de risco (crédito, mercado, etc.) e qual carteira será submetida ao teste. O segundo passo é a identificação das vulnerabilidades do sistema financeiro, em que captura-se as relações entre fatores macroeconômicos e a medida de risco utilizada. O terceiro passo é a calibração do cenário de estresse, em que são quantificados os fatores macroeconômicos de modo que indiquem um cenário adverso e plausível. O próximo passo é a aplicação dos modelos construídos anteriormente, verificando qual o impacto do cenário obtido no balanço das instituições. O último passo é o *feedback* para o sistema (SORGE; VIROLAINEN, 2006; VAZQUEZ *et al.*, 2012).

Figura 1 - Visão geral de um teste de estresse



A maior parte dos estudos relacionados a testes de estresse foca na identificação das vulnerabilidades do sistema financeiro, examinando a relação entre as perdas dos bancos com risco de crédito e fatores macroeconômicos (VAZQUEZ *et al.*, 2012). Este trabalho foca nas metodologias utilizadas para este passo do teste de estresse.

Vlieghe (2001) estudou a relação entre variáveis macroeconômicas e falências de empresas no Reino Unido com objetivo de realizar testes de estresse. O modelo de vetores autorregressivos foi utilizado. A base de dados utilizada abrangeu os períodos de 1975 a 1999.

Kalirai e Scheicher (2002) utilizaram dados da provisão para perdas de crédito dos bancos da Áustria. Os dados foram coletados trimestralmente entre 1990 e 2001, e a regressão linear múltipla com estimadores de mínimos quadrados ordinários foi utilizada para estimar a relação entre as provisões e variáveis macroeconômicas.

Hoggarth *et al.* (2005) utilizaram um modelo de vetores autorregressivos em dados trimestrais de 1988 a 2004 no setor bancário do Reino Unido para indicar que o PIB (utilizado na forma de desvio entre o real e o esperado para o trimestre), a inflação de preços no varejo e a taxa de juros de curto prazo afetam os valores de prejuízo com crédito no setor bancário.

Sorge e Virolainen (2006) explicam, categorizam e exemplificam metodologias chave de testes de estresse com foco em risco de crédito, que é o risco mais significativo para instituições financeiras. Os autores identificaram duas abordagens metodológicas para testes de estresse macro: (i) Modelos de balanço, que exploram a relação entre indicadores contábeis de risco de crédito (como inadimplência ou provisão) e o ciclo econômico por meio de séries temporais ou dados em painel e (ii) Modelos VaR, que combinam a análise de múltiplos fatores de risco em uma distribuição de probabilidade de perdas que o sistema bancário poderia enfrentar sob um cenário de estresse. Para cada abordagem, foi estimado um modelo utilizando dados da Finlândia para o período de 1986 a 2003. Finalmente, os autores destacam desafios metodológicos que precisam ser superados. Indicam que as metodologias existentes não levam em consideração a correlação entre riscos no tempo e entre instituições e o pequeno histórico de informações que as instituições têm como base de dados.

Misina *et al.* (2006) investigaram perdas em carteiras de crédito no setor bancário do Canadá por meio de testes de estresse. A base de dados foi composta por empresas dos setores de hotelaria, construção, indústria e varejo no período de 1987 a 2005. Por meio de um modelo de vetores autorregressivos, a taxa de falências das empresas do setor foi estimada com base nas variáveis macroeconômicas PIB canadense, taxa de juros real, preço de matérias primas, PIB norte-americano e taxa de juros norte-americana.

Van Den End *et al.* (2006) utilizaram dados anuais de bancos, entre 1990 e 2004, para indicar que PIB e a diferença entre taxa de juros de longo prazo e curto prazo afetam a taxa de descumprimento dos clientes do sistema bancário, tanto mundialmente quanto na Holanda. Dados em painel com efeitos fixos foram utilizados para estimar esta relação.

Santos (2008) desenvolveu um modelo para teste de estresse no Brasil utilizando informações do Banco Central do Brasil, do Sistema de Informações de Crédito e do Valor Econômico para o período de 2002 a 2007. Em sua primeira etapa, ou seja, a identificação de variáveis macroeconômicas que afetam a classificação do risco das operações de crédito, foi estimado um modelo de vetores autorregressivos.

Lu e Yang (2012) construíram um modelo de teste de estresse com percentual de contratos em atraso maior que 90 dias como variável resposta. Os dados foram fornecidos pelo Banco de Agricultura da China para o período de 2004 a 2010. Através de um modelo de vetores autorregressivos, crescimento do PIB, inflação, preços do mercado imobiliário e crescimento monetário do país foram as variáveis macroeconômicas significativas.

Januzzi *et al.* (2012) comparam dois métodos para estimação do fluxo de caixa em risco (CF@R): o modelo autorregressivo integrado com médias móveis (ARIMA) e o método de vetores autorregressivos com mecanismo de correção de erros (VAR/VECM) com variáveis exógenas. Os modelos foram avaliados por meio do *backtesting* das estimativas e da geração de cenários de stress. A aplicação dos modelos foi realizada em empresas distribuidoras de energia do setor elétrico brasileiro.

Vazquez *et al.* (2012) propuseram um modelo para testes de estresse macro baseado em análise de cenários. Encontraram relação negativa entre o crescimento do PIB e a inadimplência de uma instituição financeira no Brasil, além de uma relação entre a qualidade de crédito e os tipos de empréstimos, indicando que a falta de granularidade em testes de estresse macro deixa de capturar este efeito. O modelo proposto contém três módulos independentes e sequenciais: o primeiro utiliza um modelo de séries temporais para estimar a relação entre economia e inadimplência, o segundo utiliza dados em painel com os tipos de empréstimos como instrumento e o terceiro módulo usa a previsão da inadimplência

combinada com informações das exposições e concentração de tipos de empréstimos para estimar as perdas de crédito usando um modelo VaR.

Jokivuolle e Virén (2013) apresentam um modelo empírico baseado em variáveis macroeconômicas para empréstimos bancários a grandes empresas. O modelo capta a relação positiva entre a probabilidade de descumprimento (PD) e perda dado o descumprimento (LGD) e o movimento contra-cíclico com o ciclo econômico. Foi utilizado um modelo de duas equações para PD e LGD que é estimado com dados de séries temporais de 1989 a 2008 na Finlândia.

A Tabela 1 apresenta um resumo dos autores que propuseram modelos para identificar as vulnerabilidades do sistema financeiro a mudanças na economia e as metodologias utilizadas.

Tabela 1 – Principais metodologias de modelagem em testes de estresse

Dados em painel			Séries Temporais	Regressão Linear
Países	Instituições financeiras	Tipos de empréstimos		
(BIKKER; HU, 2001) (CAVALLO; MAJNONI, 2002) (LAEVEN; MAJNONI, 2002)	(SALAS; SAURINA, 2002) (QUAGLIARIELLO, 2004) (END, VAN DEN <i>et al.</i> , 2006)	(VAZQUEZ <i>et al.</i> , 2012)	(VLIEGHE, 2001) (KALIRAI; SCHEICHER, 2002) (VIROLAINEN, 2004) (HOGGARTH <i>et al.</i> , 2005) (HANSCHER; MONNIN, 2005) (MISINA <i>et al.</i> , 2006) (SANTOS, T., 2008) (VAZQUEZ <i>et al.</i> , 2012) (JANUZZI <i>et al.</i> , 2012) (LU; YANG, 2012)	(KOENKER; XIAO, 2002) (KALIRAI; SCHEICHER, 2002) (FUNGÁČOVÁ; JAKUBÍK, 2013)

Os modelos apresentados tem a vantagem de ser intuitivos, necessitam de pequena capacidade computacional e utilizam uma caracterização ampla do cenário macroeconômico. Tem as desvantagens de utilizar funções lineares que não costumam ser adequadas e são instáveis com previsões para um longo horizonte de tempo (SORGE; VIROLAINEN, 2006). O modelo de dados em painel não consegue explorar bem as variações de tipos de empréstimos dentro de uma instituição financeira, possivelmente por restrições em bases de dados. O modelo de séries temporais tem capacidade limitada para avaliar as condições financeiras de cada instituição ou carteira de crédito, que são muitas vezes o foco da análise. O modelo de

regressão linear tem a desvantagem de desconsiderar a evolução da inadimplência ao longo do tempo (VAZQUEZ *et al.*, 2012).

Muitos autores têm usado modelos de defasagem distribuída polinomial para explicar efeitos em séries de tempo, como alternativa aos modelos anteriormente citados, pois consideram os efeitos defasados e subsequentes ao longo do tempo (GUJARATI, 2006). No campo da economia, o modelo foi proposto por Almon (1965) para prever o efeito de apropriações de capital e gastos da indústria. Outros trabalhos que aplicaram estes modelos estudaram o efeito do estoque de dinheiro na taxa de câmbio na Alemanha (FRENKEL, 1976), das taxas de câmbio nas exportações dos Estados Unidos para o Canadá e Japão (SUKAR; ZOUBI, 1996), das regulações ambientais em inovações tecnológicas no México (MANAGI *et al.*, 2005), de notícias macroeconômicas no preço de um título de dez anos do Tesouro Americano (VEREDAS, 2006), da formação de novos negócios no crescimento do emprego na Espanha (CAROD *et al.*, 2008), de investimento, gastos do governo, inflação e consumo no crescimento econômico (PIB) de Camarões (FOUDA, 2010).

No Brasil, trabalhos estudaram o efeito da taxa de câmbio em exportações (DUTRA *et al.*, 2014; INFRAN *et al.*, 2014; MARQUES *et al.*, 2014; SILVEIRA, GIOVANI SILVEIRA DA *et al.*, 2010), de períodos de crise nas volatilidades dos retornos das ações do índice BOVESPA (SANTOS; ZIEGELMANN, 2012) e de investimento destinado a pesquisas acadêmicas na criação de patentes (REZENDE *et al.*, 2013) por meio destes modelos.

4. METODOLOGIA

4.1 Base de dados

A base de dados utilizada foi selecionada a partir do sistema de séries temporais do Banco Central do Brasil. O período utilizado foi 2004 a 2012 (último mês disponível da variável inadimplência, variável resposta do modelo), sendo que o período de 2004 a 2011 foi utilizado como período de modelagem e o ano de 2012 foi utilizado como período de validação fora do tempo (performance).

As variáveis explicativas foram selecionadas com base na literatura dos modelos de teste de estresse, e foram: taxa de juros (FANG-YING, 2011; HOGGARTH *et al.*, 2005; JOKIVUOLLE; VIRÉN, 2013; KALIRAI; SCHEICHER, 2002; SANTOS, T., 2008; SORGE; VIROLAINEN, 2006; Vlieghe, 2001), produção industrial (KALIRAI; SCHEICHER, 2002; MISINA *et al.*, 2006), PIB (BUNN *et al.*, 2005; FANG-YING, 2011; FUNGÁČOVÁ; JAKUBÍK, 2013; HOGGARTH *et al.*, 2005; SANTOS, T., 2008; SORGE; VIROLAINEN, 2006; Vlieghe, 2001) e o índice Ibovespa de ações (HANSCHER; MONNIN, 2005; KALIRAI; SCHEICHER, 2002).

A variável resposta do modelo, a inadimplência, é definida como a relação entre o saldo em atraso superior a noventa dias dos contratos de crédito sobre o saldo de todos os contratos na data base. Abrange todas as operações de empréstimo, financiamento, adiantamento e arrendamento mercantil, concedidas pelas instituições integrantes do sistema financeiro nacional. A apuração é feita pelo Depec, departamento econômico do Banco Central do Brasil. A série está disponível no site do Banco Central de Março de 2000 a Dezembro de 2012.

4.2 Modelo de defasagem distribuída polinomial

O modelo de defasagem distribuída polinomial, também chamado de modelo de Shirley Almon, estima modelos de regressão para base de dados em formato de série de tempo em que os efeitos das variáveis explicativas são distribuídos ao longo do tempo. Neste modelo, a mudança de uma variável explicativa X no tempo t afeta uma variável resposta Y de forma imediata no tempo t e também com efeitos defasados nos tempos $t + 1$, $t + 2$ até $t + p$ para um limite de tempo p (GUJARATI, 2006). O modelo é apresentado pela expressão (1):

$$Y_t = \alpha + \beta_0 X_t + \beta_1 X_{t-1} \dots + \beta_p X_{t-p} + \varepsilon_t, \quad (1)$$

em que Y_t é a variável resposta, a inadimplência do sistema financeiro, no tempo t , p é o limite de tempo de influência da variável X , X_{t-p} é a variável explicativa X no tempo $t-p$, β_p é o coeficiente estimado para a variável explicativa X_{t-p} .

Os coeficientes β_p podem ser estimados por meio de um polinômio de segundo grau apresentado na expressão (2):

$$\beta_p = \alpha_0 + \alpha_1 p + \alpha_2 p^2, \quad (2)$$

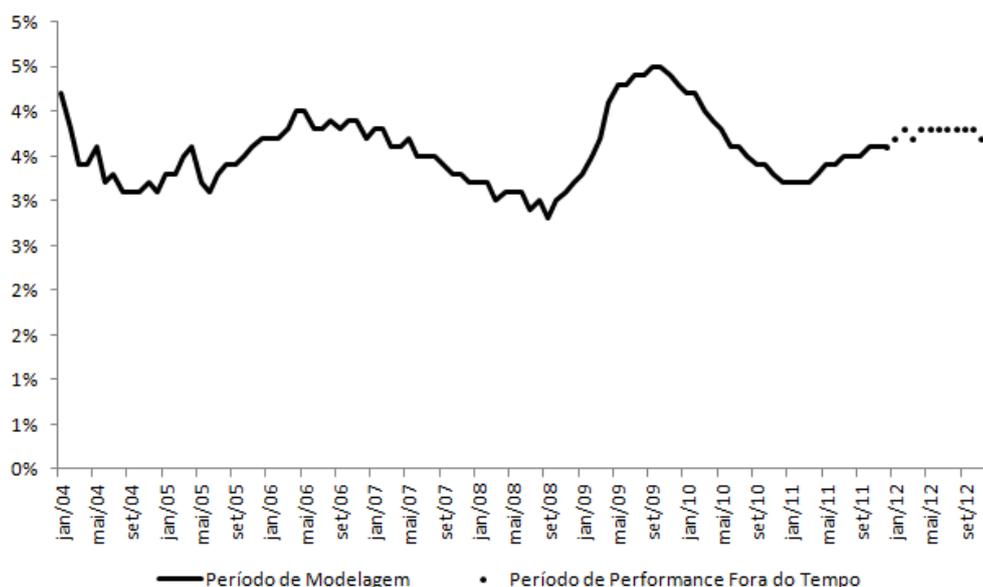
Esta forma de estimação dos coeficientes β faz com que seus valores aumentam inicialmente e depois declinam no tempo, indicando que a influência da variável macroeconômica explicativa sobre a inadimplência é pequena no momento presente, cresce com o tempo e depois há um ponto de inflexão que este efeito começa a diminuir (GUJARATI, 2006).

Este modelo proposto será comparado aos modelos mais comumente utilizados (regressão linear, dados em painel e séries temporais) por meio da soma dos quadrados dos erros para um período de performance (2012).

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O Gráfico 1 apresenta a evolução da variável resposta, a inadimplência, para o período de 2004 a 2012. Nota-se uma elevação da inadimplência no período de Setembro de 2008 a Dezembro de 2009, período caracterizado por uma crise financeira mundial, denominada crise do *subprime*. Esta crise foi desencadeada a partir da quebra de instituições financeiras dos Estados Unidos devido à inadimplência de empréstimos hipotecários de alto risco. Os modelos foram estimados utilizando o período de 2004 a 2011 (período de modelagem). O ano de 2012 será considerado como período de performance para comparação dos modelos obtidos.

Gráfico 1 – Evolução da inadimplência do sistema financeiro no Brasil



O modelo proposto por este trabalho foi o modelo de defasagem distribuída polinomial, estimado por meio do PROC PDLREG do software SAS. O modelo é apresentado na Tabela 2, possui um R^2 de 50,58% e não apresenta ruído branco. Nota-se que a taxa de juros CDI e o PIB afetam a inadimplência de forma defasada, sendo que a taxa de juros afeta a inadimplência com até quatro meses de defasagem, sendo que afeta negativamente no mês de referência e nos dois meses seguintes e positivamente no terceiro e quarto mês posterior ao mês de referência. Nos primeiros meses, uma baixa taxa de juros pode acarretar um aumento da inflação, que pode causar um menor poder aquisitivo das famílias, comprometendo mais sua renda e aumentando a inadimplência (END, VAN DEN *et al.*, 2006; PESARAN *et al.*, 2005). Posteriormente, o aumento da taxa de juros encarece os empréstimos e os atrasos aumentam (SCHECHTMAN; GAGLIANONE, 2012).

A outra variável do modelo, o PIB, afeta a inadimplência com até três meses de defasagem, sendo que afeta positivamente no mês de referência e no mês seguinte e negativamente no segundo e terceiro mês posterior ao mês de referência. No início, um aumento do PIB indica um aumento também da disponibilidade de crédito, mais fácil é o acesso ao crédito, maior a propensão a inadimplência, pois empréstimos de maior risco podem ser aprovados (SAGNER, 2012). Posteriormente, um alto PIB indica melhor desenvolvimento econômico, começa a afetar e aumentar o lucro das empresas e há uma maior capacidade de pagamento das pessoas físicas e jurídicas (LU; YANG, 2012).

Tabela 2 – Modelo de Defasagem Distribuída Polinomial

Variável	Coefficiente	Estatística t	Nível Descritivo
Intercepto	3,9706	12,98	<0,0001
4392 - Taxa de juros CDI acumulada no mês anualizada (0)	-0,1833	-8,84	<0,0001
4392 - Taxa de juros CDI acumulada no mês anualizada (1)	-0,0949	-9,20	<0,0001
4392 - Taxa de juros CDI acumulada no mês anualizada (2)	-0,0066	-2,25	0,0271

4392 - Taxa de juros CDI acumulada no mês anualizada (3)	0,0817	7,01	<0,0001
4392 - Taxa de juros CDI acumulada no mês anualizada (4)	0,1700	7,70	<0,0001
4192 - PIB acumulado nos últimos 12 meses (0)	0,0013	2,31	0,0231
4192 - PIB acumulado nos últimos 12 meses (1)	0,0004	2,21	0,0295
4192 - PIB acumulado nos últimos 12 meses (2)	-0,0004	-2,47	0,0153
4192 - PIB acumulado nos últimos 12 meses (3)	-0,0001	-2,40	0,0185

O segundo modelo estimado foi o modelo de regressão linear múltipla, e é apresentado na Tabela 3. As variáveis taxa de juros Selic acumulada no mês (anualizada em % a.a.), produção industrial (Sudeste) e o PIB acumulado dos últimos 12 meses foram significativas para prever a inadimplência do sistema financeiro no Brasil, sendo que: (i) quanto maior a taxa de juros, menor a inadimplência. Uma baixa taxa de juros pode acarretar um aumento da inflação, que pode causar um menor poder aquisitivo das famílias, comprometendo mais sua renda e aumentando a inadimplência (END, VAN DEN *et al.*, 2006; PESARAN *et al.*, 2005); (ii) quanto maior a produção industrial, maior a atividade econômica e menor a inadimplência (KALIRAI; SCHEICHER, 2002; MISINA *et al.*, 2006) e (iii) quanto maior o PIB, menor a inadimplência, também indicando maior atividade do país (FANG-YING, 2011; FUNGÁČOVÁ; JAKUBÍK, 2013).

Tabela 3 – Modelo de Regressão Linear

Variável	Coefficiente	Estatística t	Nível Descritivo
Intercepto	3,5624	98,44	<0,0001
4189 - Taxa de juros - Selic acumulada no mês anualizada	-0,3038	-5,51	<0,0001
13609 - Produção Industrial (2002=100) – Sudeste	-0,1143	-2,59	0,0112
4190 - PIB acumulado dos últimos 12 meses - Valorizado pelo IGP-DI do mês	-0,1557	-2,37	0,0196

O terceiro modelo foi o modelo de séries temporais ARIMA com variáveis explicativas, apresentado na Tabela 4. As variáveis índice Ibovespa e o PIB foram significativas para explicar a inadimplência, sendo que (i) quanto maior o índice Ibovespa, maior a inadimplência (HANSCHEL; MONNIN, 2005; KALIRAI; SCHEICHER, 2002) e (ii) quanto maior o PIB, menor a inadimplência.

Tabela 4 – Modelo de Séries Temporais

Variável	Coefficiente	Estatística t	Nível Descritivo
Intercepto	-0,0012	-0,04	0,9721
AR(3)	0,8982	9,02	<0,0001
MA(3)	0,9852	17,12	<0,0001
7832 - Ibovespa - Variação percentual mensal	0,0081	2,64	0,0097
4190 - PIB acumulado dos últimos 12 meses - Valorizado pelo IGP-DI do mês (1ª diferença)	-0,0001	-4,26	<0,0001

O quarto modelo estimado foi o modelo de dados em painel com efeitos fixos. A inadimplência, variável resposta, foi dividida por tipo de instituição (END, VAN DEN *et al.*, 2006; QUAGLIARIELLO, 2004; SALAS; SAURINA, 2002), sendo divididas por instituições financeiras públicas e privadas. O modelo é apresentado na Tabela 5, e nota-se que as variáveis taxa de juros e produção industrial foram significativas, sendo que (i) quanto maior a taxa de juros, menor a inadimplência. Uma baixa taxa de juros pode acarretar um aumento da inflação, que pode causar um menor poder aquisitivo das famílias, comprometendo mais sua renda e aumentando a inadimplência (END, VAN DEN *et al.*, 2006; PESARAN *et al.*, 2005) e (ii) quanto maior a produção industrial, maior a atividade econômica e menor a inadimplência (KALIRAI; SCHEICHER, 2002; MISINA *et al.*, 2006).

Tabela 5 – Modelo de Dados em Painel

Variável	Coefficiente	Estatística t	Nível Descritivo
Efeito fixo – Instituição financeira privada	1,6383	22,10	<0,0001
Intercepto	4,8757	9,03	<0,0001
4189 - Taxa de juros - Selic acumulada no mês anualizada	-0,0223	-1,66	0,0989
13609 - Produção Industrial (2002=100) – Sudeste	-0,0158	-4,57	<0,0001

A Tabela 6 apresenta a soma dos quadrados dos erros dos modelos para o período de performance (Janeiro de 2012 a Dezembro de 2012). Nota-se que o modelo proposto apresentou menor soma dos quadrados dos erros para este período, mostrando-se mais adequado para previsão da inadimplência em testes de estresse que os modelos mais utilizados na literatura.

Tabela 6 – Soma dos quadrados dos erros dos modelos

Modelo	Soma dos Quadrados dos Erros
Regressão Linear	0,3475
Séries Temporais	0,6639
Dados em Painel	1,2278
Modelo com defasagem distribuída polinomial	0,0548

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compreensão da vulnerabilidade das instituições financeiras a cenários macroeconômicos adversos é de importância crucial para a correta avaliação do risco sistêmico e para regulação e de supervisão do setor bancário. A recente crise também demonstrou que o teste de estresse pode servir como uma importante ferramenta para restaurar a confiança nos sistemas financeiros, aumentando a transparência e reduzir a incerteza do mercado (FUNGÁČOVÁ; JAKUBÍK, 2013).

A literatura em teste de estresse foca principalmente na identificação das vulnerabilidades do sistema financeiro, examinando a relação entre as perdas dos bancos com risco de crédito e fatores macroeconômicos (VAZQUEZ *et al.*, 2012). A maior parte dos trabalhos utiliza dados em painel, modelos de séries temporais ou modelos de regressão linear como metodologia de estimação. Segundo Gujarati (2006), a mudança em uma variável raramente afeta outra instantaneamente, e estes modelos geralmente não consideram esta particularidade. Para cobrir esta lacuna na literatura, este trabalho tem como objetivo propor um modelo de defasagem distribuída polinomial para verificar a relação entre as perdas dos bancos com risco de crédito e fatores macroeconômicos.

Uma aplicação no sistema financeiro do Brasil, utilizando o período de 2004 a 2012, foi feita para comparar o modelo proposto aos modelos mais comumente utilizados. Foram utilizadas variáveis explicativas macroeconômicas comumente utilizadas na literatura, como taxa de juros (END, VAN DEN *et al.*, 2006; PESARAN *et al.*, 2005), produção industrial (KALIRAI; SCHEICHER, 2002; MISINA *et al.*, 2006), PIB (FANG-YING, 2011; FUNGÁČOVÁ; JAKUBÍK, 2013) e índice Ibovespa (HANSCHER; MONNIN, 2005; KALIRAI; SCHEICHER, 2002). O modelo proposto (modelo de defasagem distribuída polinomial) apresentou menor erro de estimação para o período de performance (Janeiro a Dezembro de 2012), indicando que sua utilização é mais adequada.

Este trabalho tem como limitações o uso de um conjunto relativamente limitado de variáveis explicativas, além de considerar até o ano de 2012, pois neste ano o Banco Central do Brasil alterou a metodologia de mensuração da inadimplência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMON, S. The Distributed Lag Between Capital Appropriations and Expenditures. *Econometrica*, v. 33, n. 1, p. 178-196, 1965.
- BIKKER, J. A.; HU, H. **Cyclical patterns in profits, provisioning and lending of banks and procyclicality of the new Basel capital requirements**. Working Paper n°39, The Nederlandsche Bank. Amsterdam, 2001.
- BONFIM, D. Credit risk drivers: Evaluating the contribution of firm level information and of macroeconomic dynamics. *Journal of Banking & Finance*, v. 33, n. 2, p. 281-299, 2009.

- BUNN, P.; CUNNINGHAM, A.; DREHMANN, M. Stress testing as a tool for assessing systemic risk. **Bank of England Financial Stability Review**, p. 116-126, 2005.
- CAROD, J. M. A.; SOLÍS, D. L.; BOFARULL, M. M. New business formation and employment growth: some evidence for the Spanish manufacturing industry. **Small Business Economics**, v. 30, n. 1, p. 73-84, 2008.
- CASTRO, V. Macroeconomic determinants of the credit risk in the banking system: The case of the GIPSI. **Economic Modelling**, v. 31, p. 672-683, 2013.
- CAVALLO, M.; MAJNONI, G. **Do Banks Provision for Bad Loans in Good Times? Empirical Evidence and Policy Implications**. Rating Agencies and the Global Financial System, 2002.
- DUTRA, A. DE S.; SILVEIRA, GIOVANE SILVEIRA DA; SILVEIRA, C. V. DA. **Taxa de Câmbio e Exportação de Soja no Brasil: Uma Investigação a partir de Modelo de Defasagem Distribuída**. Anais do 12º ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - ENIC, Jaguariúna, 2014.
- END, J. VAN DEN; HOEBERICHTS, M.; TABBAE, M. **Modelling Scenario Analysis and Macro Stress-testing**. Working Paper nº 119, De Nederlandsche Bank, 2006.
- FANG-YING, Y. **The credit risk macro stress testing of the Chinese banking system**. Anais do Chinese Control and Decision Conference (CCDC). Mianyang, China, 2011.
- FOUDA, B. B. **Distributed Lag Models and Economic Growth: Evidence from Cameroon**. Working Paper Université Paris Panthéon-Sorbonne, Paris, 2010.
- FRENKEL, J. A. A Monetary Approach to the Exchange Rate: Doctrinal Aspects and Empirical Evidence. **The Scandinavian Journal of Economics**, v. 78, n. 2, p. 200-224, 1976.
- FUNGÁČOVÁ, Z.; JAKUBÍK, P. Bank Stress Tests as an Information Device for Emerging Markets: The Case of Russia. **Czech Journal of Economics and Finance**, v. 63, n. 1, p. 87-105, 2013.
- GUJARATI, D. **Econometria Básica**. 1. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2006. p. 972.
- HANSCHERL, E.; MONNIN, P. **Measuring and forecasting stress in the banking sector: evidence from Switzerland**. Working Paper nº 22, Bank for International Settlements, 2005.
- HOGGARTH, G.; SORENSEN, S.; ZICCHINO, L. **Stress tests of UK banks using a VAR approach**. Working Paper nº 282, Bank of England, 2005.
- INSFRAN, A. N. S.; SILVEIRA, GIOVANE SILVEIRA DA; SILVEIRA, C. V. DA. **Análise do Efeito da Taxa de Câmbio sobre a Exportação de Carne Bovina**. Anais do 12º ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - ENIC, Jaguariúna, 2014.
- JANUZZI, F. V.; PEROBELLI, F.; BRESSAN, A. A. Aplicação do CF@R e de Cenários de Stress no Gerenciamento de Riscos Corporativos. **Estudos Econômicos**, v. 42, n. 3, p. 545-579, 2012.
- JOKIVUOLLE, E.; VIRÉN, M. Cyclical default and recovery in stress testing loan losses. **Journal of Financial Stability**, v. 9, n. 1, p. 139-149, abr 2013.
- KALIRAI, H.; SCHEICHER, M. **Macroeconomic Stress Testing: Preliminary Evidence for Austria**. Working Paper nº 3, Austrian National Bank, 2002.

- KOENKER, R.; XIAO, Z. Inference on the quantile regression process. **Econometrica**, v. 70, n. 4, p. 1583–1612, 2002.
- LA EVEN, L.; MAJNONI, G. Loan Loss Provisioning and Economic Slowdowns: Too Much, Too Late? **Journal of Financial Intermediation**, v. 12, n. 1, p. 178–197, 2002.
- LU, W.; YANG, Z. Stress Testing of Commercial Banks' Exposure to Credit Risk: A Study Based on Write-off Nonperforming Loans. **Asian Social Science**, v. 8, n. 10, p. 16-22, 29 jul 2012.
- MANAGI, S.; OPALUCH, J. J.; JIN, D.; GRIGALUNAS, T. A. Environmental Regulations and Technological Change in the Offshore Oil and Gas Industry. **Land Economics**, v. 81, n. 2, p. 303-319, 2005.
- MARQUES, A. B. R.; SILVEIRA, GIOVANE SILVEIRA DA; SILVEIRA, C. V. DA. **Efeito da Taxa de Câmbio Sobre a Exportação de Arroz: Uma análise por meio de modelo econométrico dinâmico**. Anais do 12º ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - ENIC, Jaguariúna, 2014.
- MISINA, M.; TESSIER, D.; DEY, S. **Stress Testing the Corporate Loans Portfolio of the Canadian Banking Sector**. Working Paper nº 47, Bank of Canada, 2006.
- PESARAN, M. H.; SCHUERMAN, T.; TREUTLER, J.; WEINER, S. M. **Macroeconomic Dynamics and Credit Risk: A Global Perspective**. Cambridge, 2005.
- QUAGLIARIELLO, M. **Banks' performance over the business cycle: evidence from Italy**. Forum on Stress Tests, Bank of England, 2004.
- REZENDE, A. A. DE; CORRÊA, C. R.; DANIEL, L. P. Os impactos da política de inovação tecnológica nas universidades federais - uma análise das instituições mineiras. **Revista de Economia e Administração**, v. 12, n. 1, p. 100-131, 2013.
- SAGNER, A. EL INFLUJO DE CARTERA VENCIDA COMO MEDIDA DE RIESGO DE CREDITO: ANALISIS Y APLICACION. **Revista de Análisis Económico**, v. 27, n. 1, p. 27-54, 2012.
- SALAS, V.; SAURINA, J. Credit Risk in Two Institutional Regimes : Spanish Commercial and Savings Banks. **Journal of Financial Services Research**, v. 22, n. 3, p. 203-224, 2002.
- SANTOS, D. G. DOS; ZIEGELMANN, F. A. Estimção e Previsão de Volatilidade em Períodos de Crise: Um Estudo Comparando Modelos GARCH e Modelos Aditivos Semi-Paramétricos. **Revista Brasileira de Finanças**, v. 10, n. 1, p. 49-70, 2012.
- SANTOS, T. **Testes de Stress em Sistemas Financeiros: Uma aplicação no Brasil**. 2008. Dissertação (Mestrado em Teoria Econômica) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12138/tde-30062008-144144/>>. Acesso em: 2015-07-18.
- SCHECHTMAN, R.; GAGLIANONE, W. P. Macro stress testing of credit risk focused on the tails. **Journal of Financial Stability**, v. 8, n. 3, p. 174-192, set 2012.
- SILVEIRA, GIOVANI SILVEIRA DA; PIRES, M. A. P.; ZAMBERLAN, C. O.; NISHI, J. M. **Taxa Real de Câmbio e os efeitos nas exportações agropecuárias: uma análise no período do Plano Real**. Anais 48º Congresso da SOBER, Campo Grande, MS, 2010.

- SORGE, M.; VIROLAINEN, K. A comparative analysis of macro stress-testing methodologies with application to Finland. **Journal of Financial Stability**, v. 2, n. 2, p. 113-151, jun 2006.
- SUKAR, A.; ZOUBI, T. A. Real exchange rates and US bilateral trade. **Journal of Applied Business Research**, v. 4, n. 12, p. 138-144, 1996.
- VAZQUEZ, F.; TABAK, B. M.; SOUTO, M. A macro stress test model of credit risk for the Brazilian banking sector. **Journal of Financial Stability**, v. 8, n. 2, p. 69-83, abr 2012.
- VEREDAS, D. Macroeconomic surprises and short-term behaviour in bond futures. **Empirical Economics**, v. 30, n. 4, p. 843-866, 2006.
- VIROLAINEN, K. **Macro stress testing with a macroeconomic credit risk model for Finland**. Working Paper n° 18, Bank of Finland, 2004.
- VLIEGHE, G. W. **Indicators of fragility in the UK corporate sector**. Working Paper n° 146, Bank of England, 2001.
- WILSON, T. C. Portfolio Credit Risk. **Economic Policy Review**, v. 4, n. 3, p. 71-82, 1998.