

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ECONOMIA

MATHEUS MAURICIO COSTA DO PATROCINIO

**CORRELAÇÃO CONDICIONAL DINÂMICA ENTRE AS TRANSFERÊNCIAS PIX
E A ATIVIDADE ECONÔMICA NO BRASIL: EVIDÊNCIA DE UM MODELO DCC-
GARCH**

JUIZ DE FORA - MG
2022

MATHEUS MAURICIO COSTA DO PATROCINIO

**CORRELAÇÃO CONDICIONAL DINÂMICA ENTRE AS TRANSFERÊNCIAS PIX
E A ATIVIDADE ECONÔMICA NO BRASIL: EVIDÊNCIA DE UM MODELO DCC-
GARCH**

Monografia apresentada ao curso de Ciências
Econômicas da Universidade Federal de Juiz de
Fora, como requisito à obtenção do título de
bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Sidney Martins Caetano

JUIZ DE FORA - MG
2022

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Patrocínio, Matheus Mauricio Costa do.

Correlação condicional dinâmica entre as transferências Pix e a atividade econômica no Brasil : Evidência de um modelo DCC-GARCH / Matheus Mauricio Costa do Patrocínio. -- 2022. 45 f. : il.

Orientador: Sidney Martins Caetano
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Economia, 2022.

1. Pix. 2. Atividade econômica. 3. IDAT. 4. DCC-GARCH. I. Caetano, Sidney Martins, orient. II. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
REITORIA - FACECON - Depto. de Economia

ATA DE APROVAÇÃO DE MONOGRAFIA II (MONO B)

Na data de 11/08/2022, a Banca Examinadora, composta pelos professores

1 - Sidney Martins Caetano - orientador; e

2 - Rogério Silva de Mattos,

reuniram-se para avaliar a monografia do acadêmico Matheus Maurício Costa do Patrocínio, intitulada: Correlação condicional dinâmica entre as transferências Pix e a atividade econômica: evidência de um modelo DCC-GARCH.

Após primeira avaliação, resolveu a Banca sugerir alterações ao texto apresentado, conforme relatório sintetizado pelo orientador. A Banca, delegando ao orientador a observância das alterações propostas, resolveu APROVAR a referida monografia.



Documento assinado eletronicamente por **Sidney Martins Caetano, Professor(a)**, em 12/08/2022, às 08:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rogério Silva de Mattos, Professor(a)**, em 13/08/2022, às 13:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **0905241** e o código CRC **1C794D36**.

RESUMO

Criado pelo Banco Central do Brasil, o Pix é um novo instrumento de transferências financeiras que permite transações rápidas e de custo zero para o usuário final. Este trabalho busca analisar a existência de correlação condicional dinâmica entre as transferências Pix e o nível de atividade econômica brasileiro, tendo o índice IDAT-Atividade como proxy, entre janeiro de 2021 e abril de 2022. Para isso, as séries foram ajustadas à um modelo DCC-GARCH para se testar a existência de correlação condicional dinâmica. Como principal resultado, averiguou-se a presença de correlação condicional dinâmica significativa e consistentemente positiva entre as variações de transferências Pix e variações da atividade econômica ao longo do período analisado.

Palavras-chave: Pix; Atividade econômica; IDAT; DCC-GARCH.

ABSTRACT

Created by the Central Bank of Brazil, Pix is a new financial transfer instrument that makes fast transfers with zero cost to its end users. This work analyses the existence of a dynamic conditional correlation between the Pix transfers and the Brazilian economic activity level, where the IDAT-Activity index is used as a proxy variable, between January 2021 and April 2022. These series were adjusted to a DCC-GARCH model to test the presence of dynamic conditional correlation. As the main result, it was noticed the presence of significant dynamic conditional correlation and this correlation was consistently positive between the oscillations of Pix transfers and oscillations of economic activity throughout the studied period.

Keywords: Pix; Economic Activity; IDAT; DCC-GARCH.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 – Evolução de usuários cadastrados no DICT (em milhões de usuários)	15
Gráfico 2 – Evolução do número de chaves Pix por natureza (em milhões).....	16
Gráfico 3 – Instrumentos de transferência de crédito: Quantidade de transferências mensais (em mil)	17
Gráfico 4 – Evolução do valor médio das transações Pix, (em R\$)	18
Gráfico 5 – Quantidade de transferências Pix (<i>Pix</i>), e de transferências Pix dessazonalizadas por Componentes Não Observados (<i>Pix_dessaz</i>) (em 10 milhões).....	29
Gráfico 6 – Variação percentual das transferências Pix (<i>pct_Pix</i>), e das transferências Pix dessazonalizadas por Componentes Não Observados (<i>pct_Pix_dessaz</i>) (em %).....	30
Gráfico 7 – Transferências Pix segregadas por dias da semana e feriados (em 10 milhões) ...	31
Gráfico 8 – IDAT segregado por dias da semana e feriados (em base = 100)	31
Gráfico 9 – Índice IDAT (em base = 100)	32
Gráfico 10 – Variação percentual do IDAT (em %)	33
Gráfico 11 – ACF e PACF dos resíduos referentes ao modelo <i>pct_Pix_dessaz</i> <i>ARMA(1,1)</i> - <i>GARCH(1,1)</i>	40
Gráfico 12 - ACF e PACF dos resíduos referentes ao modelo <i>pct_Idat</i> <i>ARMA(7,0)</i> - <i>GARCH(1,1)</i>	41
Gráfico 13 - Correlação condicional dinâmica entre variação Pix (<i>pct_Pix_dessaz</i>) e variação IDAT (<i>pct_Idat</i>).....	42
Gráfico 14 - Covariância condicional dinâmica entre variação Pix (<i>pct_Pix_dessaz</i>) e variação IDAT (<i>pct_Idat</i>).....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Séries citadas no capítulo e suas descrições	28
Tabela 2 – Estatísticas descritivas das séries Pix e IDAT, segregadas entre dias da semana e feriados	30
Tabela 3 – Teste de estacionariedade (ADF).....	34
Tabela 4 – BIC dos modelos ARMA(m,n) para a série <i>pct_Pix_dessaz</i>	35
Tabela 5 – BIC dos modelos ARMA(m,n) para a série <i>pct_Idat</i>	36
Tabela 6 - Teste de heterocedasticidade (ARCH LM) para os resíduos dos modelos	36
Tabela 7 - Parâmetros estimados do modelo DCC-GARCH	37
Tabela 8 - Teste Ljung-Box (estatística Qui-quadrado, com p-valor entre parênteses).....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADF - Augmented Dickey-Fuller

AIC - Akaike information criterion

ARCH – Autoregressive Conditional Heterocedasticity

ARMA – Autoregressive and Moving Average

BCB – Banco Central do Brasil

BIC - Bayesian information criterion

CCC-GARCH – Constant Conditional Correlation Generalized Autoregressive Conditional Heterocedasticity

DCC-GARCH - Dynamic Conditional Correlation Generalized Autoregressive Conditional Heterocedasticity

DICT – Diretório de Identificadores de Contas Transacionais

DOC – Documento de Crédito

FMI – Fundo Monetário Internacional

GARCH – Generalized Autoregressive Conditional Heterocedasticity

GPFI - Global Partnership for Financial Inclusion

IDAT - Índice Diário de Atividade Econômica

LD/FT – Lavagem de Dinheiro e Financiamento ao Terrorismo

PIB – Produto Interno Bruto

PIM - Pesquisa Industrial Mensal

PMC - Pesquisa Mensal de Comércio

PMS - Pesquisa Mensal de Serviços

SFN – Sistema Financeiro Nacional

SPB – Sistema de Pagamentos Brasileiro

SPI – Sistema de Pagamentos Instantâneos

TED -Transferência Eletrônica Disponível

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	O PIX.....	13
2.1	UMA VISÃO SOBRE A ORIGEM E SEU FUNCIONAMENTO	13
2.2	A EVOLUÇÃO DO PIX.....	15
2.3	INOVAÇÕES NO PIX.....	18
3	O IDAT.....	20
4	METODOLOGIA	21
4.1	MODELO ARMA.....	21
4.2	MODELO GARCH.....	22
4.3	O ARMA-GARCH.....	23
4.4	MODELO DCC-GARCH	23
4.4.1	DCC-GARCH BIVARIADO	25
5	BASE DE DADOS.....	28
6	RESULTADOS.....	35
7	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

No ano de 2020, foi lançado pelo Banco Central do Brasil (BCB) o Pix, o novo sistema de pagamentos que prometeu ser uma revolução dentro do SFN (Sistema Financeiro Nacional), diminuindo barreiras em pagamentos e com uma arquitetura tecnológica que permite enxugar a estrutura de custos presente em outros modelos de transferência, tais como TED e DOC, por exemplos. Com o Pix é possível ter uma experiência mais próxima à de uma troca física de moeda, uma vez que as transferências são realizadas instantaneamente e sem custos para o usuário final, além de não exigir valor mínimo para a transação.

Este novo meio de pagamentos teve origem por meio de um grupo de trabalho do BCB, concluído em 2018, e envolveu a participação de profissionais do ramo de tecnologia, bem como agentes do mercado. Em 2019, o BCB lançou o “*Fórum Pix*” que permitiu uma constante contribuição de agentes públicos e privados de forma a gerar melhorias e adaptações do sistema, sendo possível, em novembro de 2020, o lançamento do Pix com seu pleno funcionamento (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2021a).

A proposta do BCB é de garantir maior eficiência nas transações financeiras, contribuindo para redução nos custos de operação, e abrindo possibilidades para o surgimento de novos modelos de negócio, tais como *fintechs* e instituições de pagamento. Assim, contribui-se para um ambiente de livre concorrência que estimula não só novos entrantes, mas também exige adaptação de grandes instituições em seus produtos, serviços e taxas, de forma a melhorar, e em muitos casos, viabilizar o acesso das pessoas ao sistema financeiro (SANTOS, 2020).

De acordo com o BCB (2022a), desde o seu lançamento, o Pix sofreu uma expressiva popularização atingindo em abril de 2022 cerca de 126 milhões de usuários entre Pessoas Jurídicas e Pessoas Físicas, e neste mesmo mês, alcançando a marca de 1,6 bilhão de transferências Pix totalizando aproximadamente 789 bilhões de reais no mês. O Pix recebeu tamanha expressividade, e em curto espaço de tempo, que a partir de março de 2021 (com 5 meses desde o lançamento) foi o instrumento de transferência de crédito com maior quantidade de transferências, ultrapassando outros instrumentos convencionais como Boletos, TED e DOC.

Diante da atual relevância do Pix no sistema financeiro brasileiro e notável escassez de estudos sobre tal instrumento, no presente trabalho, busca-se analisar a hipótese de existência de correlação condicional dinâmica entre as transferências diárias do Pix e o nível de atividade econômica do Brasil, representado pelo IDAT, observados no período entre janeiro de 2021 e maio de 2022. Para que tal hipótese seja averiguada, serão estimados modelos ARMA-GARCH

para cada uma das séries, e em seguida será utilizado o DCC-GARCH de Engle (2002), para averiguar a presença de correlação condicional entre as variáveis.

A monografia será distribuída entre 7 capítulos, incluindo a presente introdução. No segundo capítulo é feita uma apresentação do Pix, sendo este capítulo subdividido entre 3 sessões, a primeira com uma visão sobre a sua origem e funcionamento, a segunda com dados sobre a sua evolução e popularização no Brasil, e a terceira abrangendo as novas ferramentas e inovações dentro do Pix desenvolvidas e em desenvolvimento pelo Banco Central. No terceiro capítulo é apresentado o IDAT, que será utilizado como proxy para o nível de atividade econômica no Brasil. O quarto capítulo consiste em exibir a metodologia dos modelos ARMA-GARCH e DCC-GARCH, utilizado para estimação da correlação condicional entre as transferências Pix e o IDAT. No quinto capítulo trata-se detalhadamente da base de dados utilizada. No sexto capítulo compreende-se a apresentação dos resultados e estimações dos modelos. Por fim, no capítulo sete é apresentada a conclusão do trabalho e análises finais.

2 O PIX

2.1 UMA VISÃO SOBRE A ORIGEM E SEU FUNCIONAMENTO

Mediante o contexto de reconhecimento da importância de instrumentos financeiros digitais como fortes vetores para inclusão social, bem como o constante avanço da digitalização dos brasileiros em todas as classes sociais, surge o Pix em 2020 com a proposta de quebrar paradigmas e facilitar o Sistema de Pagamentos Brasileiro (SPB). Com o Pix, o BCB buscou popularizar um arranjo de pagamentos que podem ser efetivados em poucos segundos de forma prática, remota e barata. Desse modo, espera-se que o Pix possibilite novos modelos de negócio no ramo de pagamentos por meio de *fintechs* e afins, além de aprimorar a experiência dos clientes digitais, estimular a “eletronização” dos pagamentos, e promover a inclusão financeira (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2022b).

De acordo com o BCB, ele foi desenvolvido de modo a ser facilmente implementado em qualquer instituição financeira nacional, passando a fazer parte da interface digital dos clientes de bancos e instituições de pagamento que possuam conta corrente, poupança ou conta de pagamento pré-paga. Ademais, é um instrumento feito para substituir facilmente outros tipos de pagamentos tradicionais já existentes no SPB, tais como TED, cartão de débito, boleto bancário, DOC etc. Para transferências bancárias, diferentemente das TEDs onde se exigiam diversos dados do destinatário como CPF, banco e conta bancária, pelo Pix o processo foi radicalmente simplificado, sendo necessário fornecer apenas uma Chave Pix que é única para cada conta, de maneira a identificar o beneficiário da transação. Além disso, são utilizadas novas tecnologias como QR Codes, que substituem os códigos de barras presentes em boletos, e podem ser facilmente escaneados pela câmera de dispositivos móveis. O pagamento é realizado em tempo real, e ambas as partes recebem a confirmação da transação. Outra vantagem é a disponibilidade de funcionamento do serviço, que opera 24 horas por dia, 7 dias por semana, para qualquer instituição financeira, tendo certas restrições de volume transacional a depender do horário, por motivos de segurança pública, opção que não é observada nos outros meios de pagamento tradicionais.

O funcionamento do Pix é centralizado na figura do BCB que utiliza o DICT (Diretório de Identificadores de Contas Transacionais) e o SPI (Sistema de Pagamentos Instantâneos) para viabilizar as transações. O DICT consiste em uma grande base de dados que reúne todas as informações dos usuários das instituições financeiras e suas respectivas contas bancárias ou de pagamentos. As informações de cada conta (como CPF, agência, número de conta, etc) são

associadas a uma chave Pix cadastrada, o que permite maior praticidade ao Pix se comparado à TED e DOC. Para que seja possível vincular uma conta transacional à uma chave Pix, é necessário cadastrá-la, e esta chave pode ser identificada como:

1. Número de telefone celular;
2. Endereço de correio eletrônico (e-mail);
3. Número do CPF;
4. Número do CNPJ, para contas empresariais;
5. Chave aleatória, é uma forma mais segura visto que não se está fornecendo nenhum dado pessoal para se concluir uma transação. Esta chave é um código de 32 caracteres composto por letras e símbolos e gerado randomicamente pelo Banco Central.

Já o SPI é considerado como o coração do Pix, ou seja, onde é realizada a liquidação bruta e em tempo real de cada operação. Estas operações são realizadas uma a uma, instantaneamente, e com caráter irrevogável, além do que não é possível realizar lançamentos a descoberto, não se admitindo saldo negativo nas contas. A estrutura centralizada no Bacen garante maior segurança nas transações, além de contribuir para prevenção de crimes de LD/FT (Lavagem de Dinheiro e Financiamento ao Terrorismo), bem como reduzir a utilização de cédulas que apresentam maiores custos para emissão e manutenção.

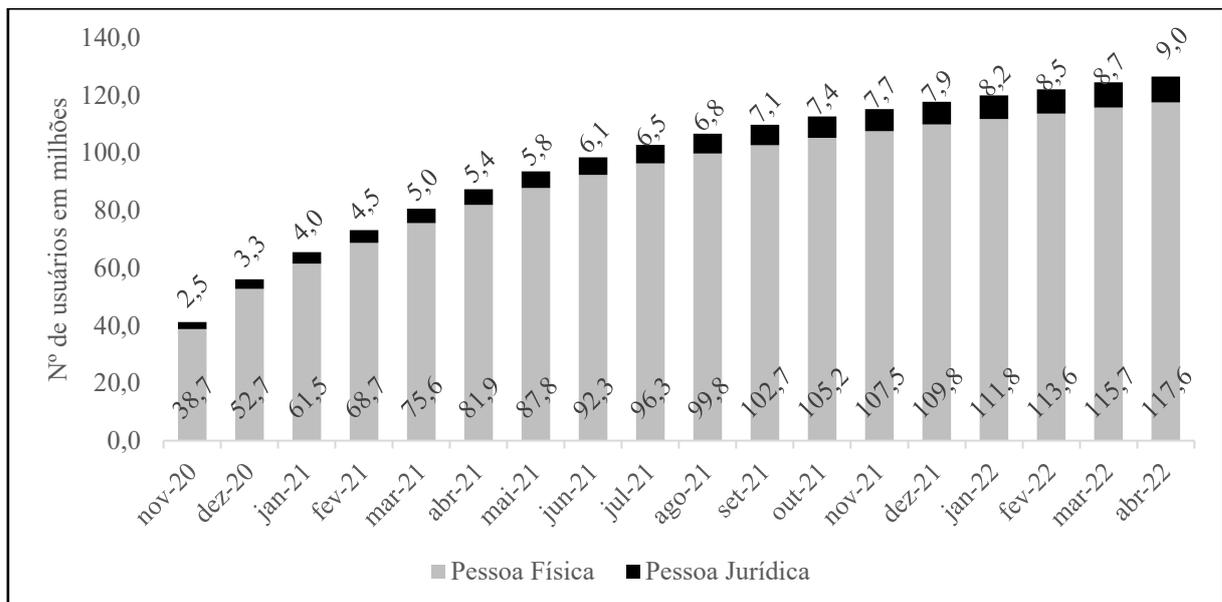
No que se refere aos participantes, o Banco Central permite que qualquer instituição financeira, de pagamento, e que oferecem serviço de conta transacional tenham acesso ao sistema Pix na modalidade de provedor de conta transacional. Já as instituições que atingiram a marca de 500 mil contas transacionais em atividade – seja conta de depósito à vista, conta poupança, ou conta de pagamento – são obrigadas a participar do Pix, fornecendo todas as funções disponíveis atualmente.

Além disso, o BCB cobra das instituições participantes uma tarifa de ressarcimento para as transações Pix, com o objetivo de cobrir os custos de funcionamento do sistema. Atualmente é cobrado da R\$ 0,01 para cada 10 transações Pix no SPI, e são cobrados R\$ 3,00 por MB (Megabyte) de dados solicitados para o SPI. O intuito do Banco Central é o de tornar as tarifas relacionadas ao Pix acessíveis ao cidadão, possibilitando a competição do setor. Devido ao baixo custo do Pix, a maioria das instituições financeiras acabam por arcar com estes dispêndios, de forma a não repassar para o usuário final.

2.2 A EVOLUÇÃO DO PIX

Desde seu lançamento, em 29 de novembro de 2020, o Pix vem apresentando um sucesso considerável, com uma constante popularização e aumento do número de usuários. Até abril de 2022, o sistema contou com mais de 126 milhões de usuários cadastrados e 438 milhões de chaves Pix, apresentando uma média de 3,46 chaves Pix por usuário. Dos usuários cadastrados até abril de 2022, 92,89% são pessoa física, enquanto 7,11% são pessoa jurídica, como é possível ver no Gráfico 1. No total, são 117,6 milhões de usuários pessoa física, o que representa cerca de 54,83% da população brasileira. De acordo com o BCB, até outubro de 2021, 45,6 milhões de pessoas que não utilizaram TEDs nos últimos 12 meses anteriores ao lançamento do Pix, fizeram ao menos uma transação neste sistema como pagador, ou seja, um indicador de que o Pix vem proporcionando inclusão de pessoas no sistema financeiro (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2022a; BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2021b).

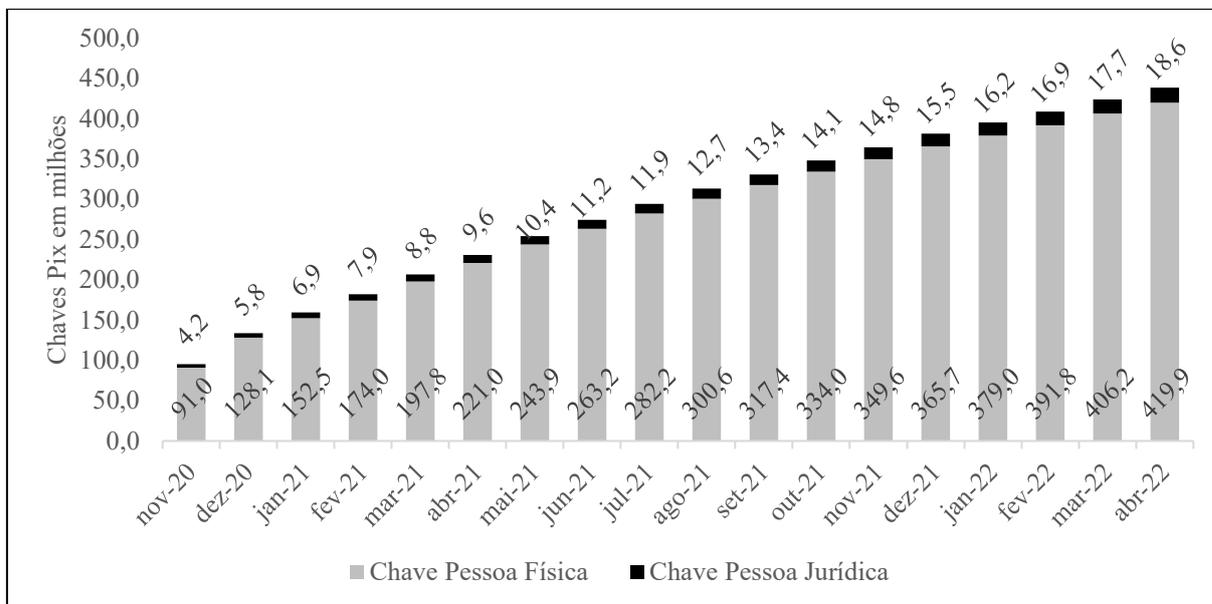
Gráfico 1 – Evolução de usuários cadastrados no DICT (em milhões de usuários)



Fonte: Banco Central do Brasil, 2022 - Elaboração própria

Com relação às chaves Pix, até abril de 2022, 95,76% (438,5 milhões) são de pessoa física, e o volume restante, 4,24% (18,6 milhões) de pessoa jurídica, como é possível observar no Gráfico 2.

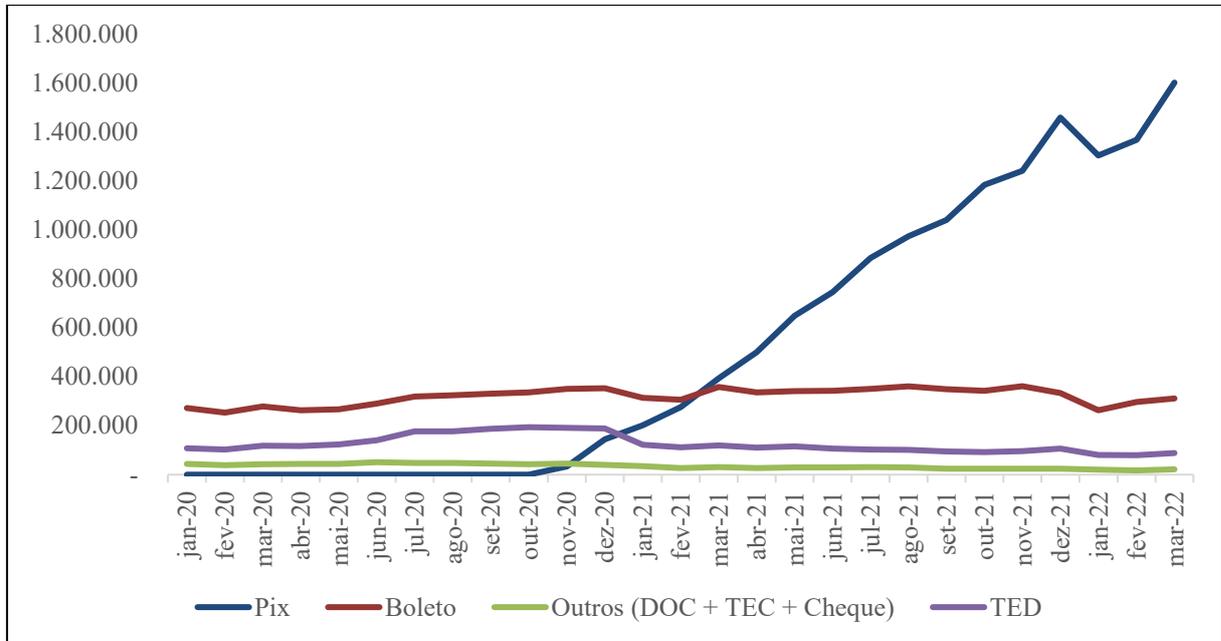
Gráfico 2 – Evolução do número de chaves Pix por natureza (em milhões)



Fonte: Banco Central do Brasil, 2022 - Elaboração própria

O número de transações com Pix apresenta uma tendência de crescimento expressiva, sendo que, a partir de setembro de 2021 o sistema começou a registrar mais de 1 bilhão de transações por mês, alcançando em março de 2022 a marca de 1.601.590.320 transações. Vale destacar que em novembro de 2020, em seu primeiro mês, o Pix registrou pouco mais do que 33 milhões de transações. A partir de março de 2021, o Pix já se apresentava como o instrumento de transferência mais utilizado, e já em novembro, apresentava mais do que o dobro de transações realizadas em todos os outros instrumentos somados (TED, Boletão, DOC, TEC e Cheques), como é possível observar no Gráfico 3.

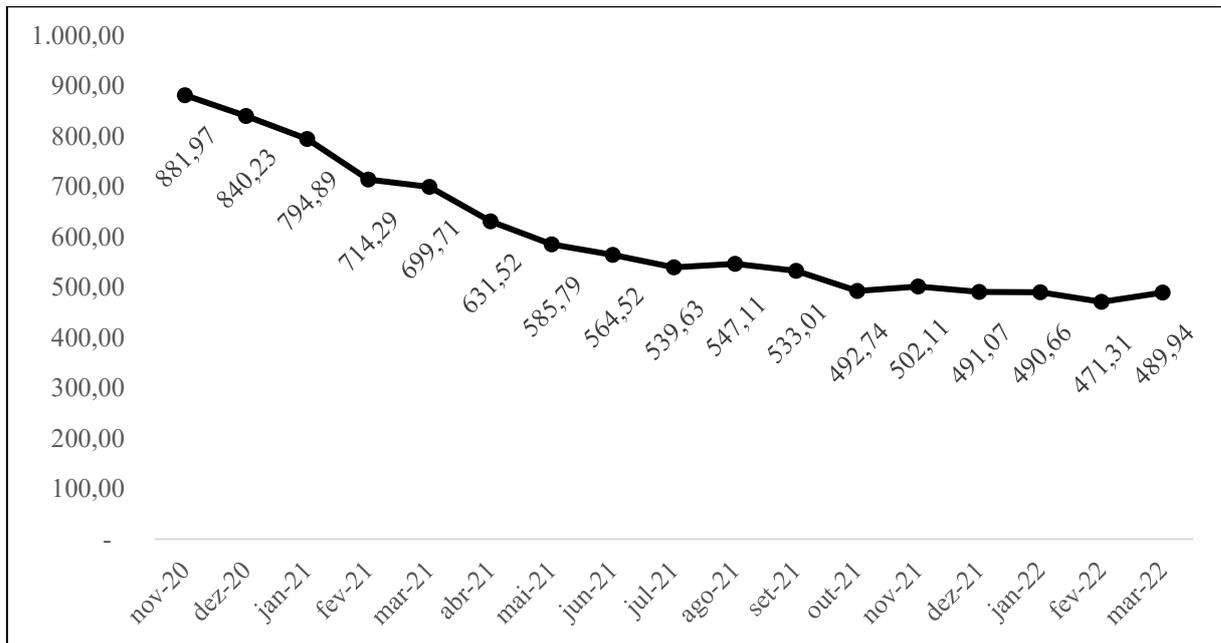
Gráfico 3 – Instrumentos de transferência de crédito: Quantidade de transferências mensais (em mil)



Fonte: Banco Central do Brasil, 2022 - Elaboração própria

Com relação ao valor das transações, este partiu de R\$ 29,5 bilhões em novembro de 2020 para R\$784,6 bilhões em março de 2022. No entanto, é nota-se no Gráfico 4 que existe uma tendência de queda no valor médio das transações via Pix, partindo de uma média de R\$ 881,97 por transação em nov/2020 para R\$ 489,94 em mar/2022, uma queda de 44,45%. Esta queda pode ser interpretada como um sinal positivo, pois pode indicar dois possíveis movimentos em conjunto: (1) inclusão do público de baixa renda no sistema financeiro, e (2) utilização do Pix para pagamentos e transferências cotidianas, substituindo pagamentos que antes eram realizados por papel moeda, ou outros instrumentos.

Gráfico 4 – Evolução do valor médio das transações Pix, (em R\$)



Fonte: Banco Central do Brasil, 2022 - Elaboração própria

2.3 INOVAÇÕES NO PIX

Para o BCB (2022a) desde o seu lançamento em 2020, o Pix vem sofrendo atualizações com a implementação de novas ferramentas e funcionalidades que tem por objetivo aumentar a sua utilização e proporcionar uma maior digitalização das transações financeiras no Brasil. Tais funcionalidades são idealizadas, debatidas e desenvolvidas dentro do comitê consultivo permanente, o Fórum Pix, e nos grupos de trabalho temáticos dentro do âmbito do fórum, sendo os grupos: GT Negócios, GT Padronização e Requisitos Técnicos, GT Mensagens PI e GT Segurança.

Dentre as inovações já lançadas está o Pix Cobrança, lançado em maio de 2021, que possibilitou criar um sistema de cobrança de valores por meio de um QR Code ou do tratamento de um Pix Cópia e Cola (leitor de códigos relativos à cobrança), viabilizando, portanto, pagamentos imediatos em comércios físicos e eletrônicos, pagamentos com prazo de vencimento similar à uma cobrança por boleto, onde é possível incluir acréscimos como juros, multas e abatimentos.

Outras inovações já implementadas são o Pix Saque e Pix Troco, ambas funcionalidades disponíveis desde outubro de 2021, que possibilita aos estabelecimentos comerciais fornecerem aos seus clientes a oportunidade de realizar retirada de dinheiro em espécie. No caso do Pix Saque, a funcionalidade permite que o cliente do estabelecimento realize uma retirada de

dinheiro similar à um sistema de caixa eletrônico. Já no Pix Troco, é possível que o cliente realize uma compra usual no estabelecimento, realize um pagamento a maior via Pix, e solicite que o troco seja retirado em espécie.

Existem também as inovações que estão em desenvolvimento, que, portanto, estão sinalizadas na agenda futura do Banco Central, são elas:

1. QR Code gerado pelo pagador;
2. Pix Garantido;
3. Ferramenta para consulta de transações liquidadas no SPI;
4. Plataforma Centralizada (Cobrança Centralizada de Pix Cobrança Contratos Inteligentes; Duplicata no Pix);
5. Pix Internacional;
6. API de Pagamentos;
7. Novas formas de iniciação do Pix (NFC; Bluetooth; RFID; Reconhecimento facial);
8. Regras para split de pagamentos.

3 O IDAT

O Índice Diário de Atividade Econômica (IDAT) foi anunciado no dia 2 de julho de 2020 pelo banco Itaú (2022), e tem por objetivo mensurar o nível de atividade econômica no Brasil em alta frequência. O banco destaca que o IDAT é composto por informações de nível público, como consumo de energia elétrica, e também por dados restritos, utilizando informações de cerca de 330 milhões transações mensais em cartões de crédito, no setor de bens e serviços. Entretanto, nenhuma metodologia de construção é apresentada ao público, pelo menos até onde se sabe. Além disso, o indicador apresenta base 100 referente ao dia 1 de maio de 2020, dia em que começou a ser mensurado, e tem frequência diária, com uma defasagem de dois a três dias.

É sabido que o cálculo do IDAT depende de três principais componentes, sendo eles o consumo de bens, consumo de serviços e consumo de energia elétrica industrial. Esses componentes são averiguados pelas pesquisas mensais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), PMC (Pesquisa Mensal de Comércio), PMS (Pesquisa Mensal de Serviços), e PIM (Pesquisa Industrial Mensal). Segundo Lazarini (2020), obtém-se uma correlação entre o índice e o Produto Interno Bruto (PIB) mensal que é calculado pelo mesmo banco, com uma elasticidade de 1 para 0,4.

4 METODOLOGIA

4.1 MODELO ARMA

Proposto por Box e Jenkins (1970), o ARMA(m,n) (“Autoregressive and Moving Average”) é um modelo utilizado em séries univariadas que representa uma variável num instante t como sendo função de seus próprios valores defasados e uma média móvel de erros aleatórios passados. Ele deriva de sua forma generalizada ARIMA(m,D,n), onde m é o número de termos de autorregressivos, D é o número de diferenciações realizadas na série, e n é o número de termos de médias móveis. O termo D do modelo ARIMA é utilizado quando não se tem uma série estacionária, como neste trabalho a série utilizada será estacionária, desconsidera-se esta operação (D=0), e portanto, tem-se um ARMA(m,n).

A versão autorregressiva pura do modelo, denotada por AR(m), utiliza os valores defasados de determinada série, e pode ser expressa como

$$y_t = \mu + \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_m y_{t-m} + u_t = \mu + \sum_{i=1}^m \phi_i y_{t-i} + u_t . \quad (1)$$

Já a versão de médias móveis pura do modelo, que é referida como MA(n), é expressa como

$$y_t = \mu + u_t + \theta_1 u_{t-1} + \dots + \theta_n u_{t-n} = \mu + u_t + \sum_{j=1}^n \theta_j u_{t-j} . \quad (2)$$

A junção dos dois modelos AR(m) e MA(n) formam o modelo ARMA(m, n) a seguir

$$y_t = \mu + \sum_{i=1}^m \phi_i y_{t-i} + \sum_{j=1}^n \theta_j u_{t-j} + u_t . \quad (3)$$

Em que y_t é o valor de uma série, μ é o termo constante, ϕ_i são os termos autorregressivos de ordem m, θ_j os termos de médias móveis de ordem n, e u_t é uma variável aleatória independente e identicamente distribuída à uma distribuição normal de média zero e variância σ^2 , $u_t \sim N(0, \sigma^2)$.

4.2 MODELO GARCH

O modelo GARCH foi desenvolvido por Bollerslev (1986) como uma alternativa para lidar com modelos onde existe heterocedasticidade condicional, fundamentando-se na estimação da variância condicional ao invés de a considerar como constante no tempo. Este modelo surgiu como sucessor do ARCH (*autoregressive conditional heterocedasticity*) de Engle (1982), e propõe uma generalização do modelo ARCH, por isso o nome GARCH (*generalized ARCH*). Para Bueno (2018), o principal motivo para que tais modelos fossem desenvolvidos é a existência de dependências temporais com ordem superior ao primeiro momento condicional, e tais dependências eram responsáveis por criar períodos com baixa volatilidade e alta volatilidade ao longo da mesma série temporal, ou seja, com a variância não se permanecendo constante no tempo.

O principal objetivo do modelo GARCH é o de se estimar a volatilidade condicional de uma série, e este modelo é feito se especificando a variância condicional como função das suas próprias observações passadas. A equação para a variância condicional é definida como:

$$h_t = \omega + \sum_{i=1}^q \alpha_i X_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j h_{t-j}, \quad (4)$$

$$X_t = \varepsilon_t \sqrt{h_t}, \quad (5)$$

$$y_t = \mu + X_t. \quad (6)$$

Este modelo é conhecido como GARCH(p,q), em que p e q são as identificações dos lags utilizados. O termo h_t é a variância condicional, ω é uma constante, e ε_t é uma variável aleatória independente e identicamente distribuída (i.i.d) à uma distribuição de média zero e variância um, definida como $\varepsilon_t \sim N(0,1)$, ou seja, associada a uma distribuição normal com média zero e variância um. Desta forma, se chega ao termo X_t que tem a distribuição $X_t \sim N(0, h_t)$. Morettin e Tolo (2020) argumentam que o termo X_t não é autocorrelacionado, mas a sua variância condicional (h_t) depende dos retornos passados por meio de uma função quadrática.

A variável de resultado X_t , adicionada a um termo constante μ , é então utilizada para explicar o comportamento dos valores y_t da série.

É recomendado que se utilize modelos de ordem baixa como (1,2), (1,1) mas a forma mais simples, e mais utilizada é o processo GARCH (1,1), inclusive recomendada por Bollerslev (1986) e Engle (2002), então é obtido:

$$h_t = \omega + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \beta_1 h_{t-1}. \quad (7)$$

Onde $\alpha_1 + \beta_1 < 1$. Caso a soma dos coeficientes, seja igual a 1, o modelo é considerado um IGARCH (*Integrated GARCH*) que não será utilizado neste trabalho.

4.3 O ARMA-GARCH

Neste contexto, é possível utilizar os modelos ARMA e GARCH em conjunto, quando nota-se a presença de heterocedasticidade nos resíduos u_t de um modelo ARMA(m,n), como o da equação (3), e então se faz necessário estimar a volatilidade condicional com um GARCH(p,q). Desta forma, a combinação dos dois modelos consiste em no ARMA(m,n)-GARCH(p,q) com a forma

$$y_t = \mu + \sum_{i=1}^m \phi_i y_{t-i} + \sum_{j=1}^n \theta_j X_{t-j} + X_t, \quad (8)$$

em que μ é uma constante, ϕ_i é o termo autorregressivo, θ_j é o termo de médias móveis, e X_t é o resultado do modelo GARCH descrito na sessão 4.2, uma variável aleatória normalmente distribuída com média zero e variância condicional h_t , $X_t \sim N(0, h_t)$.

4.4 MODELO DCC-GARCH

O DCC-GARCH se trata de um modelo GARCH multivariado, que tem por objetivo estimar uma matriz de covariância entre as variáveis ao especificar separadamente as variâncias condicionais individuais e a matriz de correlação condicional, que por sua vez tem um comportamento variante no tempo, ou dinâmico, daí o nome DCC (*Dynamic Conditional Correlation*). O método DCC foi desenvolvido por Engle (2002) que propôs uma generalização do até então vigente modelo CCC (*Constant Conditional Correlation*), de Bollerslev (1990) que considerava correlações condicionais constantes ao longo do tempo. Vale destacar que

modelos do tipo ARMA-GARCH também podem ser aderidos na estimação de um DCC-GARCH.

Engle (2002) propôs que tal modelo seja naturalmente estimado em dois passos: 1) consiste em ajustar individualmente cada variável y_{it} (i -ésima variável de interesse, onde $i = 1, \dots, I$) para um modelo GARCH, de preferência GARCH (1,1), e então as estimativas de suas variâncias condicionais serão obtidas; 2) os respectivos retornos são filtrados para fora do modelo GARCH, sendo dividido pelo seu desvio padrão condicional, obtendo-se os erros padronizados. Esses erros padronizados são utilizados para estimar a matriz de correlação variável no tempo.

A matriz de covariância condicional (H_t) é obtida da equação

$$H_t = D_t R_t D_t, \quad (9)$$

em que D_t uma matriz diagonal composta pela raiz quadrada da variância condicional das variáveis, obtidos por um processo GARCH, onde

$$D_t = \begin{bmatrix} \sqrt{h_{1,t}} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \sqrt{h_{i,t}} \end{bmatrix}, \quad (10)$$

dado que o subscrito i se refere à i -ésima série incluída no modelo, e as variâncias condicionais são compostas por um GARCH (p,q)

$$h_{i,t} = \omega_i + \sum_{q=1}^{Q_i} \alpha_{i,q} X_{i,t-q}^2 + \sum_{p=1}^{P_i} \beta_{i,p} h_{i,t-p}. \quad (11)$$

Para Morettin (2020), estes modelos GARCH univariados podem ter ordens p e q variadas, mas usualmente o GARCH (1,1) é o mais recomendado, tomando a forma:

$$h_{i,t} = \omega_i + \alpha_{i,1} X_{i,t-1}^2 + \beta_i h_{i,t-1}. \quad (12)$$

Já a matriz de correlação condicional (R_t) é decomposta em

$$R_t = \begin{bmatrix} 1 & \dots & 0 \\ \sqrt{q_{1,1,t}} & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \frac{1}{\sqrt{q_{i,i,t}}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_{1,1,t} & \dots & q_{1,i,t} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{i,1,t} & \dots & q_{i,i,t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \dots & 0 \\ \sqrt{q_{1,1,t}} & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \frac{1}{\sqrt{q_{i,i,t}}} \end{bmatrix}, \quad (13)$$

$$R_t = \text{diag}(Q_t)^{-1/2} Q_t \text{diag}(Q_t)^{-1/2}, \quad (14)$$

$$Q_t = (1 - \alpha - \beta)\bar{Q} + \alpha\varepsilon_{t-1}\varepsilon'_{t-1} + \beta Q_{t-1}, \quad (15)$$

onde Q_t é função de dois parâmetros escalares α e β , que devem satisfazer à condição $\alpha + \beta < 1$, além de ser função da matriz \bar{Q} de covariância incondicional dos erros padronizados

$$\bar{Q} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t}^2 & \varepsilon_{1,t}\varepsilon_{2,t} & \dots & \varepsilon_{1,t}\varepsilon_{i,t} \\ \varepsilon_{2,t}\varepsilon_{1,t} & \varepsilon_{2,t}^2 & \dots & \varepsilon_{2,t}\varepsilon_{i,t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \varepsilon_{i,t}\varepsilon_{1,t} & \varepsilon_{i,t}\varepsilon_{2,t} & \dots & \varepsilon_{i,t}^2 \end{bmatrix}, \quad (16)$$

e os erros padronizados são obtidos dividindo o retorno de cada modelo GARCH pela raiz quadrada da sua variância

$$\varepsilon_{i,t} = X_{i,t} / \sqrt{h_{i,t}}. \quad (17)$$

4.4.1 DCC-GARCH BIVARIADO

Visto que neste trabalho serão estudadas as correlações entre duas variáveis, se faz necessário, por motivos ilustrativos, exibir o processo sequencial de elaboração do DCC-GARCH bivariado. Baseado nas duas etapas sugeridas por Engle (2002) supracitadas, Martin et. al. (2012) elabora este exercício que consiste na estimação da matriz da covariância bivariada por meio dos 5 passos a seguir:

Passo 1: Estimar um modelo ARMA (m,n)-GARCH (1,1) para cada uma das séries, obtendo as seguintes variâncias condicionais

$$\begin{aligned} h_{1,t} &= \omega_1 + \alpha_{1,1}X_{1,t-1}^2 + \beta_1h_{1,t-1}, \\ h_{2,t} &= \omega_2 + \alpha_{2,1}X_{2,t-1}^2 + \beta_2h_{2,t-1}, \end{aligned}$$

e então compor a matriz diagonal D_t ,

$$D_t = \begin{bmatrix} \sqrt{h_{1,t}} & 0 \\ 0 & \sqrt{h_{2,t}} \end{bmatrix}.$$

Pode-se notar que, apesar de ser importante para a especificação do modelo, os termos referentes ao ARMA não são utilizados diretamente para a estimação do DCC-GARCH.

Passo 2: Calcular o vetor de resíduos padronizados (17) $\varepsilon_{i,t} = X_{i,t} / \sqrt{h_{i,t}}$,

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t} \\ \varepsilon_{2,t} \end{bmatrix} = \text{diag}(Q_t)^{-1/2} X_t = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{h_{1,t}}} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{h_{2,t}}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{1,t} \\ X_{2,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{X_{1,t}}{\sqrt{h_{1,t}}} \\ \frac{X_{2,t}}{\sqrt{h_{2,t}}} \end{bmatrix}.$$

Passo 3: Calcular a matriz \bar{Q} de covariância incondicional dos erros padronizados

$$\bar{Q} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t}^2 & \varepsilon_{1,t}\varepsilon_{2,t} \\ \varepsilon_{2,t}\varepsilon_{1,t} & \varepsilon_{2,t}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{\rho}_{1,1} & \bar{\rho}_{1,2} \\ \bar{\rho}_{2,1} & \bar{\rho}_{2,2} \end{bmatrix},$$

logo, é possível utilizar os resultados até então obtidos para se construir a matriz Q_t , obtendo seus respectivos elementos como sugerido na equação (15),

$$\begin{aligned} q_{1,1,t} &= \bar{\rho}_{1,1}(1 - \alpha - \beta) + \alpha(\varepsilon_{1,t-1}\varepsilon_{1,t-1}) + \beta(q_{1,1,t-1}) \\ q_{2,2,t} &= \bar{\rho}_{2,2}(1 - \alpha - \beta) + \alpha(\varepsilon_{2,t-1}\varepsilon_{2,t-1}) + \beta(q_{2,2,t-1}) \\ q_{1,2,t} &= \bar{\rho}_{1,2}(1 - \alpha - \beta) + \alpha(\varepsilon_{1,t-1}\varepsilon_{2,t-1}) + \beta(q_{1,2,t-1}) \end{aligned}$$

Passo 4: Tendo seus elementos calculados, o quarto passo consiste em obter a matriz R_t de correlação condicional, conforme a equação (13),

$$\begin{aligned}
R_t &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \sqrt{q_{1,1,t}} & \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{q_{2,2,t}}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_{1,1,t} & q_{1,2,t} \\ q_{2,1,t} & q_{2,2,t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \sqrt{q_{1,1,t}} & \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{q_{2,2,t}}} \end{bmatrix} = \\
&= \begin{bmatrix} 1 & \frac{q_{1,2,t}}{\sqrt{q_{1,1,t} q_{2,2,t}}} \\ \frac{q_{2,1,t}}{\sqrt{q_{1,1,t} q_{2,2,t}}} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \text{corr}_{1,2,t} \\ \text{corr}_{2,1,t} & 1 \end{bmatrix}.
\end{aligned}$$

Passo 5: Estimar a matriz de covariância condicional (9) a seguir

$$\begin{aligned}
H_t &= \begin{bmatrix} \sqrt{h_{1,t}} & 0 \\ 0 & \sqrt{h_{2,t}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \rho_{1,2,t} \\ \rho_{2,1,t} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{h_{1,t}} & 0 \\ 0 & \sqrt{h_{2,t}} \end{bmatrix} = \\
&= \begin{bmatrix} h_{1,t} & \text{corr}_{1,2,t} \sqrt{h_{1,t}} \sqrt{h_{2,t}} \\ \text{corr}_{2,1,t} \sqrt{h_{1,t}} \sqrt{h_{2,t}} & h_{2,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{1,t} & \text{cov}_{1,2,t} \\ \text{cov}_{2,1,t} & h_{2,t} \end{bmatrix}.
\end{aligned}$$

5 BASE DE DADOS

A base de dados utilizada para a estimação do modelo é composta por observações diárias da variação percentual das transferências Pix dessazonalizadas e da variação percentual do índice IDAT, compreendidas entre os dias 3 de janeiro de 2021 e 05 de maio de 2022. Para melhor compreender as séries descritas, a tabela 1 mostra uma relação das séries utilizadas, suas transformações, e respectivas descrições. De antemão, vale destacar que as séries utilizadas serão: *pct_Pix_dessaz* e *pct_Idat*.

Tabela 1 – Séries citadas no capítulo e suas descrições

Série	Descrição
<i>Pix</i>	Quantidade de transferências Pix
<i>pct_Pix</i>	Variação percentual das transferências Pix
<i>Pix_dessaz</i>	Quantidade de transferências Pix dessazonalizadas
<i>pct_Pix_dessaz</i>	Variação percentual das transferências Pix dessazonalizadas
<i>Idat</i>	Índice IDAT
<i>pct_Idat</i>	Variação percentual do IDAT

Fonte: Elaboração própria

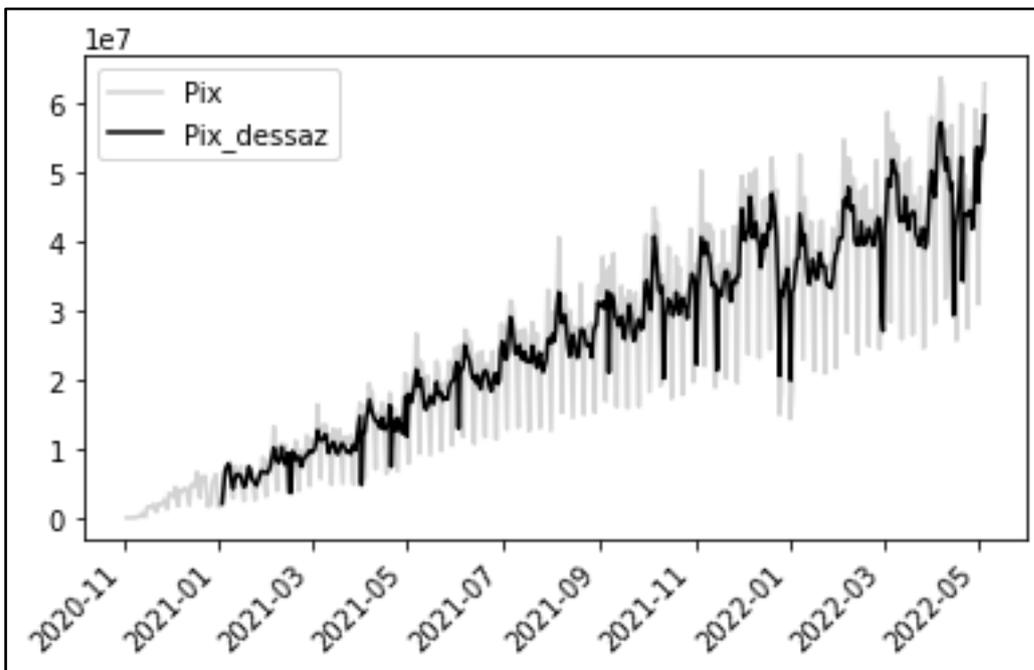
Apesar do Banco Central disponibilizar a série de transferências desde o início das operações do Pix em 03/11/2020, optou-se por se desconsiderar as observações dos dois primeiros meses pelo fato da série apresentar oscilações maiores em seu início, como pode-se observar no gráfico 6 série *pct_Pix*, sendo potencialmente prejudicial à estimação do DCC-GARCH. Essas maiores oscilações presentes nas transferências Pix durante os dois primeiros meses de operação pode ser explicada como resultado do processo de popularização do Pix, com um rápido crescimento do número de usuários já nos primeiros dias e consequente impacto na variação das transações diárias. Por este motivo, optou-se por utilizar as séries com data de início em 03/01/2021.

Além disso, a tabela 2 exibe as estatísticas descritivas dos dias da semana e feriados atribuídos a cada observação, compreendidos entre 03/01/2021 e 05/05/2022, nota-se que os domingos, sábados e feriados, apresentam médias de 15 milhões, 25,1 milhões e 19,7 milhões respectivamente, em comparação com dias úteis de segunda a sexta que apresentaram médias maiores entre 29,4 milhões e 33 milhões. Ademais, o gráfico 7 mostra a mesma relação de transferências Pix por dia da semana e feriados, onde pode-se observar que a tendência do número transferências realizadas em sábados, domingos e feriados apresenta um viés para baixo

quando comparadas com as transferências de segunda a sexta. Esta análise indica a presença de sazonalidade na série *Pix*.

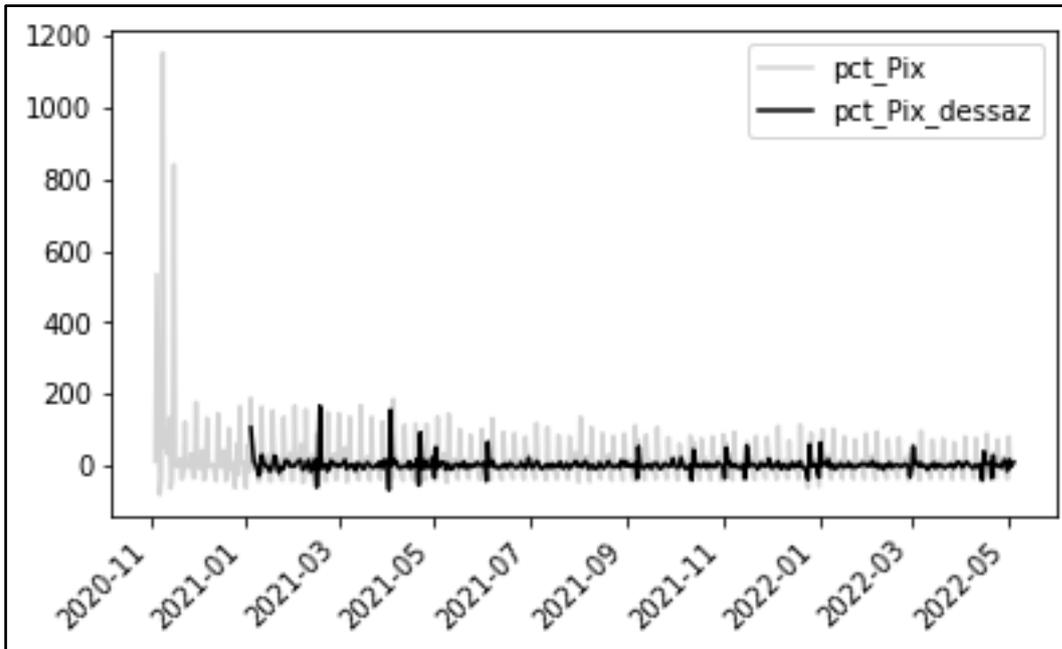
Assim, se faz necessário a aplicação de um processo de dessazonalização da série *Pix* que será realizado por meio do método de Componentes Não Observados (*Unobserved components*), também conhecido como modelo de Séries de Tempo Estruturais (*Structural Time Series model*) apresentado por Harvey (1990) e Durbin e Koopman (2012). Tal método permite a especificação de efeitos sazonais que variam ao longo do tempo, e permite a inserção de variáveis exógenas, como feriados. Para a aplicação deste método de dessazonalização na série de transferências *Pix*, é utilizado o pacote *statsmodels* disponível na linguagem de programação Python, como recomendado por Fulton (2020), especificando-se uma sazonalidade semanal (7 dias) e inserção de variável dummy exógena referente a feriados nacionais do Brasil, para um melhor ajuste. O resultado pode ser observado no gráfico 5 série *Pix_dessaz*, onde nota-se uma maior suavização da série e atenuação da sazonalidade semanal, e também na sua conseqüente transformação em variação percentual diária no gráfico 6 série *pct_Pix_dessaz* - que será a série utilizada - nota-se a mesma suavização.

Gráfico 5 – Quantidade de transferências *Pix* (*Pix*), e de transferências *Pix* dessazonalizadas por Componentes Não Observados (*Pix_dessaz*) (em 10 milhões)



Fonte: Banco Central 2022 – Elaboração própria

Gráfico 6 – Variação percentual das transferências Pix (*pct_Pix*), e das transferências Pix dessazonalizadas por Componentes Não Observados (*pct_Pix_dessaz*) (em %)



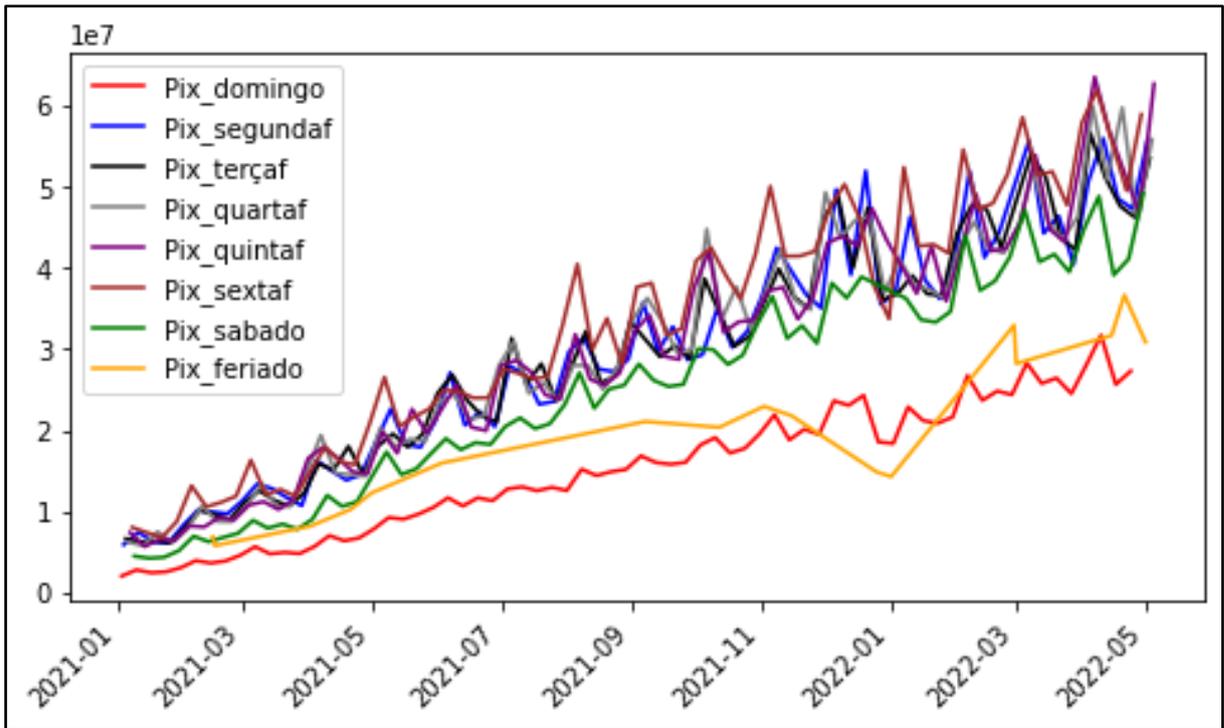
Fonte: Banco Central 2022 – Elaboração própria

Tabela 2 – Estatísticas descritivas das séries Pix e IDAT, segregadas entre dias da semana e feriados

	Nº Obs.	Média	Desv.Pad.	Mínimo	Máximo	Percentil		
						25%	50%	75%
<i>Pix_domingo</i>	69	15.074.908	8.056.417	2.061.213	7.871.527	15.210.008	21.636.712	31.706.558
<i>Pix_segundaf</i>	67	29.423.508	14.166.593	5.935.544	18.107.203	29.323.614	39.796.483	55.939.866
<i>Pix_terçaf</i>	65	29.508.694	14.253.430	6.178.365	18.033.503	29.068.328	40.055.123	56.587.857
<i>Pix_quartaf</i>	69	30.334.761	14.498.850	5.805.840	18.925.479	30.939.275	42.401.771	59.981.242
<i>Pix_quintaf</i>	68	30.039.635	14.819.202	5.703.042	17.742.846	30.465.787	42.265.479	63.504.251
<i>Pix_sextaf</i>	67	33.033.415	15.200.383	6.826.694	21.250.407	33.736.977	44.551.691	61.904.191
<i>Pix_sabado</i>	66	25.121.628	12.995.780	4.261.864	14.744.996	25.607.340	36.290.604	49.194.867
<i>Pix_feriado</i>	17	19.725.646	9.746.890	5.807.263	12.313.270	20.381.587	28.215.805	36.659.748
<i>Idat_domingo</i>	69	98,73	10,33	72,07	92,71	100,74	106,10	120,55
<i>Idat_segundaf</i>	67	98,56	9,13	77,89	92,71	98,78	104,45	120,39
<i>Idat_terçaf</i>	65	99,56	8,53	82,27	94,61	100,04	104,86	123,26
<i>Idat_quartaf</i>	69	99,47	8,30	85,01	94,60	99,11	103,87	122,12
<i>Idat_quintaf</i>	68	99,96	8,94	84,35	93,82	99,74	104,23	130,80
<i>Idat_sextaf</i>	67	99,10	6,85	83,30	95,35	99,86	102,90	115,38
<i>Idat_sabado</i>	66	97,38	8,12	72,19	93,86	98,83	102,89	112,54
<i>Idat_feriado</i>	17	101,55	13,16	73,94	95,34	101,30	113,43	121,18

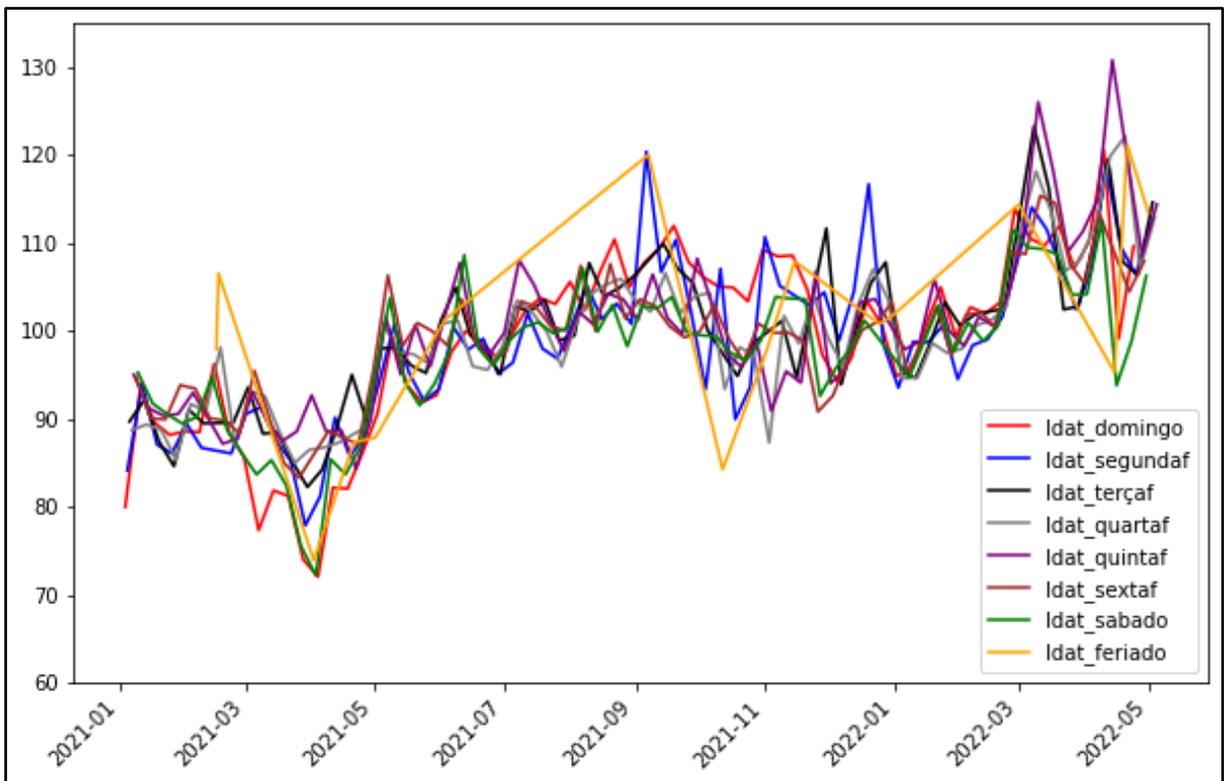
Fonte: Banco Central do Brasil e Bloomberg, 2022 - Elaboração própria

Gráfico 7 – Transferências Pix segregadas por dias da semana e feriados (em 10 milhões)



Fonte: Banco Central do Brasil, 2022 - Elaboração própria

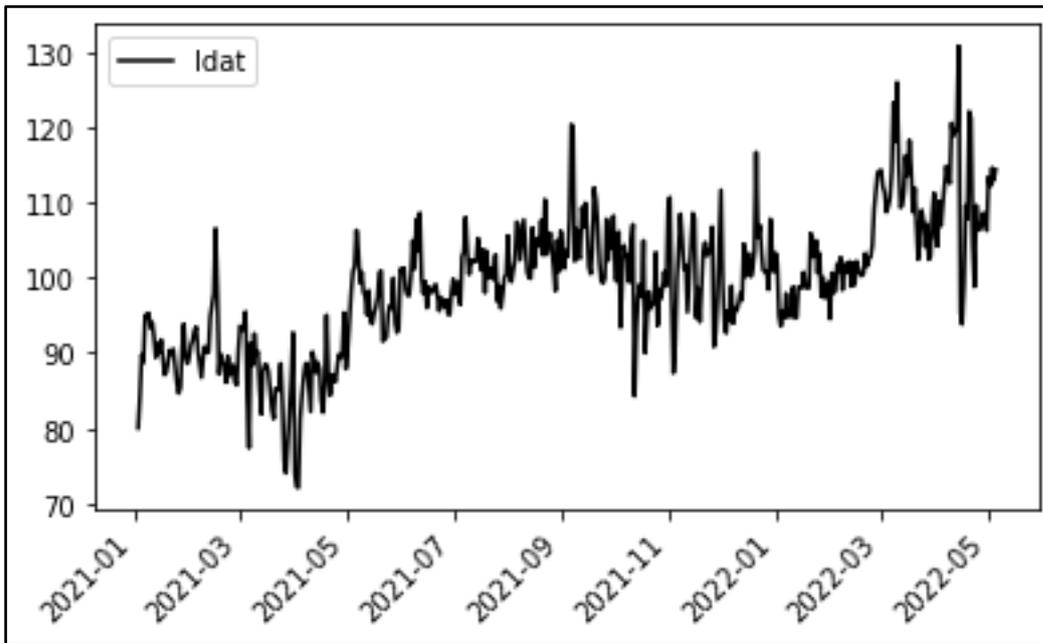
Gráfico 8 – IDAT segregado por dias da semana e feriados (em base = 100)



Fonte: Bloomberg, 2022 - Elaboração própria

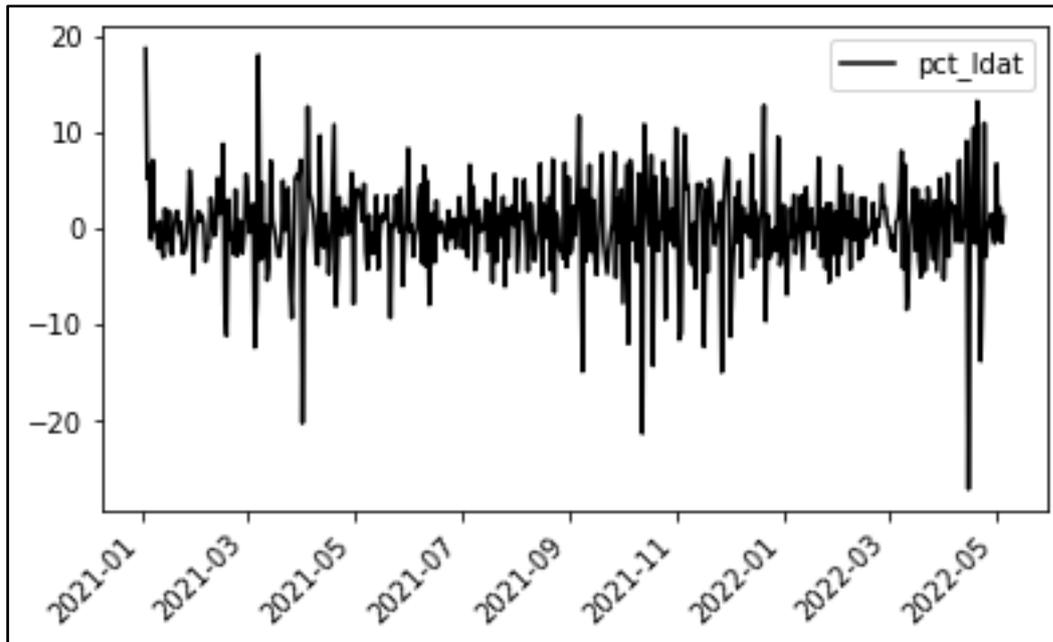
A segunda série a ser utilizada se refere ao índice IDAT calculado pelo banco Itaú e disponibilizado na plataforma de dados econômicos e financeiros Bloomberg. O gráfico 9 ilustra a série *Idat*, que compreende ao mesmo período entre 03/01/2021 e 05/05/2022. Além disso, assim como na série do Pix dessazonalizada, a série *Idat* será transformada em sua variação percentual entre períodos, com o intuito de torná-la estacionária. A série com variação percentual é exibida no gráfico 10.

Gráfico 9 – Índice IDAT (em base = 100)



Fonte: Bloomberg, 2022 - Elaboração própria

Gráfico 10 – Variação percentual do IDAT (em %)



Fonte: Bloomberg, 2022 - Elaboração própria

No que tange ao movimento sazonal no IDAT, quando analisadas as estatísticas descritivas associadas aos dias da semana e feriados, na tabela 2, não se percebe uma variação significativa da média como visto na série do Pix, com variações entre 97,38 e 101,55. Além do que, no gráfico 8, as tendências dos dias não se encontraram expressivamente deslocadas como se observou no gráfico 7 do Pix. Portanto, conclui-se que não será necessário dessazonalizar a série IDAT.

Por fim, tendo definido que as séries utilizadas na base de dados serão *pct_Pix_dessaz* e *pct_Idat*, resta realizar os testes de estacionariedade das mesmas. Segundo Jones e Olson (2013) para a aplicação do modelo DCC-GARCH é necessário verificar a presença de estacionariedade das séries por meio de um teste ADF (*Augmented Dickey-Fuller*) de raiz unitária. O teste consiste em verificar a hipótese nula (H_0) de que a série é não estacionária, caso a hipótese nula seja rejeitada, pode-se dizer que é uma série estacionária. Na tabela 3 é possível observar que ao nível de significância de 1%, a hipótese nula do teste ADF é rejeitada para ambas as séries, o que implica dizer que *pct_Pix_dessaz* e *pct_Idat* são estacionárias.

Tabela 3 – Teste de estacionariedade (ADF)

	Teste ADF
<i>pct_Pix_dessaz</i>	-27,2 ***
<i>pct_Idat</i>	-26,7 ***
*** Estatisticamente significativa a 1% de significância	

Fonte: Elaboração própria (R)

6 RESULTADOS

Com o objetivo de investigar a existência de uma correlação condicional dinâmica significativa entre as transferências Pix e o nível de atividade econômica calculado por meio do IDAT, neste capítulo será implementado o processo de estimação do modelo DCC-GARCH, baseado na metodologia descrita no capítulo 4. Como sugerido por Morettin e Tolo (2020), por meio da linguagem de programação R serão utilizados os pacotes *forecast*, *rugarch* e *rmgarch* para a estimação do modelo.

A princípio, é necessário estimar um modelo ARMA (m,n) para cada uma das séries. Para isso, foram estimados 64 modelos ARMA para a série *pct_Pix_dessaz* com combinações das ordens m e n variando de 0 a 7 cada uma. Na tabela 4, é exibida a medida de performance BIC (*Bayesian information criterion*) de cada modelo ARMA (m,n), onde é possível observar que o melhor modelo, ou seja, o que minimiza o BIC é o ARMA (1,1). Optou-se pela utilização do BIC como critério de escolha do melhor modelo pois, em comparação com o critério mais comumente utilizado AIC (*Akaike information criterion*), o BIC penaliza modelos com muitos termos, prezando por modelos mais parcimoniosos, o que será necessário uma vez que ainda serão acrescentados termos advindos do GARCH. Quanto à seleção do melhor modelo para a série *pct_Idat*, a tabela 5 exibe as medidas BIC de cada combinação, e o ARMA (7,0) se encontra como melhor modelo dentre os demais, minimizando o critério BIC.

Tabela 4 – BIC dos modelos ARMA(m,n) para a série *pct_Pix_dessaz*

Ordem "m" AR(m)	Ordem "n" MA(n)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	4.200,5	4.181,2	4.179,8	4.185,3	4.190,3	4.194,4	4.200,5	4.203,4
1	4.187,9	4.178,1	4.184,3	4.190,1	4.195,6	4.200,5	4.206,2	4.209,4
2	4.184,3	4.184,3	4.190,5	4.196,2	4.187,3	4.192,9	4.198,9	4.213,7
3	4.189,1	4.189,9	4.196,0	4.195,4	4.193,0	4.192,4	4.198,4	4.219,8
4	4.194,0	4.195,8	4.186,5	4.192,5	4.201,0	4.193,0	4.211,3	4.207,6
5	4.194,7	4.199,6	4.192,4	4.198,3	4.202,9	4.208,1	4.205,6	4.219,0
6	4.197,8	4.203,2	4.207,7	4.213,6	4.204,2	4.210,5	4.210,9	4.215,8
7	4.202,1	4.207,9	4.213,3	4.202,9	4.210,3	4.216,0	4.211,6	4.219,7

Fonte: Elaboração própria (R)

Tabela 5 – BIC dos modelos ARMA(m,n) para a série *pct_Idat*

Ordem "m" AR(m)	Ordem "n" MA(n)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	2.909,8	2.881,6	2.835,0	2.829,9	2.835,5	2.841,7	2.846,0	2.833,6
1	2.897,3	2.826,7	2.831,2	2.835,7	2.842,2	2.847,2	2.849,9	2.833,2
2	2.888,6	2.830,5	2.831,6	2.821,8	2.840,0	2.834,3	2.833,5	2.835,9
3	2.876,9	2.832,5	2.832,3	2.841,6	2.824,5	2.826,8	2.832,3	2.839,8
4	2.860,7	2.832,8	2.831,6	2.836,1	2.826,1	2.824,8	2.834,0	2.844,9
5	2.837,2	2.830,1	2.829,2	2.830,5	2.829,9	2.836,1	2.829,6	2.835,7
6	2.814,2	2.812,5	2.816,8	2.823,0	2.828,7	2.834,4	2.840,7	2.838,6
7	2.811,1	2.817,2	2.823,0	2.817,3	2.823,2	2.840,6	2.829,4	2.837,8

Fonte: Elaboração própria (R)

Em seguida é necessário testar se os modelos ARMA(1,1) e ARMA(7,0) estimados para as séries *pct_Pix_dessaz* e *pct_Idat* contém heterocedasticidade, e portanto averiguar se aderem ao GARCH e DCC-GARCH. Para isso, como utilizado em Jones e Olson (2013), será realizado um teste ARCH LM nos resíduos dos modelos ARMA. O teste ARCH LM tem como hipótese nula a presença de um processo homocedástico na série – ou nos resíduos de um modelo, neste caso, dos modelos ARMA - e a hipótese alternativa é a presença de heterocedasticidade. Caso a hipótese nula seja rejeitada, conclui-se que é adequada a implementação do GARCH.

Tabela 6 - Teste de heterocedasticidade (ARCH LM) para os resíduos dos modelos

Teste ARCH LM	
<i>pct_Pix_dessaz</i> ARMA(1,1)	20,28 ***
<i>pct_Idat</i> ARMA(7,0)	20,02 ***
*** Estatisticamente significativa a 1% de nível de significância	

Fonte: Elaboração própria (R)

Nota-se na tabela 6 que, ao nível de significância de 1% rejeita-se a hipótese nula de homoscedasticidade dos resíduos para ambos os casos, e dessa forma, é adequada a estimação de ARMA-GARCH para ambas as séries. Como sugerido por Engle (2002), a parte GARCH do modelo terá ordem (1,1), e conseqüentemente, a série *pct_Pix_dessaz* será aderida ao ARMA(1,1)-GARCH(1,1), e a série *pct_Idat* ao ARMA(7,0)-GARCH(1,1).

Os modelos ARMA-GARCH definidos serão utilizados para a estimação dos parâmetros do DCC-GARCH, como pode-se averiguar na tabela 7 a seguir:

Tabela 7 - Parâmetros estimados do modelo DCC-GARCH

	Estimativa	Erro Padrão	Valor-t	p-valor
<i>Modelo ARMA(1,1)-GARCH(1,1): pct_Pix_dessaz</i>				
<i>[pct_Pix_dessaz].mu</i>	0,6479	0,3597	1,8010	0,0717 *
<i>[pct_Pix_dessaz].ar1</i>	0,4101	0,1294	3,1693	0,0015 ***
<i>[pct_Pix_dessaz].ma1</i>	-0,6892	0,0513	-13,4352	0,0000 ***
<i>[pct_Pix_dessaz].omega</i>	54,1637	11,9748	4,5231	0,0000 ***
<i>[pct_Pix_dessaz].alpha1</i>	0,7880	0,1736	4,5402	0,0000 ***
<i>[pct_Pix_dessaz].beta1</i>	0,1299	0,0689	1,8842	0,0595 *
<i>Modelo ARMA(7,0)-GARCH(1,1): pct_Idat</i>				
<i>[pct_Idat].mu</i>	0,1222	0,0814	1,5005	0,1335
<i>[pct_Idat].ar1</i>	-0,4126	0,0593	-6,9631	0,0000 ***
<i>[pct_Idat].ar2</i>	-0,3025	0,0603	-5,0141	0,0000 ***
<i>[pct_Idat].ar3</i>	-0,2943	0,0767	-3,8394	0,0001 ***
<i>[pct_Idat].ar4</i>	-0,2858	0,0689	-4,1504	0,0000 ***
<i>[pct_Idat].ar5</i>	-0,2020	0,0596	-3,3885	0,0007 ***
<i>[pct_Idat].ar6</i>	-0,1564	0,0463	-3,3795	0,0007 ***
<i>[pct_Idat].ar7</i>	0,1939	0,0497	3,9014	0,0001 ***
<i>[pct_Idat].omega</i>	6,8818	3,3151	2,0759	0,0379 **
<i>[pct_Idat].alpha1</i>	0,4124	0,1440	2,8629	0,0042 ***
<i>[pct_Idat].beta1</i>	0,2271	0,2348	0,9669	0,3336
<i>Modelo DCC-GARCH: pct_Pix_dessaz e pct_Idat</i>				
<i>[Joint]dcca1</i>	0,0231	0,0196	1,1816	0,2374
<i>[Joint]dccb1</i>	0,8436	0,1216	6,9390	0,0000 ***
<i>Número de observações = 487</i>				
* Estatisticamente significativa a 10% de nível de significância				
** Estatisticamente significativa a 5% de nível de significância				
*** Estatisticamente significativa a 1% de nível de significância				

Fonte: Elaboração própria (R)

Onde os parâmetros referentes ao ARMA(m,n)-GARCH(p,q) estimados para cada série são:

- **mu**: refere-se ao termo constante μ da equação (8);
- **ar(i)**: termo autorregressivo ϕ_i da equação (8);
- **ma(j)**: termo de médias móveis θ_j da equação (8);
- **omega**: termo ω da equação (7);
- **alpha1**: termo α_1 da equação (7);
- **beta1**: termo β_1 da equação (7);

E os parâmetros conjuntos estimados referentes ao modelo DCC-GARCH são:

- **[Joint]dcca1**: termo α da equação (15);
- **[Joint]dccl1**: termo β da equação (15);

Quanto à estimação do ARMA(1,1)-GARCH(1,1) para a série *pct_Pix_dessaz*, os parâmetros *ar1*, *ma1*, *omega* e *alpha1* são significantes ao nível de 1% de significância, *beta1* e *mu* são significantes a 10%, o que se mostra suficiente para a composição do modelo. Com relação ao ARMA(7,0)-GARCH(1,1) da série *pct_Idat*, tem-se que os parâmetros *ar1* ao *ar7* e *alpha1* são significantes ao nível de 1% de significância, e *omega* é significativa a 5%, sendo capaz de satisfazer a composição do modelo. E no que tange à estimação do DCC-GARCH, o parâmetro conjunto *dccl1* é significativo ao nível de significância de 1%, sendo suficiente para a estimação da covariância e correlação condicional dinâmica.

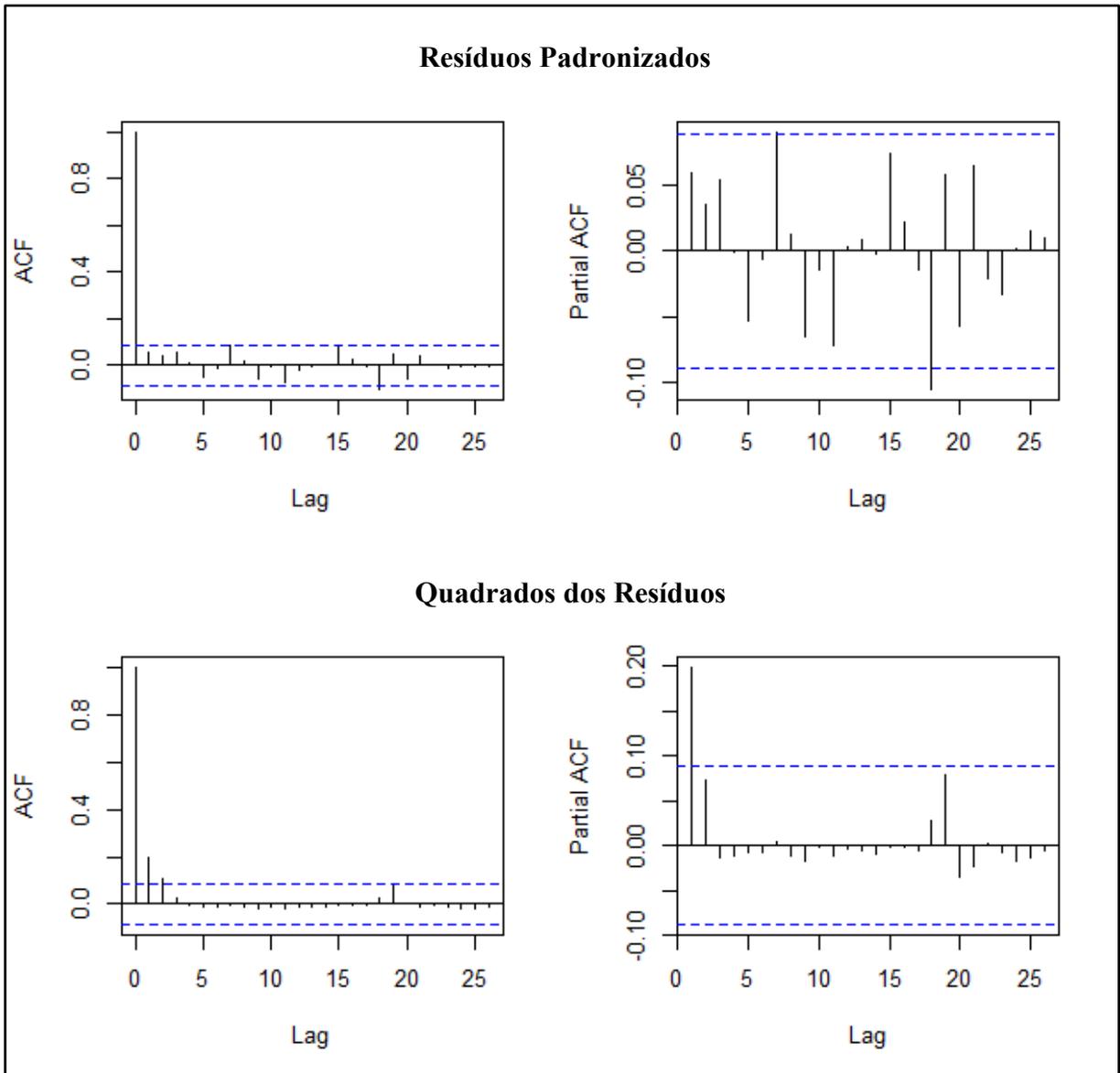
Baseado em Jones e Olson (2013), é necessário realizar o teste Ljung-Box nos resíduos padronizados e quadrado dos resíduos de cada um dos modelos ARMA-GARCH. Neste teste busca-se aceitar a hipótese nula que indica os resíduos sendo independentemente distribuídos, e incorrendo em não existência de autocorrelação entre eles. Na tabela 8, nota-se que para os resíduos padronizados não se rejeita a hipótese nula ao nível de 10% de significância a partir do lag 7 para ambos os modelos, e para os quadrados dos resíduos não se rejeita a hipótese nula ao nível de 5% de significância a partir do lag 21 para ambos os modelos, e a 10% de significância a partir do lag 28 para os modelos das séries *pct_Pix_dessaz* e *pct_Idat*, respectivamente. Assim, conclui-se que os modelos foram estimados adequadamente e por consequência, o DCC-GARCH também é estimado adequadamente. Por fim, nos gráficos 11 e 12 é possível verificar as funções ACF e PACF dos resíduos padronizados e quadrados dos resíduos dos modelos analisados.

Averiguada a consistência dos modelos, por fim, por meio do DCC-GARCH é estimado a covariância e correlação condicional dinâmica entre a variação do Pix e a variação do Idat (*pct_Pix_dessaz* e *pct_Idat*), exibidas nos gráficos 13 e 14. Nota-se que existe uma correlação condicional significativamente e consistentemente positiva entre as séries ao longo de todo o período.

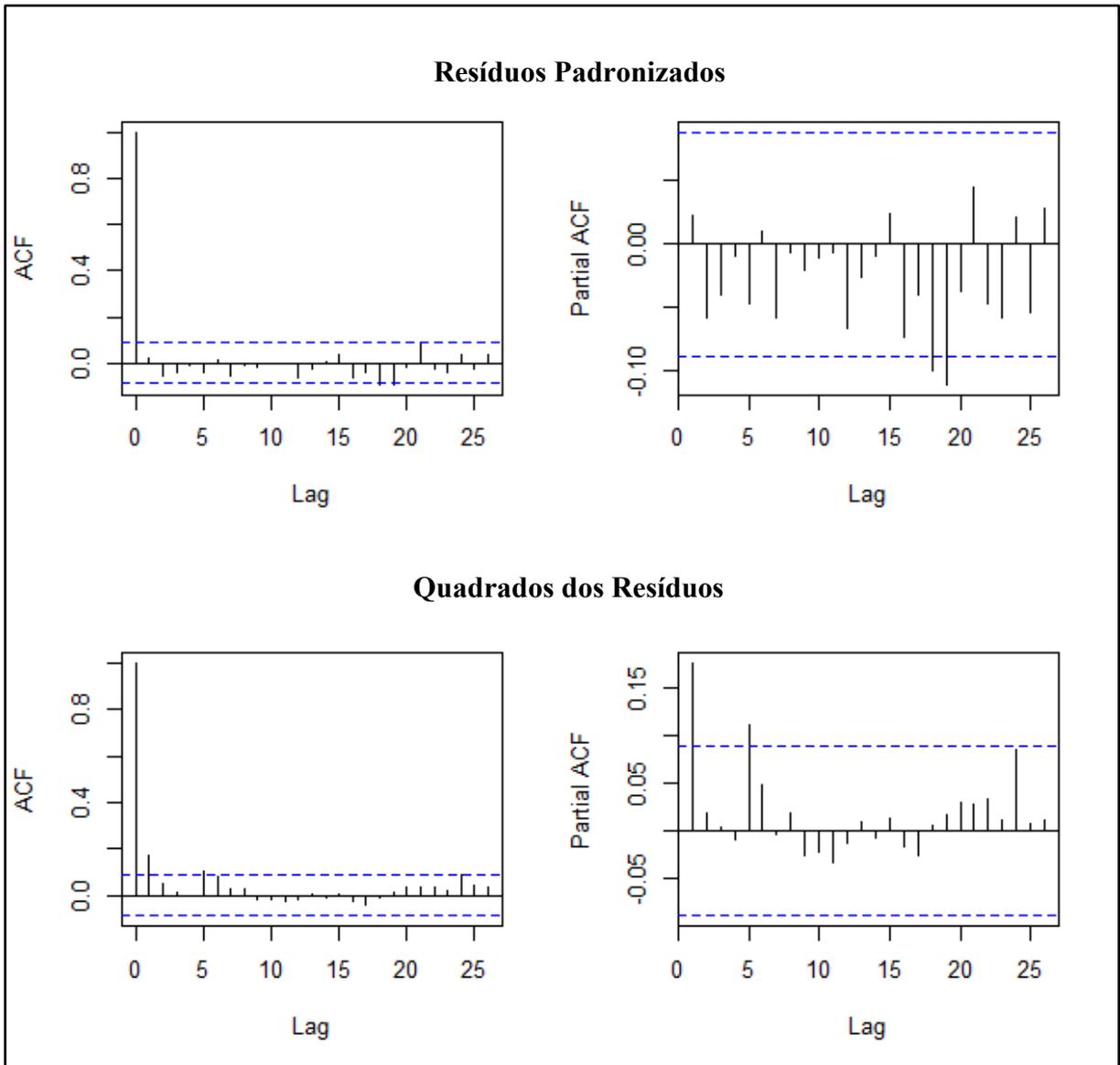
Tabela 8 - Teste Ljung-Box (estatística Qui-quadrado, com p-valor entre parênteses)

Lags dos Resíduos Padronizados	Modelos	
	<i>pct_Pix_dessaz</i>	<i>pct_Idat</i>
	<i>ARMA(1,1)-GARCH(1,1)</i>	<i>ARMA(7,0)-GARCH(1,1)</i>
7	8,9964 (0,2529)	5,0599 (0,6526)
14	13,7899 (0,4654)	7,2886 (0,9230)
21	26,1656 (0,2002)	22,4964 (0,3714)
28	26,4842 (0,5464)	27,3356 (0,5000)
Lags dos Quadrados dos Resíduos		
7	25,5707 (0,0001)	25,5802 (0,0005)
14	26,2134 (0,0243)	26,8762 (0,0199)
21	30,2032 (0,0879)	29,4140 (0,1044)
28	30,9101 (0,3210)	35,9438 (0,1440)

Fonte: Elaboração própria (R)

Gráfico 11 – ACF e PACF dos resíduos referentes ao modelo *pct_Pix_dessaz* $ARMA(1,1)$ - $GARCH(1,1)$ 

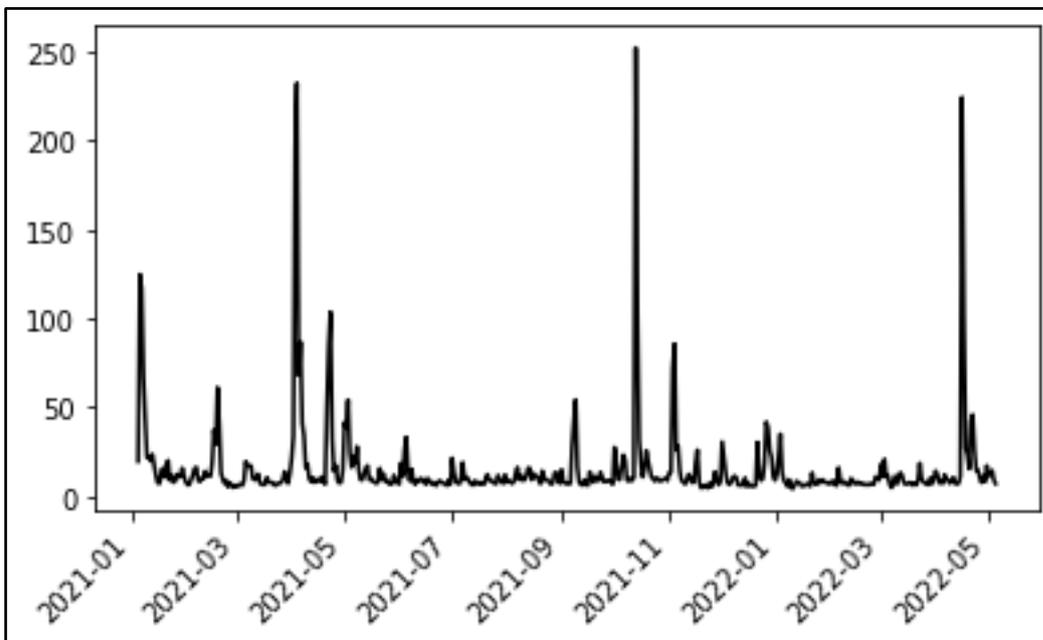
Fonte: Elaboração própria (R)

Gráfico 12 - ACF e PACF dos resíduos referentes ao modelo $pct_Idat\ ARMA(7,0)\text{-}GARCH(1,1)$ 

Fonte: Elaboração própria (R)

Gráfico 13 - Correlação condicional dinâmica entre variação Pix (pct_Pix_dessaz) e variação IDAT (pct_Idat)

Fonte: Elaboração própria (R)

Gráfico 14 - Covariância condicional dinâmica entre variação Pix (pct_Pix_dessaz) e variação IDAT (pct_Idat)

Fonte: Elaboração própria (R)

7 CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou analisar a hipótese de existência de correlação condicional dinâmica entre as transferências Pix e o nível de atividade econômica do Brasil, sendo utilizado o IDAT, índice calculado pelo Itaú, como proxy. Dessa maneira, a pesquisa tem por objetivo contribuir para a literatura do Pix e incentivar novos estudos acadêmicos sobre o tema.

Foram utilizadas as séries referentes à quantidade de transferências Pix e do índice IDAT, sendo que se viu a necessidade de dessazonalização da série Pix, que assim foi realizada por meio do método de Componentes Não Observados. E por fim, as séries foram transformadas em variação percentual, para se observar estacionariedade.

Para cada uma das séries foi ajustado um modelo ARMA-GARCH levando-se em consideração critérios de seleção de modelos, e posteriormente foi possível a estimação do modelo DCC-GARCH, de correlação condicional dinâmica. Observou-se um adequado ajuste do modelo, e dessa forma confirmou-se a existência de uma correlação condicional dinâmica significativamente positiva entre as séries ao longo do período analisado.

Assim, conclui-se que oscilações da atividade econômica brasileira - que são captadas pelo índice IDAT - têm correspondências de mesmo sinal do que das oscilações observadas nas transferências Pix. No entanto, apesar de intuitivo, até o momento não se pode afirmar que existe uma causalidade entre as variáveis, ou seja, que o crescimento da atividade econômica gera aumentos das transferências Pix, o que seria necessário a realização de testes adicionais.

Por fim, como sugestão para novos estudos que abarquem o tema, apresentam-se: (1) a avaliação do comportamento de causalidade entre as variáveis estudadas, como comentado anteriormente; (2) a realização de teste similar com proxy de atividade econômica mais robusta, como a variação do PIB calculado pelo IBGE; (3) análise de correlação e causalidade entre as transferências Pix e a taxa de juros brasileira.

REFERÊNCIAS

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Estatísticas do Pix**. 2022a. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/estatisticaspix>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Relatório de cidadania financeira 2021**. Brasília – DF, 2021a.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Apresentação Pix 1 ano**. 2021b. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/detalhenoticia/590/noticia>>. Acesso em: 16 nov. 2021b.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Sistema de pagamentos brasileiro (SPB)**. 2022b. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/spb>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

BOLLERSLEV, Tim. Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. **Journal of Econometrics**, North-Holland, v. 31, p. 307-327, fev. 1986.

BOX, G.; JENKINS, G. **Time series analysis: forecasting and control**. San Francisco: Holden-Day, 1970. 575 p.

DURBIN, James; KOOPMAN, Siem J. **Time series analysis by state space methods**. ed. 2. Oxford: Oxford University Press, 2012, 346 p. (Oxford statistical Science series, n. 38)

ENGLE, Robert. Dynamic conditional correlation: a simple class of multivariate GARCH models. **Journal of Business & Economic Statistics**, Londres, v. 20, n. 3, p. 339-350, jan. 2002.

FULTON, Chad. **Seasonal adjustment: COVID-19 cases**. 27 jan. 2021. Disponível em: <<http://www.chadfulton.com/topics/002-seasonal-adjustment.html>>. Acesso em 15 jun. 2022.

HARVEY, Andrew C. **Forecasting, structural time series models and the Kalman filter**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990, 578 p.

ITAÚ BBA. **IDAT atividade Brasil**. 2022. Disponível em: <<https://www.itau.com.br/itaubba-pt/analises-economicas/brasil/indicadores-macroeconomicos/macro-brasil/idat-atividade-brasil>>. Acesso em: 20 jul. 2022.

JONES, Paul M.; OLSON Eric. The time-varying correlation between uncertainty, output, and inflation: evidence from a DCC-GARCH model. **Economics Letters**, Amsterdam, v.118, n. 1, p. 33-37, jan. 2013.

LAZARINI, Jader. IDAT: Itaú (ITUB4) cria indicador de atividade econômica diária. **Suno Notícias [online]**, São Paulo, 2 jul. 2020. Economia. Disponível em: <<https://www.suno.com.br/noticias/idat-itau-itub4-indicador-atividade-economia-diaria/>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

MARTIN, V. L.; HURN, A. S.; HARRIS, D. **Econometric modelling with time series: specification, estimation and testing**. Cambridge: Cambridge University Press, 2012, 953 p.

MORETTIN, Pedro A.; TOLOI, Clélia M. C. **Análise de séries temporais: modelos multivariados e não lineares**. São Paulo: Blucher, 2020, 284 p.

SANTOS, Clodoaldo B. **Inclusão financeira e desenvolvimento econômico: uma análise sob o contexto brasileiro**. 2020. 89f. Tese (Mestrado em Gestão para a Competitividade) – EAESP/FGV, São Paulo, 2020.