

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA – UFSM  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO**

**Vitor Hugo de Souza**

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE VARIÁVEIS DETERMINANTES  
DA ESTOCAGEM DA SOJA EM GRÃOS EM SILOS METÁLICOS**

Santa Maria, RS  
2017

Vitor Hugo de Souza

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE VARIÁVEIS DETERMINANTES DA  
ESTOCAGEM DA SOJA EM GRÃOS EM SILOS METÁLICOS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de Concentração em Gerência da Produção, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia de Produção.**

Orientador: Prof. Dr. Adriano Mendonça Souza

Santa Maria, RS  
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

de Souza, Vitor Hugo  
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE VARIÁVEIS DETERMINANTES  
DA ESTOCAGEM DA SOJA EM GRÃOS EM SILOS METÁLICOS / Vitor  
Hugo de Souza.- 2017.  
90 p. ; 30 cm

Orientador: Adriano Mendonça Souza  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção, RS, 2017

1. Vetores Autorregressivos 2. Soja 3. Silos 4.  
Temperatura e Umidade 5. Regressões Dinâmicas I. Mendonça  
Souza, Adriano II. Título.

---

© 2017

Todos os direitos autorais reservados a Vitor Hugo de Souza. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua Santos Dumont, n. 820, Centro, Santa Rosa, RS. CEP: 98900-000

Fone: (0xx)55 99703 1977; Endereço Eletrônico: vitorfema@gmail.com

**Vitor Hugo de Souza**

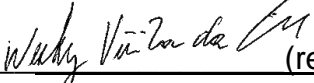
**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE VARIÁVEIS DETERMINANTES DA  
ESTOCAGEM DA SOJA EM GRÃOS EM SILOS METÁLICOS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de Concentração em Gerência da Produção, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia de Produção**.

**Aprovado em 06 de março de 2017**

---

**Adriano Mendonça Souza, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

 (realizada por videoconferência)  
**Wesley Vieira da Silva, Dr. (PUC-PR)**

---

**Luciane Flores Jacobi, Dr<sup>a</sup>. (UFSM)**

Santa Maria, RS  
2017

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à minha família e a todos que me ajudaram a chegar até a conclusão deste mestrado.*

## **AGRADECIMENTOS**

*Agradeço a Deus por todas as coisas boas que tem me proporcionado.*

*Agradeço à minha família que sempre está ao meu lado.*

*Agradeço a todos aqueles que me incentivaram para que eu continuasse estudando, estou eternamente grato à Fundação Educacional Machado de Assis pelo apoio recebido e pelas palavras de incentivo recebidas do meu amigo Carlos.*

*Agradeço em especial também ao meu orientador, Dr. Adriano Mendonça Souza, por todo o tempo despendido para a conclusão deste mestrado, obrigado pela paciência, pelo empenho e pelo seu jeito muito especial em tratar as pessoas.*

*Agradeço a todos os professores do PPGEF, à secretaria Márcia e ao secretário Fernando, os quais muito me ajudaram naquilo que sempre precisei. Aos colegas do PPGEF, meu obrigado, e aos professores da banca meu eterno agradecimento. Ao colega Fernando Krein Pinheiro, com que tive a oportunidade de começar e terminar junto este mestrado, obrigado.*

## RESUMO

### ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE VARIÁVEIS DETERMINANTES DA ESTOCAGEM DA SOJA EM GRÃOS EM SILOS METÁLICOS

AUTOR: Vitor Hugo de Souza

ORIENTADOR: Adriano Mendonça Souza

A soja (*Glycine Max*) é um dos grãos mais comercializados e exportados pelo Brasil, sua qualidade depende da temperatura e da umidade do produto durante o seu armazenamento. Temperatura e umidade elevada ocasionam a deterioração dos grãos, sendo, por isso, de fundamental importância o estudo do comportamento dessas variáveis. O objetivo desta pesquisa é desenvolver um modelo econométrico que seja capaz de revelar o comportamento da temperatura e da umidade em um protótipo armazenador de grãos de soja. Os dados são coletados e armazenados por meio de um software desenvolvido para este propósito. Procura-se fornecer subsídios para a monitoração dessas variáveis por meio da metodologia de vetores autorregressivos, considerando as temperaturas e umidades internas e externas ao silo. Realizou-se o impulso de resposta, que mostrou o quanto cada variável responderá a um evento externo em relação à alteração de temperatura e umidade. Conclui-se que a previsão antecipada da temperatura e umidade tem grande importância para que o operador possa realizar um plano de aeração para manter a qualidade do grão.

**Palavras-chave:** Soja. Silos. Temperatura. Umidade. Vetores Autorregressivos. Regressões Dinâmicas.

## ABSTRACT

### ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF DETERMINANT VARIABLES OF SOYBEAN STORAGE IN METAL SILOS

AUTHOR: Vitor Hugo de Souza  
ADVISOR: Adriano Mendonça Souza

Soybean (*Glycine max*) is one of the grains most sold and exported by Brazil. Its quality depends on the temperature and moisture content of the product during storage. Temperature and high humidity cause deterioration of the beans, and therefore it is of fundamental importance to study the behavior of these variables. The objective of this study is to develop an econometric model that is able to reveal the behavior of temperature and humidity in a prototype soybean storage facility. Data is collected and stored by software developed for this purpose. The objective is to provide assistance for monitoring these variables using the methodology of vector autoregression, considering the internal and external temperature and humidity of the silo. Impulse response was performed and it showed how much each variable will respond to an external event in relation to a change in temperature and humidity. It is concluded that an early prediction of temperature and humidity is very important to allow the operator to perform an aeration plan to maintain the quality of the product.

**Keys words:** Soybean. Silos. Temperature. Humidity. Vector Autoregression. Dynamic Regressions.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama Geral de Conservação de Cereais. ....	20
Figura 2 - Placa Arduino Uno .....	26
Figura 3 - Pinagem da placa Arduino Uno. ....	26
Figura 4 - Software em linguagem java para a coleta de dados.....	34
Figura 5 - Gráficos das variáveis temperatura e umidade em nível do protótipo .....	44
Figura 6 - Gráfico das variáveis temperatura e umidade em primeiras diferenças do protótipo .....	46
Figura 7 - Impulso realizado na variável T7 e respostas nas demais variáveis que compõem o sistema de sensores do protótipo .....	53
Figura 8 - Impulso realizado na variável U7 e respostas nas demais variáveis que compõem o sistema de sensores do protótipo .....	54
Figura 9 - Impulso realizado na variável U1 e respostas nas demais variáveis que compõem o sistema de sensores do protótipo .....	55
Figura 10 - Impulso realizado na variável $\Delta(T3)$ e respostas nas demais variáveis que compõem o sistema de sensores do protótipo .....	56
Figura 11 - Valores previstos e ajustados do modelo.....	61
Figura 12 - Valores previstos 6 passos à frente das variáveis internas ao protótipo .....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Inferências do grau de umidade no grão de soja .....	21
Tabela 2 - Teor de umidade do grão de soja a diferentes umidades relativas do ar e temperaturas .....	22
Tabela 3 - Analisando todas as variáveis internas de estocagem menos as variáveis externas.....	37
Tabela 4 - Estatísticas descritivas das variáveis temperatura e umidade de cada sensor localizado internamente e externamente ao protótipo.....	38
Tabela 5 - Estatística descritiva das variáveis: média, desvio padrão e coeficiente de variação, de Julho a Dezembro de 2016 .....	39
Tabela 6 - Estatística descritiva da temperatura e umidade, coeficiente de variação por turno de horários dos meses de Julho a Dezembro .....	42
Tabela 7 - Teste de raiz unitária <i>Augmented Dickey-Fuller (ADF)</i> para as variáveis temperatura e umidade em nível e em primeiras diferenças .....	48
Tabela 8 - Teste de estacionariedade <i>Kwiatkowski, Phillips, Schmidt and Shein (KPSS)</i> .....	49
Tabela 9 - Critérios de Informação AIC, BIC, para oito defasagens no modelo VAR irrestrito.....	50
Tabela 10 - Critérios de Informação AIC, BIC, realizados com um <i>lag</i> .....	51
Tabela 11 - Ordenação das variáveis endógenas por meio do teste de <i>Block Exogeneity Wald Tests</i> .....	52
Tabela 12 - Modelo dinâmico estimado pelo método três estágios das variáveis: U1, U2, U3, U4, U5, U6, T1, T2, T3, T4, T5 e T6. ....	57
Tabela 13 - Valores previstos para as variáveis internas ao protótipo, com um horizonte de 6 passos à frente .....	62

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADF	Teste de raiz unitária de Dickey e Fuller Aumentado
AIC	Critério de Informação Akaike
AR	Modelo Autorregressivo
BIC	Bayesian Information Criterion
b.u	Base Úmida
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
HQ	Critério de informação de Hannan-Quinn
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
KPSS	Teste de raiz unitária proposto pelos autores Kwiatkowski, Phillips, Schmidt e Shin.
PIS	Proteína Isolada de Soja
SC	Critério de informação de Schwarz
UR	Umidade Relativa do Ar
VAR	Modelo de Autorregressão Vetorial
$Z_t$	Representação de uma série temporal
$\Phi$	Parâmetro autorregressivo
$\Phi$	Parâmetro autorregressivo sazonal
$\Theta$	Parâmetro de médias móveis
$\Theta$	Parâmetro de médias móveis sazonal
$p$	Número de parâmetros autorregressivos
$d$	Número de diferenciações
$q$	Número de parâmetros de médias móveis
$P$	Número de parâmetros autorregressivos sazonais
$D$	Número de diferenciações sazonais
$Q$	Número de parâmetros de médias móveis sazonais
$\mu$	Média de uma variável aleatória
EQM	Erro quadrático médio
SUR	Regressão aparentemente não relacionada.
MAD	Média absoluta dos erros
MQO	Mínimos Quadrados Ordinários
SSE	Soma dos quadrados das diferenças

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	13
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.2	TEMA DA PESQUISA	15
1.3	JUSTIFICATIVA	15
1.4	OBJETIVOS	16
1.4.1	Objetivo geral	16
1.4.2	Objetivos específicos	16
1.5	DELIMITAÇÃO DO TEMA	17
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	19
2.1	ESTOCAGEM DA SOJA E MIGRAÇÃO DA UMIDADE	19
2.2	AERAÇÃO	23
2.3	ARQUITETURAS DE SOFTWARE	25
2.4	MODELO DE VETOR AUTORREGRESSIVO - VAR	26
2.4.1	Teste de estacionariedade	29
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	32
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	32
3.2	COLETA DE DADOS	32
3.3	SOFTWARE	33
3.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	34
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	37
4.1	ANÁLISE DESCRITIVA	37
4.2	ANÁLISE DA ESTACIONARIEDADE DAS SÉRIES	43
4.3	AJUSTE DOS MODELOS DE VETORES AUTORREGRESSIVOS – VAR	50
4.5	PREVISÃO DAS VARIÁVEIS DO PROTÓTIPO	57
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	66
	<b>REFERÊNCIAS</b>	69
	<b>APÊNDICE A – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS VARIÁVEIS TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA, MÍNIMO, MÁXIMO E MÉDIA DOS MESES DE JULHO, AGOSTO, SETEMBRO, OUTUBRO, NOVEMBRO E DEZEMBRO DE 2016</b>	73
	<b>APÊNDICE B – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DA TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA, MÉDIA POR TURNO DOS MESES DE JULHO, AGOSTO, SETEMBRO, OUTUBRO, NOVEMBRO E DEZEMBRO DE 2016</b>	74
	<b>APÊNDICE C – TESTE DE BLOCK EXOGENEITY DE WALD PARA TODAS AS VARIÁVEIS</b>	76
	<b>APÊNDICE D - TESTE DE BLOCK EXOGENEITY DE WALD APENAS PARA AS VARIÁVEIS SIGNIFICATIVAS</b>	80
	<b>APÊNDICE E - MODELO VAR(1) SEGUINDO A ORDENAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO TESTE DE BLOCK EXOGENEIDADE DE WALD</b>	82
	<b>APÊNDICE F – IMPULSO DE RESPOSTA PELO MÉTODO DE CHOLESKI COM INOVAÇÕES DE 1 DESVIO PADRÃO E INTERVALO DE CONFIANÇA DE <math>\pm 2</math> DESVIOS PADRÕES PARA TODAS AS VARIÁVEIS</b>	85

<b>APÊNDICE G - AUTOCORRELOGRAMA DOS RESÍDUOS ORIUNDOS DO MODELO VAR(1).....</b>	<b>86</b>
<b>APÊNDICE H – AUTOCORRELOGRAMA DOS RESÍDUOS DO MODELO DE EQUAÇÕES DINÂMICAS DAS VARIÁVEIS INTERNAS AO PROTÓTIPO .....</b>	<b>87</b>
<b>APÊNDICE I – AUTOCORRELOGRAMA PARCIAL DOS RESÍDUOS DO MODELO DE EQUAÇÕES DINÂMICAS DAS VARIÁVEIS INTERNAS AO PROTÓTIPO .....</b>	<b>88</b>
<b>APÊNDICE J – HISTOGRAMA DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES DINÂMICAS DAS VARIÁVEIS INTERNAS DO PROTÓTIPO PARA VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE .....</b>	<b>89</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A soja foi descoberta há cerca de 5 mil anos no nordeste da China. É uma planta arbustiva da família das leguminosas – nome científico: *Glycine Max (L.) Merril*. Após a domesticação da cultura, a soja se espalhou de forma lenta para o sul da Ásia e somente no final do século XV e início do século XVI, chegou à Europa (MÖHLER, 2010).

No Brasil, a soja foi cultivada pela primeira vez na estação Agropecuária de Campinas, em 1901, e foi introduzida oficialmente no Rio Grande do Sul em 1914. Porém, a expansão da soja no país aconteceu nos anos 70, com o interesse crescente da indústria de óleo e a demanda do mercado internacional (MÖHLER, 2010).

A soja é um dos principais produtos agrícolas produzidos no Brasil e vem apresentando bons resultados tanto em termos de produtividade como financeiro. Seus grãos geram grandes receitas tanto para a exportação como para o mercado interno na produção de produtos alimentícios. Nas últimas décadas vem movimentando a economia do setor primário e é considerado um dos principais produtos do Brasil no agronegócio, segundo Embrapa (2014). Na safra de 2014 foram colhidos mais de 180 milhões de toneladas de soja em todo país, sendo o Brasil o segundo colocado com a maior produção, perdendo apenas para os EUA.

É a única cultura a ter um crescimento expressivo na sua área, tem sido cultivada ao longo das últimas três décadas, o que demonstra a importância da cultura para a economia e indica a necessidade cada vez maior de estudos e pesquisas em toda etapa produtiva, desde o seu plantio até a sua estocagem.

Vários produtos podem ser obtidos a partir da soja, tais como: a soja integral, a proteína crua (uso comestível, uso industrial e farelo) e o óleo cru, a partir do qual podem ser obtidos esteróis, ácidos graxos, glicerol, lecitina e o óleo refinado (HASSE, 1996).

Segundo Möhler (2010), a soja está sendo utilizada para extração de óleo vegetal e, atualmente, vem sendo muito utilizada para produção de proteína isolada de soja (PIS), em razão de sua composição ser em média de 40% de proteína, 35% de carboidratos, 20% de óleo e 5% de cinzas, quantidade de proteína bastante elevada quando comparada com outros grãos.

Segundo De Alencar et al. (2009) para produzir produtos com excelente qualidade, a soja deverá seguir parâmetros criteriosos desde o seu plantio até a sua industrialização final, de acordo com a sua variedade plantada. A soja é um produto muito sensível, seu melhor aproveitamento ocorre quando ele está seco, por isso existem vários métodos de secagem com parâmetros de temperatura definidos. O método mais utilizado é a aeração, que é considerada um procedimento viável economicamente. Outro método é a transilagem que também atinge o objetivo da secagem, mas possui a desvantagem de perdas do produto.

A maioria das recomendações de secagem encontradas em literatura baseia-se em dados limitados ou extrapolações feitas a partir de estudos relacionados à secagem de grãos de milho.

Estima-se que 30% da produção agrícola brasileira seja perdida na lavoura, na colheita, no transporte e na armazenagem (LORINI, MIKE, SCUSSEL, 2002). Na fase de armazenagem, também se apresentam perdas de soja, pois a duração dessa etapa é a mais longa do processo.

Diante da importância do agronegócio para o país, há a necessidade de desenvolver sistemas e tecnologia para o armazenamento da soja, utilizando técnicas de previsão, planejamento e controle, de modo a evitar desperdícios. Dentre os mecanismos desenvolvidos, destacam-se os modelos econométricos que possibilitam o estudo do comportamento de várias variáveis e seus inter-relacionamentos.

## 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

O controle da temperatura em um silo é de grande importância, pois temperaturas acima de 42°C deterioram os grãos (SILVA, 1998). Insetos também causam perdas dos grãos armazenados em temperaturas na faixa de 23 a 35°C e umidade dos grãos de 12,5 a 15% (PUZZI, 1986; CARVALHO, NAKAGAWA, 1980).

Entre os fatores que mais influenciam a qualidade de grãos e sementes armazenados em silos estão: o controle da ação de fungos, ácaros e insetos; danos mecânicos; umidade e temperatura da massa de grãos que além de alterarem a qualidade dos grãos, acarretam perdas na sua qualidade (CARVALHO, NAKAGAWA, 1980).

Nesse contexto, o presente estudo tem a situação problema de avaliar se o comportamento da temperatura e da umidade relativa do ar interna ao protótipo influencia diretamente uma na outra.

## 1.2 TEMA DA PESQUISA

O tema da pesquisa refere-se à utilização de modelos econométricos vetoriais autorregressivos (VAR) para análise do comportamento da temperatura e umidade relativa interna e externa de armazenagem de soja em silos cilíndricos de metais. Além do tema da pesquisa, será proposto o desenvolvimento de um sistema para a coleta e armazenamento das variáveis a serem analisadas.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

A área da engenharia de produção, ao analisar os processos produtivos, tem como responsabilidade identificar os impactos gerados pelos processos e elaborar estratégias capazes de reduzir ou eliminar quaisquer impactos negativos, o que é denominado de gerenciamento de risco ambiental e social (BATALHA, 2008).

Uma das grandes dificuldades enfrentadas pelas cooperativas e comerciantes é a estocagem do produto, o que exige grandes armazéns e um alto controle de temperatura e umidade para que não perca qualidade e se estrague ao longo do tempo.

Quando o grão está muito úmido, ele está propenso a fungos, ardimento (perda de massa) e apodrecimento, o que faz perder seu valor econômico e nutritivo. Portanto, é necessário um controle efetivo das variáveis de temperatura e umidade, as quais, muitas vezes, são corrigidas por meio da aeração. Segundo Bern, Hannal, Wilcke (2008), não há muitos estudos relacionados à secagem dos grãos de soja.

Segundo Kester et al. (2012) uma ferramenta muito importante para compreender o comportamento das variáveis do processo produtivo da secagem da soja é realizar a modelagem das variáveis envolvidas e prever o resultado futuro.

A presente pesquisa justifica-se pela falta de estudos na área de controle de temperatura e umidade na armazenagem da soja, pois os silos existentes no mercado brasileiro realizam apenas a coleta e monitoramento da temperatura. O



produto armazenado apresenta alta lucratividade a agricultores, cooperativas e comerciantes e, se de boa qualidade, é exportada para diversos países.

Essas previsões, além de auxiliarem no manejo e controle do produto, fornecem subsídios aos administradores para a tomada de decisões quanto ao acionamento dos secadores ou troca de silos para movimentar o produto, ou até mesmo encaminhar determinados lotes para venda ou moagem. Este planejamento melhoraria o sistema de armazenamento, fornecendo subsídios aos responsáveis para a tomada de suas decisões com certo tempo de antecedência, diminuindo custos e aumentando a margem de lucro.

Para os operadores, há a necessidade de verificar se o comportamento das variáveis estudadas e reveladas pelo meio da modelagem VAR estão de acordo com os valores preconizados na literatura para a secagem dos grãos.

## 1.4 OBJETIVOS

Com o estudo proposto, definem-se os seguintes objetivos:

### 1.4.1 Objetivo geral

Analisar o comportamento das variáveis temperatura e umidade relativa do ar no curto prazo em um protótipo de silo metálico armazenador de grãos de soja.

### 1.4.2 Objetivos específicos

Para a realização dos objetivos específicos, serão seguidos alguns pré-requisitos:

- a) desenvolver um sistema de medição e armazenagem dos dados da temperatura e da umidade relativa do ar em tempo real, usando microcontroladores e sensores de uso não patenteado e que tenham uma arquitetura aberta para o uso irrestrito, conhecido como tecnologia Open Source a custo acessível;

- b) desenvolver um programa em linguagem java de programação que colete, armazene e calcule medidas de média e desvio padrão das variáveis temperatura e umidade relativa do ar;
- c) ajustar modelos econométricos do tipo vetores autorregressivos - VAR para representar as séries históricas e realizar as previsões a curto prazo de modo a auxiliar o responsável pela aeração do silo no controle da temperatura e umidade relativa do ar;
- d) realizar o impulso de resposta para verificar o impacto que uma variável causa nas demais.

### 1.5 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O estudo delimita-se por utilizar apenas as variáveis temperatura e umidade relativa do ar do protótipo e temperatura e umidade relativa do ar externa, não levando em consideração outras covariáveis relativas às especificações do grão.

Outra delimitação do estudo está relacionada aos sensores que estão instalados de forma fixa dentro do protótipo de silo em alturas pré-determinadas.

A utilização do protótipo se dá em função da não possibilidade da instalação dos sensores em um silo real, o qual requer cursos de capacitação em trabalhos em alturas para a fixação dos sensores e curso de identificação de gases.

Em relação à metodologia de modelagem, aplicam-se apenas os vetores autorregressivos, utilizando como variáveis exógenas e endógenas as variáveis de temperatura e umidade relativa do ar, não se considerando as horas de insolação, precipitação, manejo do silo, entre outras covariáveis de ordem natural.

### 1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente pesquisa está dividida em cinco capítulos, os quais buscam o bom entendimento da proposta central, através da apresentação do estudo desenvolvido.

No primeiro capítulo, aborda-se a introdução da pesquisa, onde se contextualiza o tema do estudo, o objetivo geral e específico, a problemática em si, a justificativa e a estrutura.

O segundo capítulo apresenta o referencial teórico sobre aeração, os princípios de armazenamento de grãos de cereais, aquecimento dos grãos, controle da temperatura– termometria e modelagem econométrica.

No terceiro capítulo, apresenta-se a metodologia que será empregada para atingir os objetivos propostos desta pesquisa.

No quarto capítulo são apresentados os resultados das coletas realizadas pelo software proposto, as avaliações estatísticas e os modelos de vetores autorregressivos.

O quinto capítulo apresenta as conclusões e as recomendações.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, serão apresentados os fundamentos teóricos que darão suporte a esta pesquisa, e serão detalhados os conceitos fundamentais sobre a estocagem da soja, dados de temperatura e umidade. Logo após, serão mostrados conceitos sobre modelagem econométrica.

### 2.1 ESTOCAGEM DA SOJA E MIGRAÇÃO DA UMIDADE

Sabe-se que a variação de umidade dos grãos é muito lenta em relação à variação de temperatura, de modo que a variação de umidade deve ser analisada frequentemente. Prachayawarakorn, Choteboon, Soponroiinarit (2005), em um estudo realizado em silos, verificaram que a umidade na semente ficou em torno de 14,5% (b.u.), e que, apenas próximo da parede, houve um aumento para 16% (b.u.), uma diferença de apenas 1,5% após 6 meses de armazenamento.

Segundo Moreira, Corrêa e Freire (2015), assumiu-se que a resistência convectiva à transferência de calor na parte interna do silo pode ser desprezada, de forma que a temperatura na região de contorno é a própria temperatura da parede. O autor assumiu como desprezível a resistência condutiva à transferência de calor na parede do silo.

Muir e White (2000) afirmaram que a faixa ótima de temperatura para o desenvolvimento da maioria dos microrganismos está compreendida entre 20 e 40°C. Christensen e Kaufmann (1974) mencionaram que a umidade relativa e a temperatura são fatores limitantes para o desenvolvimento de fungos de armazenamento; eles afirmaram, ainda, que o valor mínimo exigido de umidade relativa para o desenvolvimento de *Aspergillus Glaucus* fica no intervalo de temperatura entre 26 e 30°C, e sua chance de sobrevivência é de 73%.

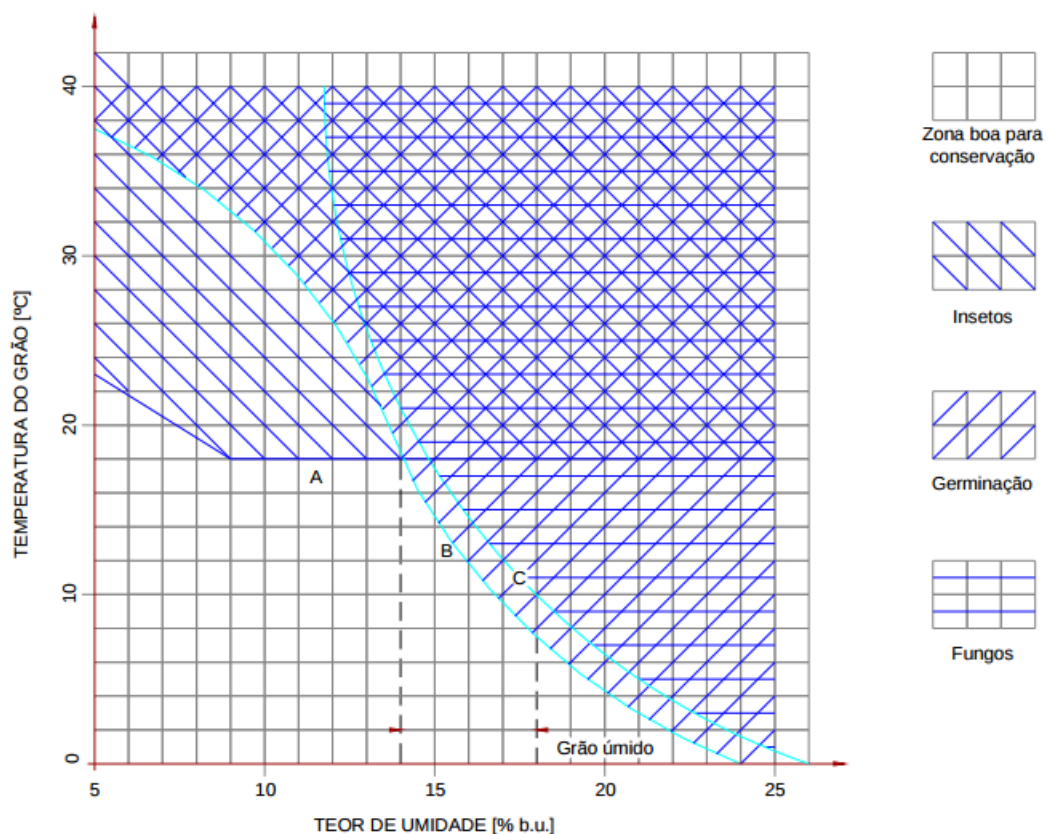
O aquecimento da massa armazenada é produzido pelo processo respiratório dos grãos úmidos associados aos fungos. O aquecimento produzido por estes microrganismos ocorre quando o teor de umidade dos grãos se encontra acima do nível considerado satisfatório para o seu armazenamento. Respiração e aquecimento de uma massa de grãos são considerados em conjunto porque são

partes de um mesmo processo biológico, do qual resultam as principais deteriorações do produto.

Segundo D'Arce (2011), quando o aquecimento se apresenta em determinada região de uma massa de grãos armazenada a granel, forma o que se denomina bolsa de calor, devido ao fato de uma massa de grãos possuírem baixa condutibilidade térmica. O calor produzido pode acumular-se na região mais rapidamente do que se desprender. Isso leva a um rápido aumento de temperatura da zona aquecida, pois a respiração é acelerada acentuadamente quando a temperatura e o teor de umidade dos grãos aumentam. A bolsa de calor pode se originar também de um foco de infestação de insetos.

O diagrama geral de conservação de cereais mostrado na Figura 1, conforme Poichotte (1973), demonstra as áreas relativas de boa conservação do cereal e as áreas de ataque de insetos, de germinação e fungos de acordo com a temperatura e teor de umidade.

Figura 1 - Diagrama Geral de Conservação de Cereais.



Fonte: (POICHOTTE, 1973).

Quanto ao transporte de calor na massa de grãos, Smith (1990) verificou que a convecção natural não é significativa para grãos de tamanho reduzido, como no caso do trigo. O processo dominante de transferência de calor na massa de grãos é a condução.

O processo para verificar a inferência do grau de umidade da estocagem de soja está citado na Tabela 1. Segundo Muir e White (2000), estes intervalos de valores são o que melhor representa o estado de qualidade da soja, quando estocado em silos, e indicam que seu melhor valor de umidade para armazenamento fica na faixa abaixo de 14% (b.u.) de umidade.

Tabela 1 - Inferências do grau de umidade no grão de soja

<b>Grau de Umidade</b>	<b>Inferência</b>
umidade < 14%	Seco
14% < umidade > 16%	Pouco Seco
16% < umidade > 18%	Úmido
umidade > 18%	Muito Úmido

Fonte: (MUIR; WHITE, 2000).

A soja só é colhida quando o agricultor verifica que a semente está entre 16 e 18% (b.u.) de umidade.

De acordo com Almeida (2016), o melhor valor para armazenagem da soja em silos seria entre 12% (b.u.) de umidade para um ano de estocagem e 11% (b.u.) para 5 anos de estocagem. A umidade ou o teor de água é definido como produto de massa de água contida no grão (matéria seca + água = substância úmida). A relação percentual entre o conteúdo de água e a matéria seca do grão se exprime em percentagem de base úmida (% b.u.), que é denominada de umidade do grão e a umidade interna ao silo ou protótipo denomina-se umidade relativa.

O grão de soja é considerado um material higroscópico, o que significa que tem a capacidade de ceder ou absorver a umidade do ar que o envolve. E, para cada tipo de grão, existe um equilíbrio higroscópico que nada mais é que o balanceamento entre a umidade do grão com a umidade relativa do ar.

Analisando as informações na Tabela 2, tem-se uma referência da umidade no grão de soja em relação à umidade relativa do ar e à temperatura em graus Celsius.

Tabela 2 - Teor de umidade do grão de soja a diferentes umidades relativas do ar e temperaturas

Umidade relativa do ar (%)	Temperatura do ar (°C)								
	8°C	14°C	20°C	22°C	25°C	28°C	31°C	33°C	36°C
	Umidade interna da semente (%)								
30%	9,2	8,2	7,2	6,7	6,2	5,7	5,2	4,7	4,2
35%	9,6	8,6	7,6	7,1	6,6	6,1	5,6	5,1	4,6
40%	10	9	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5
45%	10,4	9,4	8,4	7,9	7,4	6,9	6,4	5,9	5,4
50%	11,1	10,1	9,1	8,6	8,1	7,6	7,1	6,6	6,1
55%	11,9	10,9	9,9	9,4	8,9	8,4	7,9	7,4	6,9
60%	12,7	11,7	10,7	10,2	9,7	9,2	8,7	8,2	7,7
65%	13,9	12,9	11,9	11,4	10,9	10,4	9,9	9,4	8,9
70%	15,1	14,1	13,1	12,6	12,1	11,6	11,1	10,6	10,1
75%	16,2	15,2	14,2	13,7	13,2	12,7	12,2	11,7	11,2
80%	17,4	16,4	15,4	14,9	14,4	13,9	13,4	12,9	12,4

Fonte: (ALMEIDA, 2016)

De acordo com a Tabela 2, há um aumento na umidade interna da semente quando ocorre uma alteração na umidade relativa do ar. Esses testes feitos por Almeida (2016) mostram a importância da variável umidade relativa do ar na umidade interna da soja, que se reflete na qualidade do produto estocado.

A grande maioria das cooperativas agrícolas tem o plano de armazenagem de até um ano, pois o comércio da soja é lucrativo e de alta demanda, e a umidade do grão de soja durante este período deve ficar em até 12% (b.u.). Para atingir a umidade ideal do grão, conforme a Tabela 2, devem-se controlar as variáveis umidade relativa do ar e temperatura. A uma UR (umidade relativa do ar)= 65% e temperatura= 20°C a umidade do grão é de 11,9%, bem próximo do valor ideal.

## 2.2 AERAÇÃO

O controle de temperatura e umidade relativa do ar é feito pela aeração, que é a passagem forçada de ar através de uma massa de grãos ensilada, a qual promove a secagem do produto estocado.

Na aeração os grãos ficam armazenados no silo e quem se movimenta é o ar através das sementes. A transilagem é outro método de secagem que deixou de ser utilizada devido às desvantagens apresentadas em relação à aeração, dentre elas o seu alto custo, uma vez que prescinde da reserva de silos vazios para fazer a movimentação dos grãos, o que produz um alto índice de quebras e danos no tegumento (revestimento externo das sementes), pois toda massa localizada no silo é movimentada. Durante o processo, há um curto período de exposição do grão com o ar, sendo necessário aplicar várias repetições desse procedimento para obter o arejamento desejado, o que torna o processo completamente oneroso.

A aeração é adotada na maioria dos silos existentes nos países de clima temperado. No Brasil, principalmente a região sul, incluindo o estado de São Paulo, apresenta condições favoráveis para o emprego da aeração, pois há a obtenção de ar frio. Nas regiões tropicais, onde não é possível a obtenção de ar frio, a aeração deve ser usada com cuidado, considerando que, em alguns casos, podem ser obtidos resultados negativos, tais como: uma supersecagem da massa de grãos, se a umidade relativa do ar for baixa, ou uma condensação, se a umidade relativa for alta e a temperatura ambiente for baixa. Entretanto, vários trabalhos experimentais foram realizados em países de clima quente, como a Austrália e Israel, e o benefício da aeração tem sido amplamente constatado na prática (PUZZI, 2000).

Para realizar uma aeração, deve-se definir qual é a finalidade, secagem, estocagem, manter a temperatura e/ou a umidade. Basicamente, a aeração depende da temperatura e da umidade do grão, da temperatura e da umidade relativa do ar ambiente e deve ser controlada por um operador que deverá saber, nas horas seguintes ao início do processo, qual será a temperatura e a umidade relativa para fazer uso do aerador.

Segundo Bilobrovec (2005), para fazer o controle da temperatura da massa de grãos, empregam-se as instalações de termometria, as quais são constituídas por uma rede de sensores de temperatura dispostos de forma regular nas células de armazenamento dos silos.



Segundo Möhler (2010), a secagem da soja é um processo no qual alguns cuidados devem ser tomados, pois, por ser um grão rico em proteína e de alto valor econômico, sua secagem pode degradar esse composto. Durante a secagem a 120°C, observa-se um odor característico da queima do produto e, ao final do processo, uma mudança na coloração do grão, que era no início amarelo, torna-se marrom.

A temperatura na massa de grãos é afetada por fontes externas de calor (radiação solar direta, radiação difusa e transferência de calor por convecção com o ar ambiente) e fontes internas. As fontes internas são os calores de respiração do grão, dos insetos, ácaros e fungos (JIA; CAO, 2000).

A composição e as características estruturais de grãos armazenados variam em função das condições operacionais de pós-colheita e estão expostos a fatores físicos como temperatura e umidade, fatores químicos como oxigênio, gás carbônico e agente biológico como bactérias, fungos, insetos e roedores (ELIAS, 2002).

Gungadurdoss (2003), estudando a viabilidade de sementes de soja em diferentes condições de armazenamento, concluiu que o fator temperatura é predominante na manutenção da viabilidade das sementes de soja.

De acordo com Abba e Lovato (1999), o armazenamento de grãos em ambiente natural em regiões tropicais apresenta maiores problemas em decorrência das condições de temperatura e umidade relativa do ar, se comparado com as regiões de clima temperado ou frio.

Em regiões tropicais, como as do Brasil, onde são observadas temperaturas ambientes de armazenamento acima de 20°C, o decréscimo do percentual de vigor e de germinação é mais acentuado (DHINGRA et al., 2001).

Segundo Burris (1980), a rápida deterioração da soja durante o armazenamento é influenciada pelo teor de umidade e temperatura no grão estocado.

Em países desenvolvidos já se utiliza controle automático de aeração, os quais são pouco usados na América Latina devido aos altos custos. Esses equipamentos operam utilizando termostatos e umidistatos, que são ajustados para comandar o desligamento dos ventiladores de acordo com as condições do armazenamento, e também fazendo o controle da aeração à noite para a redução de custos de energia elétrica. O processo de aeração encarece bastante o valor do produto estocado, pois, como sabemos, nosso país passa por problemas na geração

de energia elétrica, então, usar a energia de modo adequado e principalmente nos horários mais propícios é de extrema importância para a redução dos custos de estocagem.

O processo para informar os dados de umidade do grão de soja é determinado com a utilização de aparelho específico, que revela a umidade na massa de grão em umidades percentuais (b.u).

Para a coleta das variáveis, utiliza-se um software desenvolvido para registrar temperatura e umidade relativa do ar.

### 2.3 ARQUITETURAS DE SOFTWARE

Segundo De Sordi, Marinho, Nagy (2006), a arquitetura de software é uma estrutura de sistema que abrange componentes de software, as propriedades externamente visíveis desses componentes e as relações entre eles. Uma arquitetura adequada proporciona uma melhora de comunicação entre os componentes, além de descrever a transparência entre os sistemas de software. A arquitetura contribui para a redução do tempo e custo de desenvolvimento e manutenção do software.

É importante saber quais as opções que se tem e quais os fatores que influenciam os requisitos que o software deve atender. Por isso, dois dos principais elementos de uma arquitetura de software são seus componentes e os serviços.

Cabe à arquitetura de software organizar esses elementos para que ocorra uma boa comunicação entre eles para o funcionamento adequado e eficiente.

A arquitetura proposta nesta pesquisa é uma placa arduino com sensores dht22, que irão captar a temperatura e a umidade relativa do ar em tempo. Esses dados serão processados pelo microcontrolador e armazenados no sistema operacional.

O arduino é uma plataforma open-hardware e possui seu próprio ambiente de desenvolvimento baseado na linguagem de programação C.

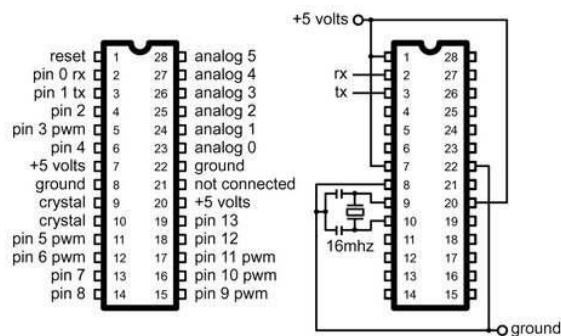
Na Figura 2, apresenta-se uma placa arduino uno que será utilizada no projeto e, na Figura 3, o tipo de pinagem do microcontrolador embutido no arduino.

Figura 2 - Placa Arduino Uno



Fonte: (ARDUINO, 2016)

Figura 3 - Pinagem da placa Arduino Uno.



Fonte: (ARDUINO, 2016)

As variáveis em estudo, coletadas e armazenadas pela placa da Figura 2, serão utilizadas na modelagem econométrica por meio dos vetores autorregressivos.

## 2.4 MODELO DE VETOR AUTORREGRESSIVO - VAR

Segundo Hill, Griffiths, Judge (1999), um modelo de vetor autorregressivo (VAR) é uma extensão do modelo autorregressivo (AR), com o diferencial que o modelo VAR utiliza várias variáveis exógenas e suas defasagens, ao passo que o AR considera apenas as suas próprias defasagens. Além disso, o modelo VAR está relacionado a modelos de equações simultâneas pelo fato de as variáveis serem consideradas endógenas e determinadas conjuntamente. Ao contrário dos modelos de equações simultâneas que apresentam diferentes variáveis exógenas e

diferentes defasagens, o modelo VAR utiliza as mesmas variáveis exógenas e o mesmo número de defasagens. Por isso ele é denominado de VAR estrutural.

Segundo Cavalcanti (2010), a utilização dos modelos VAR analisa as inter-relações entre múltiplas variáveis a partir de um conjunto mínimo de restrições, o qual permite identificar o componente “exógeno” de cada variável, possibilitando a estimação do efeito de um “choque” nessa variável sobre as demais, e está inserido no contexto de equações simultâneas. O modelo examina as relações entre as variáveis e os seus valores defasados, assim como os de todas as demais variáveis, bem como, permite avaliar o impacto resultante das perturbações aleatórias causadas nos sistemas de variáveis (CAVALCANTI, 2010). A representação do VAR geral de  $n$  variáveis de ordem  $p$  pode ser expressa da seguinte forma, conforme Enders (1995):

Sejam  $n$  processos estocásticos  $X_{1t}, X_{2t}, X_{nt}$ , a representação VAR( $p$ ) será de acordo com a equação 1.

Representação:

$$X_t = A_0 + A_1 X_{t-1} + A_2 X_{t-2} + \dots + A_p X_{t-p} + \mathcal{E}_t \quad (1)$$

$$\text{Onde: } x_t = \begin{bmatrix} X_{1t} \\ \vdots \\ X_{nt} \end{bmatrix} \quad A_0 = \begin{bmatrix} a_{10} \\ \vdots \\ a_{n0} \end{bmatrix} \quad A_i = \begin{bmatrix} a_{i,11} & \dots & a_{i,1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{i,n1} & \dots & a_{i,nn} \end{bmatrix} \quad i = 1, \dots, p \quad \mathcal{E}_t = \begin{bmatrix} \mathcal{E}_{1t} \\ \vdots \\ \mathcal{E}_{nt} \end{bmatrix}$$

$X_t$  é o vetor dos coeficientes contendo cada uma das  $n$  variáveis do vetor autorregressivo de dimensão  $n \times 1$ ;  $A_0$  é o vetor dos interceptos de dimensão  $n \times 1$ ;  $A_i$  é a matriz dos coeficientes de dimensão  $n \times n$ ;  $\mathcal{E}_t$  é o vetor dos erros de dimensão  $n \times 1$ , e com as seguintes características para o erro  $\mathcal{E}_{it} \sim I(0)$  e  $Cov(\mathcal{E}_{it}, \mathcal{E}_{st}) = 0$ .

Se as variáveis forem não estacionárias, isto é  $I(1)$ , deve-se diferenciá-las e estimar o modelo com um VAR em primeiras diferenças, equação 2.

$$\Delta X_t = A_0 + A_1 \Delta X_{t-1} + A_2 \Delta X_{t-2} + \dots + A_p \Delta X_{t-p} + \mathcal{E}_t \quad (2)$$

Onde  $\Delta$  representa a série com uma diferença.

Para propor um modelo VAR, é necessário que as séries sejam estacionárias, em nível ou em primeiras diferenças essa condição serve para explicar as relações de curto prazo entre as variáveis do conjunto (DE SENNA, 2015).

A metodologia proposta por Enders (1995) diz que é necessário determinar as variáveis apropriadas a serem incluídas no modelo e determinar o número de defasagens a serem realizadas em cada variável selecionada. Ao ajustar o VAR, deve-se definir antecipadamente o número de defasagens a serem incluídas no

modelo. Essa definição pode ser efetuada com o auxílio do *Lag Order Selection Criteria*, que indica a ordem de defasagem baseada nos penalizadores AIC (Akaike Information Criteria), BIC (Bayesian Information Criterion), o modelo que apresentar os menores valores para as estatísticas AIC e BIC, associado a o número de defasagens selecionado, deverá ser o modelo escolhido.

Morretin, Mastrangelo (2004) sugerem que, na etapa de identificação, seja encontrado não apenas um modelo, mas vários modelos concorrentes, para que posteriormente possa ser escolhido o mais importante, por meio de critérios penalizadores e que sejam parcimoniosos, ou seja, aqueles com menor número de parâmetros, conforme Souza et al. (2010), Wolff, Santos e Souza (2011).

O critério, AIC, escolhe o modelo cujas ordens  $p$  e  $q$  minimizam o valor dessa estatística. Na equação 3, descreve-se como é encontrado o AIC e, na equação 4, o BIC.

$$AIC(p, q) = \ell n(\hat{\sigma}_{p,q}^2) + \frac{2(p+q)}{n} \quad (3)$$

Akaike (1970) e Schwarz (1978) sugerem minimizar o SBC (Schwarz Bayesian Criteria).

$$BIC(p, q) = \ell n \hat{\sigma}_{p,q}^2 + (p+q) \frac{\ell n(n)}{n}, \quad (4)$$

Onde  $\hat{\sigma}_{p,q}^2$  é a estimativa de máxima verossimilhança da variância residual,  $p$  é o número de parâmetros de cada componente AR,  $q$  é o número de parâmetros da componente MA, e  $n$  é o tamanho da amostra, e  $\ln$  é o logaritmo neperiano.

Nesta etapa estima-se um modelo VAR com diferentes defasagens, e aquele modelo que apresentar o menor valor para as estatísticas AIC e BIC é o selecionado (GUJARATI, 2000).

De acordo com Enders (1995), os parâmetros do modelo VAR são estimados utilizando o método dos Mínimos Quadrados Ordinários, o qual apresenta estimativas consistentes e assintoticamente eficientes, quando os erros são serialmente não correlacionados e com variância constante. Mas, se os erros são correlacionados através das equações, o método de regressões aparentemente não correlacionadas, que em inglês é *Seemingly Unrelated Regressions* (SUR), não se mostram mais eficientes que o método Mínimos Quadrados Ordinários, desde que todas as equações tenham as mesmas variáveis e as mesmas defasagens do lado direito da equação; o método do SUR é detalhado em Hill, Griffiths, Judge (1999).

Dessa forma, se no modelo VAR estrutural, algumas variáveis são excluídas do lado direito da equação, o modelo torna-se um modelo geral de equações dinâmicas, e neste caso, o método de MQO torna-se ineficiente e o método SUR torna-se eficiente, levando em consideração as correlações contemporâneas dos resíduos entre as equações. Em ambos os casos de estimação dos parâmetros, quer seja por MQO ou SUR, o que se busca são resíduos do tipo ruído branco.

Na modelagem VAR, como há um inter-relacionamento entre as variáveis, é possível encontrar a contribuição que uma variável causa na outra, portanto, os impactos gerados podem ser analisados pela metodologia denominada de função impulso de resposta, que oferece o efeito corrente e futuro causado nas variáveis endógenas em termos de desvios padrões aplicados nas variáveis exógenas e que se transmitem em todo o sistema (DE SENNA, 2015).

Com o impulso de resposta, há a capacidade de revelar a variância do erro projetado para cada valor, o que resulta no efeito das modificações que uma variável sofreu e em mudanças na outra variável, além de avaliar o poder de explicação que cada variável possui nos intervalos de tempo subsequentes e nas outras variáveis.

Na sequência, descrevem-se os testes de raízes unitárias que serão úteis para determinar a condição de estacionariedade da série no momento de estimar os parâmetros do modelo.

#### **2.4.1 Teste de estacionariedade**

Os testes de estacionariedade serão aplicados para que não se tenha apenas uma decisão tomada pela inspeção gráfica, mas sim com base em teste de hipótese.

##### **- TESTE DE ESTACIONARIEDADE DICKEY-FULLER**

Segundo Nascimento (2013), o conceito de estacionariedade é de extrema necessidade, porque, quando a série for considerada estacionária, as propriedades de média e variância devem se manter constantes ao longo do tempo.

O teste Dickey-Fuller foi criado para analisar a presença de raiz unitária nos polinômios autorregressivos  $AR(p)$  de séries temporais. O número de raízes unitárias (ordem de integração) é dado pelo número de vezes que a série deve ser diferenciada para torná-la estacionária.

O teste apresenta mais de uma variação, o teste Dickey-Fuller (1979) e o Dickey-Fuller Aumentado (1981), sendo o último o mais usado, pois inclui no teste os efeitos de variáveis defasadas descritos a seguir, segundo Bueno (2008), Silva et al. (2011) e Dickey-Fuller (1979, 1981):

O teste ADF é executado a partir da estimação de uma autorregressão de  $X_t$  em função de  $X_{t-1}$  e dos termos defasados de  $\Delta X_t$  pelos mínimos quadrados.

Hipótese do teste:

$H_0: \phi_1 = 1$ : a série é não estacionária;

$H_1: \phi_1 < 1$ : a série é estacionária.

O cálculo do teste é:

$$\hat{\alpha} = \frac{\sum_{t=1}^n X_{t-1} X_t}{\sum_{t=1}^n X_{t-1}^2} - 1 \quad (5)$$

Após, estima-se a variância amostral:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (\Delta X_t - \hat{\alpha} X_{t-1})^2 \quad (6)$$

O próximo passo é calcular o desvio padrão do coeficiente:

$$S(\hat{\alpha}) = \frac{S}{\sqrt{\sum_{t=1}^n X_{t-1}^2}} \quad (7)$$

O valor calculado da estatística:

$$\hat{\tau} = \frac{\hat{\alpha}}{S(\hat{\alpha})} \quad (8)$$

O critério é de rejeição da hipótese nula se  $\hat{\tau} < \tau$ , em que  $\tau$  são os valores críticos obtidos.

Utilizado o teste ADF, que pressupõe que todos os resíduos oriundos do modelo são ruído branco, usa-se o teste KPSS, para comprovar a decisão do teste ADF.

- TESTE KWIATKOWSKI, PHILLIPS, SCHMIDT E SHIN

O teste KPSS foi idealizado em 1992. A alegação dos autores quanto ao uso desse teste é que se pode individualizar a raiz unitária de séries cujos dados não são suficientemente conclusivos. A finalidade é testar a variância de passeio aleatório, se essa variância for nula, então o processo é estacionário (BUENO, 2008).

A estatística para o teste KPSS é dada pela expressão

$$KPSS = \sum_{t=1}^n \frac{S_t^2}{n^2 \hat{\nu}^2} \quad (9)$$

Onde  $\hat{\nu}^2$  representa a variância de prazo longo:

$$\hat{\nu}^2 = \frac{\sum_{t=1}^n \hat{\epsilon}_t^2}{n} \quad (10)$$

Nessa estrutura, as hipóteses testadas são:

$H_0$ : A série é estacionária ( $\sigma^2 = 0$ );

$H_1$ : A série é não estacionária ( $\sigma^2 > 0$ ).

Se a estatística calculada é menor que os valores da tabela Kwiatkowski, Phillips, Schmidt, Shin (1992), aceita-se a hipótese nula.

Analisando-se as hipóteses nulas dos testes ADF e KPSS, verifica-se que elas apresentam afirmações contrárias. É interessante aplicar os testes ADF e KPSS, conjuntamente, para confirmar estatisticamente a estacionariedade da série, obtendo-se, assim, um resultado mais preciso (BAILLIE, CHUNG e TIESLAU, 1996).



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, será especificada a metodologia da pesquisa e os procedimentos que serão utilizados para satisfazer os objetivos propostos.

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O tipo de pesquisa caracterizado neste estudo integra pesquisa bibliográfica para compreender a teoria da metodologia proposta e das técnicas a serem empregadas na análise de dados.

Considera-se também uma pesquisa quantitativa explicativa ou correlacional, pois procura quantificar os dados por meio da modelagem econométrica.

#### 3.2 COLETA DE DADOS

Esta pesquisa visa compreender o inter-relacionamento das variáveis umidade relativa do ar e temperatura em silos de secagem de soja com foco nas previsões de cada variável. Para validar a metodologia proposta, foi utilizado um protótipo reduzido de silo que possui sete sensores computacionais controlados por software e hardware específicos, dessa forma, a metodologia proposta para monitorar a temperatura e a umidade relativa do ambiente interno em períodos específicos de tempo será realizada com custo reduzido. Assim foi possível construir uma base de dados que permitiu estudar o comportamento da umidade relativa do ar e da temperatura na estocagem do produto.

Para a obtenção dos dados de temperatura e umidade relativa, foi construído um protótipo de silo em escala reduzida a fim de diminuir os custos da experimentação. Este protótipo de silo foi feito com uma chapa de aço inoxidável de 2 mm de espessura em formato cilíndrico, com 130 cm de altura e 80 cm de diâmetro aproximadamente, em uma escala aproximada de 1:25 do tamanho original, este protótipo foi posicionado ao tempo livre para que as variações de temperatura e umidade pudessem interferir de forma mais próxima de um silo real, sua instalação foi feita na cidade de Santa Rosa, RS, no pátio da Fundação Educacional Machado de Assis, com as seguintes coordenadas geográficas - 27.869548, -54.478093.

Com este protótipo foi possível registrar as oscilações de temperatura e umidade relativa do ar em base de dados, obedecendo às características dos silos de modo proporcional. A modelagem econométrica dessas variáveis possibilitou conhecimento do seu comportamento futuro.

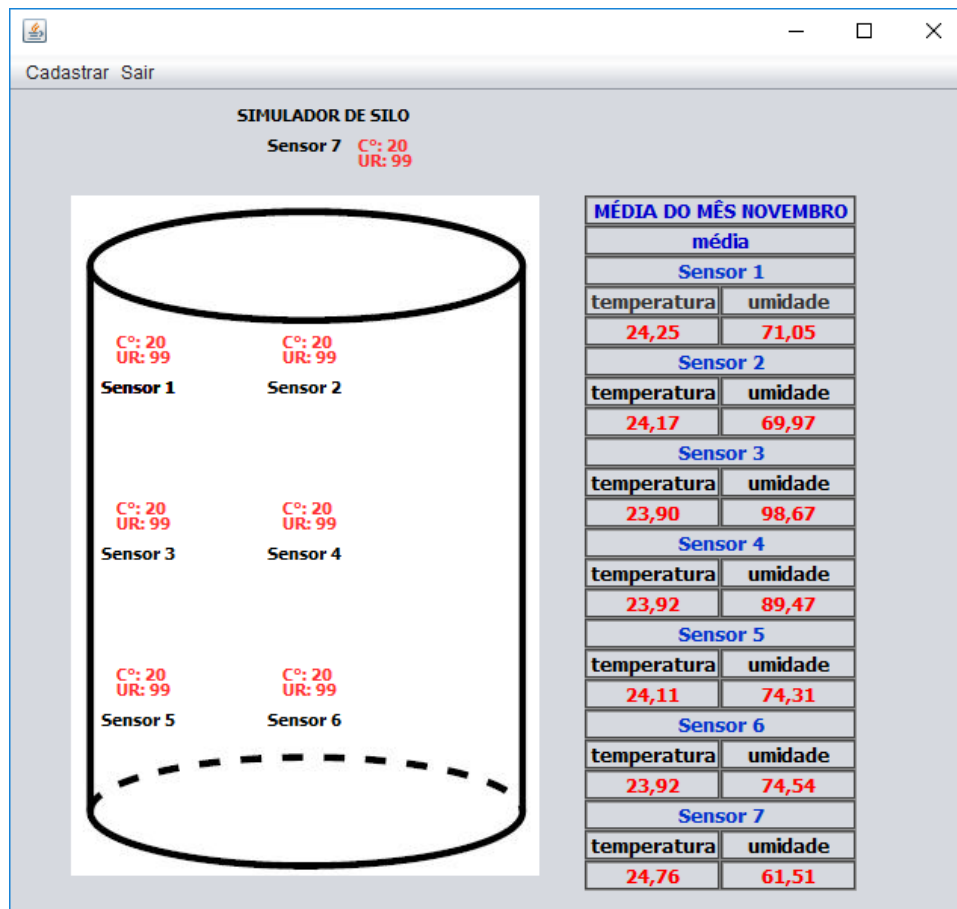
A obtenção dos dados ocorreu no período de Julho de 2016 a Dezembro de 2016 com obtenção de 954 observações tomadas de duas em duas horas.

### 3.3 SOFTWARE

Para o controle em tempo real dos sensores instalados no silo foi desenvolvido um software em linguagem java que coletou os dados de temperatura e umidade relativa dos sensores de duas em duas horas, através deste software foi possível ter o controle de cada sensor dentro do protótipo de silo. Além de armazenar os dados diários em base de dados ele indica a média da temperatura e da umidade relativa do ar de cada sensor.

Na Figura 4 é mostrada a imagem do software com os sete sensores captando a umidade relativa e temperatura de cada local do protótipo de silo. Os sensores um e dois estão localizados no topo do protótipo, os sensores três e quatro localizados no meio, os sensores cinco e seis localizados embaixo e o sensor sete teve a função de captar a temperatura e umidade relativa externa ao ambiente de estocagem. Cada sensor foi programado individualmente para captar a temperatura e umidade relativa diariamente.

Figura 4 - Software em linguagem java para a coleta de dados.



Fonte: Autor

### 3.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização deste estudo, serão seguidos alguns pré-requisitos para a aplicação da metodologia proposta:

- proceder uma análise descritiva dos dados, calculando as médias nos períodos da manhã, tarde e noite, de forma a identificar se existem diferenças significativas entre as médias nos turnos;
- determinar a estabilidade da série por meio dos testes ADF e KPSS, de modo a encontrar a ordem de integração das variáveis, pois, para a estimação dos modelos VAR, é necessário que as variáveis sejam estacionárias para que se obtenha estabilidade nos parâmetros estimados. Para alcançar esta condição de estacionariedade, poderá ser necessário utilizar diferenças de ordem 1 ou 2;

- c) após identificar a ordem de integração das séries, é necessário determinar o número de *lags* a serem incluídos em cada variável exógena que deverá compor o modelo VAR. Nessa etapa utiliza-se o *Lag Order Selection Criteria* com o auxílio dos critérios penalizadores AIC e BIC (AGUNG, 2009). Inicialmente o modelo VAR será estimado com 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2 e 1 *lags*, e, a cada etapa, os critérios de AIC e BIC serão calculados, aquele que apresentar menor valor para esta estatística será o modelo estrutural ajustado;
- d) selecionado o número de *lags*, deve-se ajustar o modelo estrutural de vetores autorregressivos VAR. Utilizando o método de Mínimos Quadrados Ordinários. Verifica-se a adequação do modelo utilizando a análise de resíduos, os quais devem apresentar características de ruído branco. Associado a isso se investiga as estatísticas de ajuste do modelo por meio dos critérios AIC e BIC;
- e) utilizar o modelo VAR adequado para verificar o comportamento das variáveis quando um choque externo é realizado, pela técnica de impulso de resposta;
- f) determinado o modelo VAR, o qual tem o propósito de captar os inter-relacionamentos das variáveis analisadas, investiga-se o comportamento futuro das variáveis. Nessa etapa não se utiliza mais a estimação do modelo VAR estrutural pelo método de Mínimo Quadrado Ordinário, mas a estimação por meio de regressões aparentemente não correlacionadas, proposto por Zellner (1962). Com essa metodologia de estimação, é possível deixar no lado direito da equação apenas as variáveis e defasagens estatisticamente significativas, o que possibilita realizar previsões mais acuradas. Os passos seguidos para esse procedimento são os seguintes, estimar as equações separadamente utilizando MQO, utilizar os resíduos do passo anterior para estimar as variâncias e covariância dos erros, utilizar as estimativas das variâncias dos erros para estimar as equações conjuntamente pelo método de Máxima Verossimilhança. Na prática, a técnica SUR utiliza informações sobre a correlação entre os termos estocásticos para melhorar a qualidade das estimativas (HILL, GRIFFITHS, JUDGE, 1999) e conseqüentemente obter melhores valores previstos. Opta-se pelos dois tipos de modelagem VAR

estrutural e regressões dinâmicas aparentemente não correlacionadas, pois, no primeiro caso, a modelagem considera todas as variáveis com números fixos de defasagens, sendo eles significativos ou não estatisticamente, o foco da estimação pelo método do VAR estrutural é captar os efeitos entre as variáveis e, por isso, as estatísticas AIC e BIC determinam o número de *lags* que devem ser incluídos no modelo, onde os *lags* são responsáveis pelas ligações entre as equações. Ao estimar um conjunto de equações dinâmicas pelo SUR, é possível realizar a exclusão das variáveis não significativas do sistema de equações, dessa forma, espera-se obter resultados mais eficientes com equações parcimoniosas para se realizar as previsões;

- g) utilizar o melhor modelo ajustado e realizar previsões no curto prazo com um horizonte de 6 períodos à frente, que correspondem às 12 horas seguintes, pois dessa forma o operador terá tempo necessário para monitorar e ajustar as variáveis temperatura e umidade relativa do ar, que são controladas pela aeração;
- h) de posse das informações de previsões, é possível verificar se as variáveis de interesse estão de acordo com as suas respectivas amplitudes de variação de cada variável. O que se pretende então é que, a cada vez que a temperatura e a umidade relativa do ar sinalizar um valor muito diferente do esperado, o responsável tenha a possibilidade de ajustar as variáveis de umidade e temperatura do silo baseado em informações adquiridas com no mínimo seis períodos de antecedência;

Para realizar o ajuste dos modelos, será utilizado os softwares Eviews 9 e PcGive 9.0.

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentadas as estatísticas descritivas, a modelagem VAR estrutural para captar as inter-relações e o impulso de resposta e modelagem por equações dinâmicas que serão úteis para a previsão da temperatura e umidade relativa do ar em silos de armazenagem de soja.

### 4.1 ANÁLISE DESCRITIVA

A estatística descritiva revela informações importantes para a compreensão das informações a serem analisadas. Nos **APÊNDICES A e B** estão dispostos os valores mínimos, máximos e médio das variáveis temperatura e umidades relativas do ar que se dispõem na base de dados, como forma de conhecer as oscilações que ocorrem com as variáveis analisadas.

Para analisar a dispersão dos valores em torno da média, precisa-se do coeficiente de variação, pois só o desvio padrão não é suficiente para se comparar duas séries de dados, quanto mais baixo for o valor do coeficiente de variação, mais homogênea ou menor será a dispersão da variável em torno da sua média.

Na Tabela 3, apresentam-se a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação das variáveis temperatura e umidade relativa do ar apenas com as variáveis internas do protótipo.

Tabela 3 - Analisando todas as variáveis internas de estocagem menos as variáveis externas

Variável	Média(°C)	Desvio	CV(%)	n
Temperatura	21,94	2,53	11,55	954
Umidade relativa	76,13	7,58	9,95	954

(CV: coeficiente de variação, n: número de observações)

Fonte: Autor.

A temperatura ideal de um silo de estocagem de soja seguindo os dados da Figura 1 é de temperatura do ar em torno de 20°C e a umidade relativa do ar em 65% para que tenhamos a soja com umidade no grão de até 12% (b.u.). Considerando a Tabela 3, observa-se que a temperatura média do protótipo é

21,94°C e, considerando uma amplitude de um desvio padrão, esta temperatura ficaria no intervalo de 19,41°C e 24,47°C dessa forma, a temperatura estaria passando do valor ideal. Em relação à umidade, esta se apresenta muito elevada em relação ao valor ideal e, embora considerando uma amplitude de um desvio padrão, ela ficaria em torno de 68,55% a 83,71%. Embora se considere essa amplitude na umidade, ela necessita cair drasticamente para que o produto não perca seu valor comercial.

Com o intuito de verificar se os seis sensores instalados internamente no protótipo de teste apresentam os mesmos valores médios que o valor geral das variáveis, calculou-se uma estatística descritiva para cada uma das variáveis, expressas na Tabela 4.

Tabela 4 - Estatísticas descritivas das variáveis temperatura e umidade de cada sensor localizado internamente e externamente ao protótipo

Variável	Média	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
T1	22,00	2,87	13,05
T2	21,93	2,53	11,54
T3	21,71	2,66	12,23
T4	21,83	2,35	10,78
T5	21,92	2,59	11,84
T6	21,87	2,30	10,52
T7	22,23	5,46	24,56
U1	71,72	1,42	1,99
U2	71,56	2,52	3,52
U3	85,62	10,74	12,55
U4	79,37	8,01	10,09
U5	73,98	0,82	1,10
U6	74,04	0,74	1,00
U7	66,93	19,24	28,74

(Média: em graus Celsius, T1: temperatura sensor 1, T2: temperatura sensor 2, T3: temperatura sensor 3, T4: temperatura sensor 4, T5: temperatura sensor 5, T6: temperatura sensor 6, T7: temperatura sensor 7, U1: umidade relativa sensor 1, U2: umidade relativa sensor 2, U3: umidade relativa sensor 3, U4: umidade relativa sensor 4, U5: umidade relativa sensor 5, U6: umidade relativa sensor 6, U7: umidade relativa sensor 7)

Fonte: Autor.

Observa-se na Tabela 4 que as temperaturas se mantêm estáveis ao longo do período analisado, ficando com valores próximos a 20°C quando se calculou a temperatura média do protótipo. A dispersão relativa em torno do valor médio das

variáveis de temperatura é baixa, com um coeficiente de variação não ultrapassando o valor de 13%, com exceção da T7, que é a temperatura externa ao protótipo que apresentou um coeficiente de variação de 24,56%. A variável temperatura se mantém estável em torno do seu valor médio.

O valor médio da variável umidade relativa do ar é representativo com coeficiente de variação baixo, não ultrapassando o valor de 13%, mas observa-se que o seu valor médio se afasta muito do valor de 65% de umidade recomendado para que o silo mantenha o produto em boa qualidade.

Na Tabela 5, realizam-se os cálculos da estatística descritiva de cada mês de coleta de dados, estes cálculos tem o intuito de verificar se há uma mudança muito brusca nas variáveis estudadas em relação às oscilações climáticas das variáveis.

Tabela 5 - Estatística descritiva das variáveis: média, desvio padrão e coeficiente de variação, de Julho a Dezembro de 2016

(continua)										
JULHO/2016				AGOSTO/2016			SETEMBRO/2016			
Var	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	
T1	18,86	2,95	15,63	20,72	2,56	12,33	20,42	2,43	11,92	
U1	72,67	1,81	2,49	73,16	1,29	1,76	71,88	0,95	1,32	
T2	18,53	1,62	8,72	20,62	1,86	9,02	20,36	1,92	9,44	
U2	74,38	2,48	3,34	73,93	1,47	1,99	71,98	1,63	2,26	
T3	18,35	2,29	12,46	20,55	2,28	11,07	20,19	2,22	10,99	
U3	74,68	1,74	2,32	74,95	1,54	2,06	76,48	3,05	3,98	
T4	18,23	1,09	5,95	20,52	1,63	7,95	20,48	1,76	8,57	
U4	70,21	0,56	0,80	70,93	0,73	1,03	73,60	2,69	3,66	
T5	18,35	1,95	10,61	20,73	2,13	10,28	20,45	2,13	10,40	
U5	73,12	0,92	1,26	73,52	1,14	1,55	74,00	0,51	0,69	
T6	18,37	1,17	6,35	20,60	1,59	7,74	20,53	1,76	8,56	
U6	72,95	0,32	0,43	73,46	0,73	1,00	73,86	0,44	0,60	
T7	18,72	2,95	15,77	20,29	4,17	20,53	20,74	6,23	30,04	
U7	60,37	4,01	6,65	63,57	15,02	23,62	69,24	23,97	34,61	



Tabela 5 - Estatística descritiva das variáveis: média, desvio padrão e coeficiente de variação, de Julho a Dezembro de 2016

(conclusão)

Var	OUTUBRO/2016			NOVEMBRO/2016			DEZEMBRO/2016		
	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)
T1	22,82	1,79	7,85	24,25	1,99	8,21	25,51	0,96	3,78
U1	70,85	0,87	1,22	71,05	0,95	1,34	70,00	0,55	0,78
T2	22,88	1,58	6,89	24,17	1,69	7,00	25,43	0,60	2,36
U2	70,21	1,70	2,43	69,97	2,22	3,17	68,26	1,07	1,56
T3	22,48	1,60	7,11	23,90	1,80	7,53	25,09	0,73	2,92
U3	93,19	3,11	3,33	98,67	0,64	0,65	99,00	0,00	0,00
T4	22,72	1,37	6,05	23,92	1,58	6,61	25,38	0,48	1,91
U4	84,07	2,11	2,51	89,47	1,16	1,30	90,00	0,00	0,00
T5	22,77	1,58	6,95	24,11	1,73	7,20	25,25	0,67	2,66
U5	74,24	0,53	0,72	74,31	0,54	0,73	74,25	0,58	0,78
T6	22,75	1,35	5,92	23,92	1,48	6,19	25,26	0,52	2,06
U6	74,42	0,51	0,68	74,54	0,52	0,69	74,83	0,38	0,50
T7	23,33	5,21	22,35	24,76	4,99	20,17	25,45	4,00	15,73
U7	75,66	21,36	28,23	61,51	15,05	24,47	66,47	12,12	18,23

(Var: variável, Média: em graus Celsius, DP: desvio padrão, CV: coeficiente de variação, T1: temperatura sensor 1, T2: temperatura sensor 2, T3: temperatura sensor 3, T4: temperatura sensor 4, T5: temperatura sensor 5, T6: temperatura sensor 6, T7: temperatura sensor 7, U1: umidade relativa sensor 1, U2: umidade relativa sensor 2, U3: umidade relativa sensor 3, U4: umidade relativa sensor 4, U5: umidade relativa sensor 5, U6: umidade relativa sensor 6, U7: umidade relativa sensor 7)

Fonte: Autor.

As médias das variáveis temperatura e umidade relativa do ar são representativas ao longo do período analisado, pois o coeficiente de variação é abaixo de 30%, valores de coeficiente entre 15% e 30%, são classificados com média dispersão, quanto menor este valor mais homogêneo serão os dados. Observa-se uma evolução da temperatura média do mês de Julho de 2016 a Dezembro de 2016, em que o valor médio passa de 18,48°C para 25,33°C respectivamente. Ao realizar uma análise de variância, em que a hipótese  $H_0$ : todas as médias são iguais *versus* a hipótese alternativa  $H_1$ : existe pelo menos uma média que difere das demais, rejeita-se a hipótese de nulidade com um  $p\text{-valor}=1,79 \times 10^{-37}$ , dessa forma, conclui-se que a temperatura varia com o passar dos meses acompanhando as oscilações climáticas.

Ao realizar o mesmo procedimento em relação à variável umidade, observa-se que elas não possuem oscilação significativa com o passar dos meses, pois ao realizar-se uma análise de variância onde as hipóteses  $H_0$ : todas as médias são iguais *versus* a hipótese alternativa  $H_1$ : existe pelo menos uma média que difere das

demais, se aceita a hipótese de nulidade com um  $p\text{-valor} = 50,33$ , dessa forma, a umidade não se mostrou dependente do clima.

Há ocorrência semelhante com a variável umidade, pois as variáveis localizadas no meio e ao fundo do protótipo tiveram o aumento da umidade com o aumento de temperatura, e as variáveis do topo, localizadas com profundidade de 10 centímetros de camada de soja, não apresentaram aumento da umidade, pois ficaram com pouca variação entre os meses.

Analisando a Tabela 4, os dados das variáveis U6, U4, U5, U1, U2, U3, T6, T4, T2, T5, T3 apresentam o coeficiente de variação abaixo de 15%, o que classifica com baixa dispersão, considerando os seus dados homogêneos.

É importante salientar que os controladores de silos, atualmente, só realizam a leitura da temperatura, e, neste estudo, realiza-se a leitura da umidade relativa do ar, conjuntamente, de modo a fornecer uma melhor atuação no controle da temperatura interna dos silos. De acordo com a Tabela 4, a variável temperatura T7 e a variável umidade U7 estão localizadas no ambiente externo do protótipo, com o intuito de captar as oscilações climáticas do ambiente e, com isso, apresentam os maiores valores de coeficiente de variação. O que se busca é verificar por meio da modelagem econométrica se essa oscilação é suficientemente forte de modo a influenciar as demais variáveis internas ao protótipo.

É importante observar que as médias de ambas as variáveis são representativas e, no momento em que se realizar uma previsão, será obtido um valor próximo dos valores passados.

Com o intuito de verificar se há uma oscilação acentuada nas variáveis analisadas, calcula-se o coeficiente de variação por turno de coleta para as variáveis temperaturas e umidades pelos turnos de 6 horas nos meses subsequentes de coletas, analisa-se na Tabela 6.

Tabela 6 - Estatística descritiva da temperatura e umidade, coeficiente de variação por turno de horários dos meses de Julho a Dezembro

(continua)

JULHO/2016					AGOSTO/2016			
Var	00:00	06:01	12:01	18:01	00:00	06:01	12:01	18:01
	às	às	às	às	às	às	às	às
	06:00	12:00	18:00	24:00	06:00	12:00	18:00	24:00
	CV(%)	CV(%)	CV(%)	CV(%)	CV(%)	CV(%)	CV(%)	CV(%)
T1	13,73	14,77	14,46	13,93	12,16	12,43	10,44	10,43
U1	0,78	2,25	3,44	1,23	1,28	1,93	1,80	1,21
T2	8,13	9,25	8,31	8,34	9,03	9,32	8,62	8,39
U2	3,10	3,93	3,04	2,91	1,90	2,45	1,45	1,68
T3	11,56	12,45	11,71	10,68	10,93	11,07	9,49	9,21
U3	1,47	1,79	3,09	1,80	1,11	1,79	2,88	1,19
T4	6,38	5,85	5,78	5,56	7,94	7,87	7,89	8,14
U4	0,77	0,93	0,71	0,68	1,00	1,03	1,08	1,01
T5	10,25	10,88	9,13	10,49	10,24	11,04	8,35	8,66
U5	1,04	1,04	1,49	1,09	0,72	1,01	2,36	0,59
T6	6,60	5,91	5,91	6,97	7,83	7,93	7,49	7,55
U6	0,27	0,50	0,51	0,35	0,95	0,90	1,04	1,13
T7	15,13	16,87	12,84	14,43	18,71	21,61	17,13	16,66
U7	5,83	8,00	6,24	5,45	18,25	25,79	28,30	20,75
SETEMBRO/2016					OUTUBRO/2016			
Var	00:00	06:01	12:01	18:01	00:00	06:01	12:01	18:01
	às	às	às	às	às	às	às	às
	06:00	12:00	18:00	24:00	06:00	12:00	18:00	24:00
	CV(%)	CV(%)	CV(%)	CV(%)	CV(%)	CV(%)	CV(%)	CV(%)
T1	11,91	11,76	10,85	11,88	7,66	8,13	7,42	6,88
U1	1,04	1,47	1,16	1,08	1,09	1,31	1,11	1,02
T2	9,32	9,38	9,41	9,53	6,48	7,01	7,05	6,83
U2	2,36	2,47	1,93	1,85	1,89	3,09	2,59	1,55
T3	11,11	10,92	10,13	10,87	7,07	7,37	6,86	6,28
U3	3,87	4,03	3,93	4,13	3,37	3,43	3,29	3,09
T4	8,25	8,76	8,87	8,45	5,89	6,03	6,11	6,28
U4	3,63	3,67	3,63	3,71	2,57	2,53	2,41	2,50
T5	10,46	10,52	9,53	10,45	6,67	7,11	6,97	6,55
U5	0,67	0,70	0,63	0,49	0,75	0,77	0,57	0,60
T6	8,21	9,00	8,86	8,07	5,71	5,64	6,12	6,35
U6	0,65	0,52	0,57	0,65	0,67	0,67	0,69	0,70
T7	21,23	32,86	18,93	19,04	13,98	27,99	13,47	11,73
U7	18,76	43,72	39,41	27,70	16,14	32,42	32,67	24,51

Tabela 6 - Estatística descritiva da temperatura e umidade, coeficiente de variação por turno de horários dos meses de Julho a Dezembro

(conclusão)

Var	NOVEMBRO/2016				DEZEMBRO/2016			
	00:00	06:01	12:01	18:01	00:00	06:01	12:01	18:01
	às	às	às	às	às	às	às	às
	06:00	12:00	18:00	24:00	06:00	12:00	18:00	24:00
	CV(%)	CV(%)	CV(%)	CV(%)	CV(%)	CV(%)	CV(%)	CV(%)
T1	8,24	8,60	7,78	7,00	3,97	3,32	2,45	2,29
U1	1,17	1,35	1,28	1,25	0,68	0,83	0,79	0,62
T2	6,81	7,55	6,75	6,76	1,95	2,72	1,84	1,68
U2	3,12	3,58	3,16	2,55	1,56	1,67	1,32	0,72
T3	7,51	8,02	7,17	6,68	2,68	3,23	2,52	1,96
U3	0,54	0,62	0,77	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00
T4	6,63	6,93	6,51	6,15	1,93	1,82	1,86	1,96
U4	1,36	1,30	1,26	1,21	0,00	0,00	0,00	0,00
T5	7,25	7,46	7,00	6,58	2,60	2,93	1,96	1,89
U5	0,71	0,70	0,60	0,70	0,67	0,67	0,59	0,68
T6	6,13	6,59	6,02	5,94	1,88	2,28	2,20	1,71
U6	0,67	0,64	0,73	0,71	0,29	0,36	0,58	0,67
T7	13,07	27,18	11,01	11,64	8,01	20,66	7,00	7,99
U7	16,91	26,18	25,41	20,97	15,00	22,91	15,08	11,18

Fonte: Autor.

Nas primeiras horas do dia entre 00:00 h e as 06:00 h as variáveis T1, T3, T5, T2 foram as que apresentaram maior variação dos seus coeficientes, mas todas as variáveis apresentam coeficiente de variação abaixo de 12%, com exceção da variável T7 e U7, que são variáveis externas ao protótipo.

#### 4.2 ANÁLISE DA ESTACIONARIEDADE DAS SÉRIES

A garantia de que os parâmetros estimados no modelo VAR sejam representativos, faz-se por meio da estacionariedade das séries, inicialmente faz-se a inspeção gráfica das séries de temperatura e umidade relativa de cada sensor, conforme Figura 5.

Figura 5 - Gráficos das variáveis temperatura e umidade em nível do protótipo

(continua)

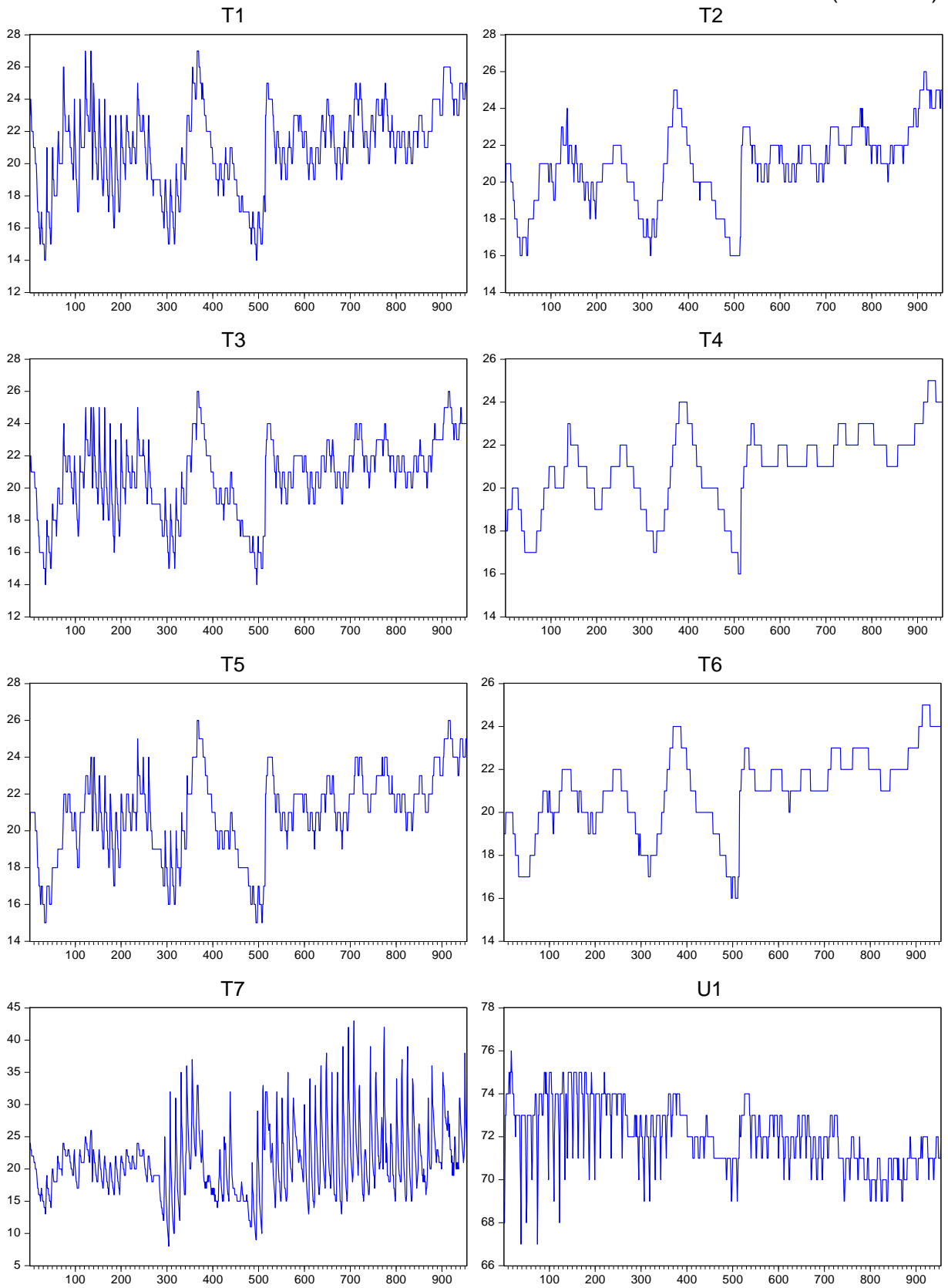
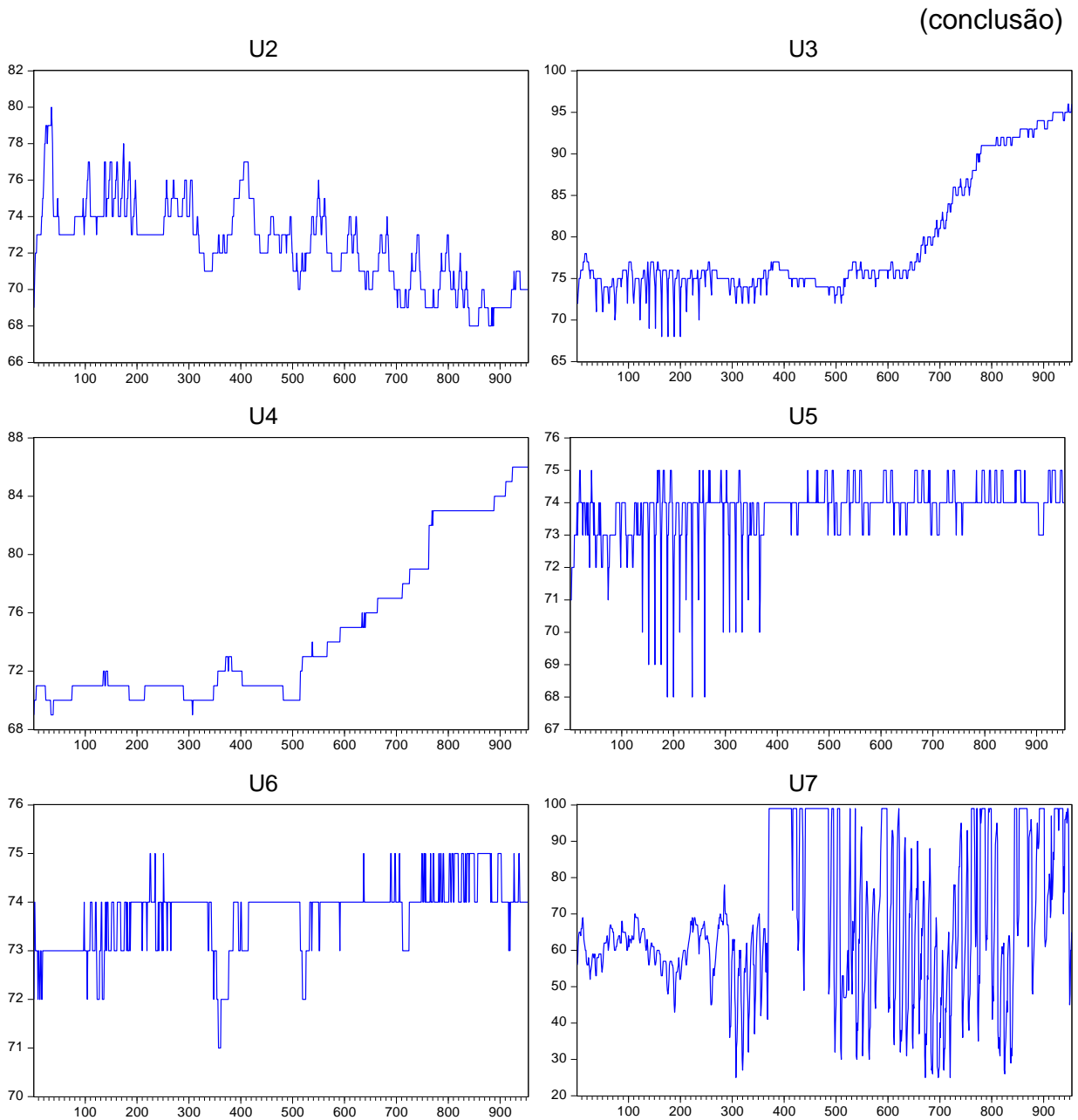


Figura 5 - Gráficos das variáveis temperatura e umidade em nível do protótipo



Fonte: Autor.

Analisando a Figura 5, as séries apresentam um comportamento não estacionário, pois os seus valores não oscilam em torno de uma média constante.

Com o intuito de alcançar o pressuposto de estacionariedade nas séries temperatura e umidade, aplicam-se as primeiras diferenças, conforme mostrado na Figura 6.

Figura 6 - Gráfico das variáveis temperatura e umidade em primeiras diferenças do protótipo

(continua)

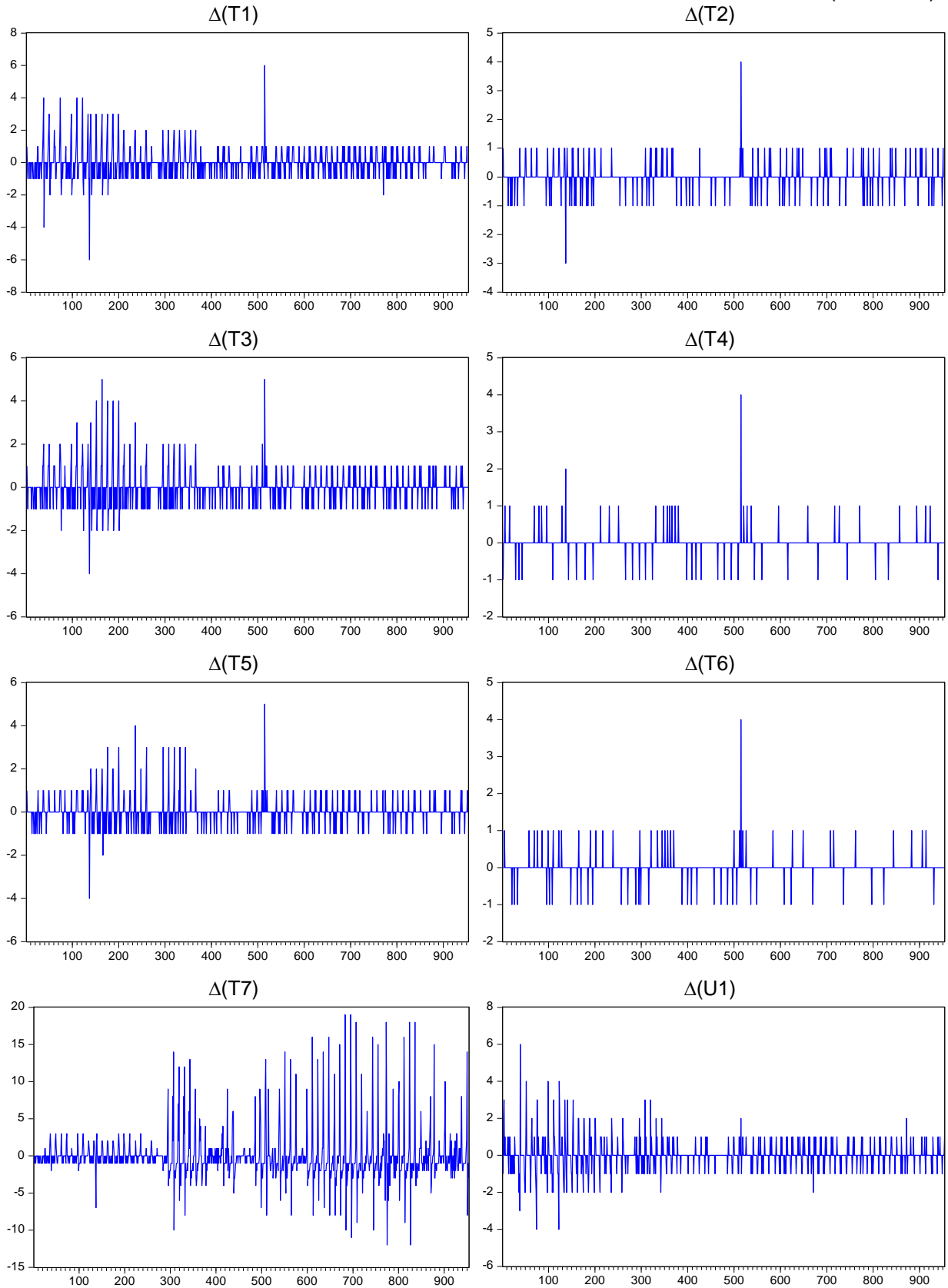
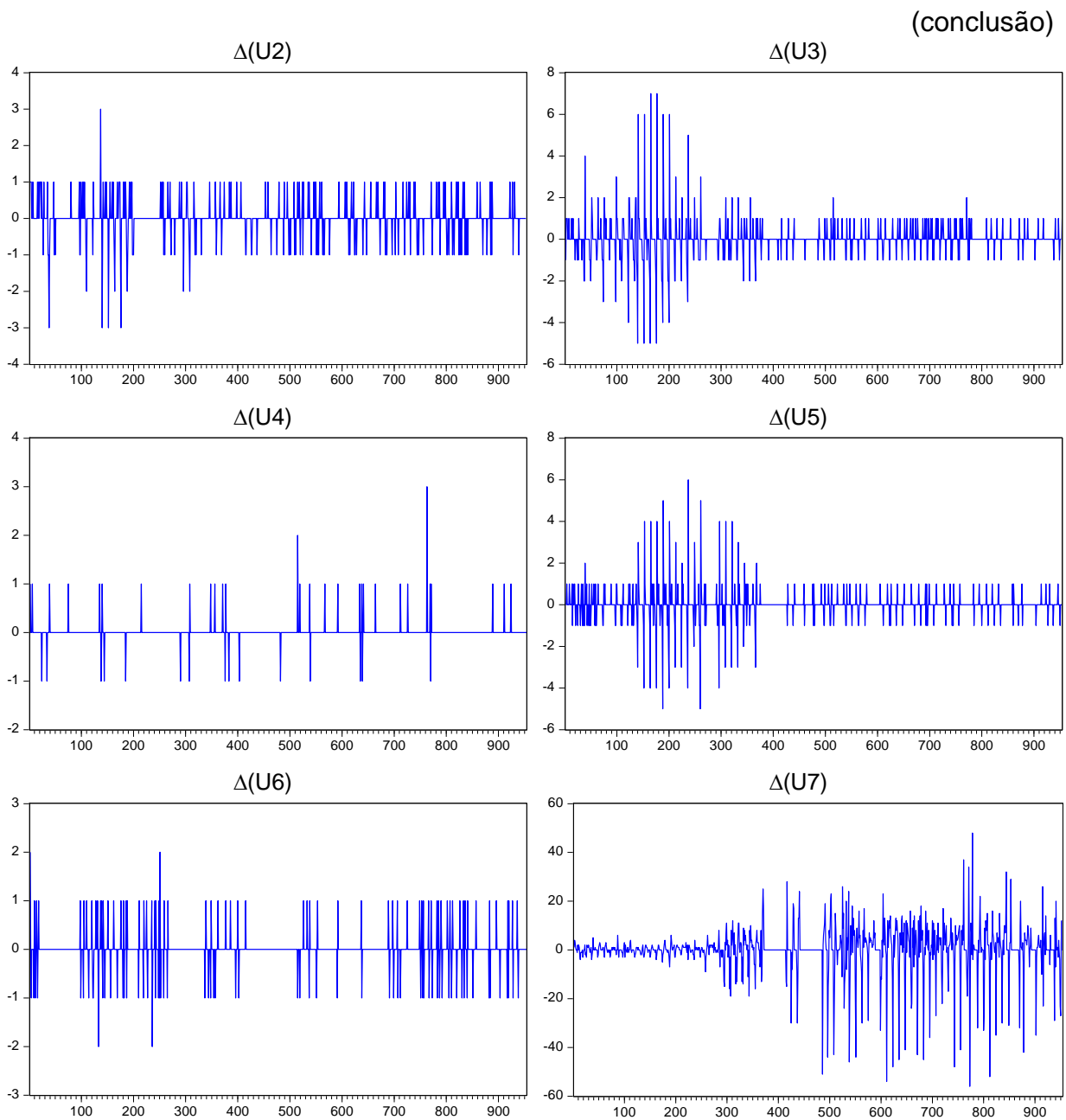


Figura 6 - Gráfico das variáveis temperatura e umidade em primeiras diferenças do protótipo



Fonte: Autor.

Enquanto a série não for estacionária, não se poderá estimar um modelo de vetor autorregressivo. Verifica-se na Figura 6 que as séries se tornaram estacionárias já na primeira diferença, embora as séries apresentem bastante variabilidade.



Para se tomar uma decisão mais assertiva e não ficar apenas com a inspeção visual, aplicam-se os testes de raízes unitárias ADF e KPSS, conforme Tabelas 7 e 8.

Tabela 7 - Teste de raiz unitária *Augmented Dickey-Fuller (ADF)* para as variáveis temperatura e umidade em nível e em primeiras diferenças

ADF	Série em nível			Série em primeiras diferenças		
	Estatística-t	Valor crítico do ADF 5%	<i>p</i> -valor	Estatística -t	Valor crítico do ADF 5%	<i>p</i> -valor
T1*	-4,9364	-2,8644	0,0000	-	-	-
T2*	-3,9316	-2,8644	0,0019	-	-	-
T3*	-4,6545	-2,8644	0,0001	-	-	-
T4	-2,2308	-2,8643	0,1955	-31,0337	-2,8643	0,0000
T5*	-4,3369	-2,8644	0,0004	-	-	-
T6	-2,3214	-2,8643	0,1654	-30,8313	-2,8643	0,0000
T7*	-4,6669	-2,8643	0,0001	-	-	-
U1*	-3,2393	-2,8644	0,0181	-	-	-
U2*	-3,8302	-2,8644	0,0027	-	-	-
U3	1,7372	-2,8643	0,9997	-10,8947	-2,8643	0,0000
U4	0,9830	-2,8643	0,9965	-35,5626	-2,8643	0,0000
U5*	-4,6646	-2,8643	0,0001	-	-	-
U6*	-5,7990	-2,8643	0,0000	-	-	-
U7*	-3,8595	-2,8643	0,0025	-	-	-

\* Séries estacionárias em nível, one-sided *p*-values, (T1: temperatura sensor 1, T2: temperatura sensor 2, T3: temperatura sensor 3, T4: temperatura sensor 4, T5: temperatura sensor 5, T6: temperatura sensor 6, T7: temperatura sensor 7, U1: umidade sensor 1, U2: umidade sensor 2, U3: umidade sensor 3, U4: umidade sensor 4, U5: umidade sensor 5, U6: umidade sensor 6, U7: umidade sensor 7)

Na Tabela 7, apresenta-se o teste ADF de raízes unitárias para as variáveis em nível e em primeiras diferenças, onde a hipótese de nulidade  $H_0$ : a variável é não estacionária, isto é,  $I(1)$  ou  $I(2)$  é testada em relação à hipótese alternativa  $H_1$ : a série é estacionária, isto é,  $I(0)$ .

A rejeição da hipótese nula significa que a variável possui raízes unitárias  $I(1)$  ou  $I(2)$ , isto é, necessitam-se aplicar diferenças,  $d=1$  para se tornar estacionária no caso de ser considerada  $I(1)$  ou  $d=2$  no caso de ser considerada  $I(2)$ .

As variáveis T1, T2, T3, T5, T7, U1, U2, U5, U6 e U7 possuem *p*-valor  $< 0,05$ , portanto, rejeitam a hipótese nula, mostrando que essas variáveis são estacionárias em nível de acordo com o teste ADF. As demais variáveis não são estacionárias em nível, portanto necessitam de diferenças, as quais se tornam estacionárias quando

$d=1$ , dessa forma as variáveis  $\Delta(T4)$ ,  $\Delta(T6)$ ,  $\Delta(U3)$  e  $\Delta(U4)$  se mostraram estacionárias.

Para certificar a decisão do teste *ADF*, utiliza-se o teste de *KPSS*, com resultados expostos na Tabela 8.

Tabela 8 - Teste de estacionariedade *Kwiatkowski, Phillips, Schmidt and Shein (KPSS)*

KPSS	Série em nível		Série em primeiras diferenças	
	LM-stat	Valor crítico do KPSS 5%	LM-stat	Valor crítico do KPSS 5%
T1	1,0010	0,4630	0,0619	0,4630
T2	1,2646	0,4630	0,0360	0,4630
T3	1,0673	0,4630	0,0524	0,4630
T4	1,5111	0,4630	0,0341	0,4630
T5	1,2106	0,4630	0,0330	0,4630
T6	1,5029	0,4630	0,0323	0,4630
T7	1,3939	0,4630	0,2216	0,4630
U1	2,6335	0,4630	0,1361	0,4630
U2	2,8113	0,4630	0,0791	0,4630
U3	2,8054	0,4630	0,3643	0,4630
U4	3,2739	0,4630	0,3313	0,4630
U5	3,1807	0,4630	0,2300	0,4630
U6	1,9481	0,4630	0,1102	0,4630
U7	0,5028	0,4630	0,1434	0,4630

*Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (1992, Table 1).*

No teste KPSS, as hipóteses são  $H_0$ : As variáveis são estacionárias, isto é  $I(0)$  e a hipótese alternativa  $H_1$ : A variável é não estacionária, isto é,  $I(1)$  ou  $I(2)$ . Na Tabela 8, rejeita-se a hipótese nula de estacionariedade da série, pois, são consideradas  $I(1)$ , após aplicar uma diferença às séries, tornam-se estacionárias  $I(0)$ .

Comparando o valor tabelado a 5% com o valor calculado, verifica-se que todas as séries T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, U1, U2, U3, U4, U5, U6 e U7 não são estacionárias no teste KPSS. Conclui-se que as séries se tornam estacionárias em primeira diferença.

O teste KPSS mostrou contradição com o teste ADF, pois no último apenas as séries T4, T6, U3, U4 não são estacionários, já o KPSS mostrou que todas as séries não são estacionárias.

Pela inspeção visual, observou-se que as séries não são estacionárias, e uma contradição nos resultados do teste ADF e KPSS sinaliza que a diferença necessária deve ser fracionária, com diferenças realizadas no intervalo de  $-0,5 \leq d \leq 0,5$ . Computacionalmente, a modelagem VAR, neste procedimento, ainda não está implementada, opta-se, portanto, por utilizar todas as variáveis em primeiras diferenças para garantir a estabilidade dos parâmetros estimados.

#### 4.3 AJUSTE DOS MODELOS DE VETORES AUTORREGRESSIVOS – VAR

Após concluir o estudo sobre a estacionariedade das séries, passa-se para o ajuste do modelo VAR. Inicialmente estima-se um VAR genérico com número de *lags* arbitrário, em que se utilizam oito defasagens diferentes para cada modelo e verifica-se o efeito dessas defasagens por meio das estatísticas de ajustes.

A determinação do número de defasagens é realizada por meio do critério *Lag Order Selection Criteria* em que os critérios de ajuste ou de seleção do modelo que apresentarem os menores valores indicarão o número de defasagens que deve ser utilizado no modelo. Os critérios utilizados nesta pesquisa para determinação do número de defasagens foram os AIC (*Akaike Information Criterion*) e BIC (*Bayesian Information Criterion*), os quais estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Critérios de Informação AIC, BIC, para oito defasagens no modelo VAR irrestrito

Lag	AIC	BIC
1	24.71485	<b>25.79289*</b>
2	24.04511	26.12932
3	23.65231	26.74269
4	23.52761	27.62416
5	23.46859	28.57132
6	23.47075	29.57965
7	<b>23.44969*</b>	30.56476
8	23.49465	31.61589

\* Indica a ordem de atraso selecionada pelo critério; AIC: Akaike Information Criterion; BIC: Bayesian Information Criterion

Fonte: Autor.

Seguindo os critérios de Informação *Akaike Information Criterion* (AIC), *Bayesian Information Criterion* (BIC), para a melhor escolha do número de

defasagens, conforme Tabela 9, os melhores resultados encontrados utilizando o critério de defasagens foi de um AIC=23,44969 para sete defasagens, sendo o valor mais baixo. Pelo critério BIC=25,79289, foi considerado o valor mais baixo para um *lag*.

Segundo Bueno (2008), o critério BIC deve ser utilizado para grandes amostras, considerando sempre um modelo mais parcimonioso, assim o modelo VAR utilizará uma defasagem.

Recalculando novamente os valores com um *lag* para os critérios AIC e BIC, de acordo com a Tabela 10, nota-se que os dois critérios concordam com um *lag*, portanto, o modelo VAR (1) será estimado e utilizado para captar as inter-relações das variáveis.

Tabela 10 - Critérios de Informação AIC, BIC, realizados com um *lag*

Lag	AIC	BIC
0	26.44868	26.52013
1	<b>24.75803*</b>	<b>25.82978*</b>

\* Indica a ordem de atraso selecionada pelo critério, AIC: Akaike Information Criterion, BIC: Bayesian Information Criterion  
Fonte: Autor.

Determinado o número de defasagem das variáveis endógenas, há a necessidade de ordenar as variáveis em relação ao seu grau de exogeneidade, pois a ordem em que as variáveis entram no modelo pode influenciar na etapa de impulso de resposta. O próximo passo é colocar as variáveis em ordem pelo teste Block Exogeneity, de acordo com a Tabela 11.

Cumpridas as etapas de determinação do número de defasagens a serem incluídos no modelo VAR descrito no **APÊNDICE C**, para se encontrar a ordem das variáveis que irão compor o modelo VAR com uma defasagem e a constante, a ordenação das variáveis se dá do maior valor da estatística Qui-quadrado.

A ordenação das variáveis é importante no momento em que se realiza o impulso de resposta, pois se tem a influência direta da resposta que uma variável causará na outra.

A sequência ordenada utilizada para a estimação do VAR(1) será  $\Delta(U1)$ ,  $\Delta(T3)$ ,  $\Delta(T2)$ ,  $\Delta(T1)$ ,  $\Delta(U7)$ ,  $\Delta(T7)$ ,  $\Delta(U2)$ ,  $\Delta(T5)$ ,  $\Delta(U3)$ ,  $\Delta(U6)$ ,  $\Delta(U4)$ ,  $\Delta(T6)$ ,  $\Delta(U5)$ ,

$\Delta(T4)$ , dessa forma, a ordenação será da mais exógena para a mais endógena, cujo teste completo está descrito no **APÊNDICE D** e apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 - Ordenação das variáveis endógenas por meio do teste de *Block Exogeneity Wald Tests*

Variáveis	$\chi^2$	Grau Liberdade	Prob.
$\Delta(U1)$	184.8599	1	0.0000
$\Delta(T3)$	47.54383	1	0.0000
$\Delta(T2)$	29.57396	1	0.0000
$\Delta(T1)$	28.34746	1	0.0000
$\Delta(U7)$	25.83799	1	0.0000
$\Delta(T7)$	24.40948	1	0.0000
$\Delta(U2)$	23.86452	1	0.0000
$\Delta(T5)$	18.52235	1	0.0000
$\Delta(U3)$	8.161824	1	0.0043
$\Delta(U6)$	6.487035	1	0.0109
$\Delta(U4)$	5.73E-05	1	0.9940
$\Delta(T6)$	5.273345	1	0.0217
$\Delta(U5)$	4.773665	1	0.0289
$\Delta(T4)$	3.040704	1	0.0812

Fonte: Autor.

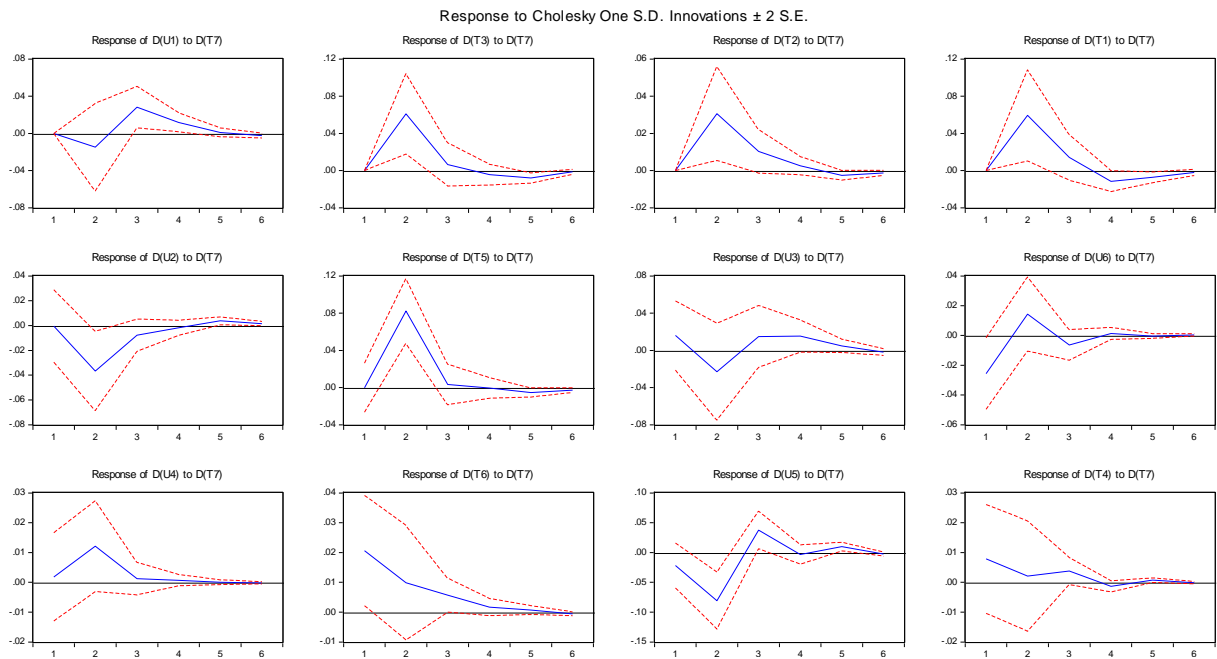
As variáveis mais exógenas são  $\Delta(U1)$  com valor de Qui-quadrado de 184.85 e a menos exógena é  $\Delta(T4)$  com valor de Qui-quadrado de 3,040704.

O modelo VAR(1) estabelecido será utilizado para se realizar o impulso de resposta com o propósito de observar a reação de cada variável quando um choque externo ocorrer no sistema.

Considerando que o sistema é composto pelas temperaturas e umidades relativas internas do protótipo e que são dependentes da  $\Delta(T7)$  e  $\Delta(U7)$ , as quais representam as oscilações do meio ambiente e medidas pelo sensor externo ao protótipo, faz-se um impulso de resposta nessas variáveis e observa-se o seu comportamento seis passos à frente, que corresponde a um turno de serviço, representados na Figura 7.

O modelo VAR estimado com o número de defasagens e a ordenação das variáveis endógenas pelo grau de importância está descrito no **APÊNDICE E**, o qual será utilizado para se realizar o impulso de resposta mostrados nas Figuras 7, 8, 9 e 10, apresentado no **APÊNDICE F**.

Figura 7 - Impulso realizado na variável T7 e respostas nas demais variáveis que compõem o sistema de sensores do protótipo

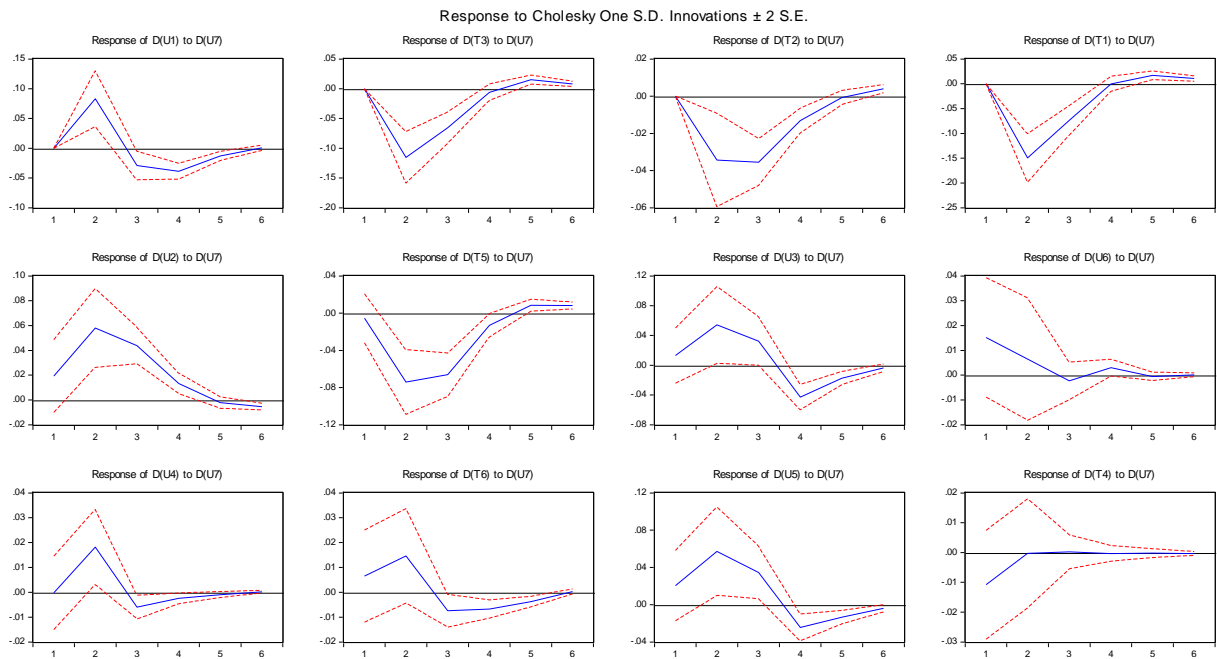


Fonte: Autor

De acordo com Figura 7, quando um choque externo em termos de um desvio padrão na temperatura  $\Delta(T7)$ , as temperaturas  $\Delta(T3)$ ,  $\Delta(T2)$ ,  $\Delta(T1)$ ,  $\Delta(T5)$  e umidade  $\Delta(U4)$  apresentam uma resposta com um crescimento até o segundo período, voltando a cair no período três e se estabilizando até o sexto período. As variáveis  $\Delta(U1)$ ,  $\Delta(U3)$ ,  $\Delta(U2)$ ,  $\Delta(U5)$  e  $\Delta(U6)$  apresentam uma resposta de comportamento de descida até o período dois, voltam a subir até o terceiro período e se estabilizam até o sexto período. As variáveis  $\Delta(T6)$  e  $\Delta(T4)$  apresentam uma resposta de descida até o quarto período e após se estabilizam no sexto período.

Um choque externo pode ser considerado uma alteração abrupta da temperatura ou da própria umidade da estocagem.

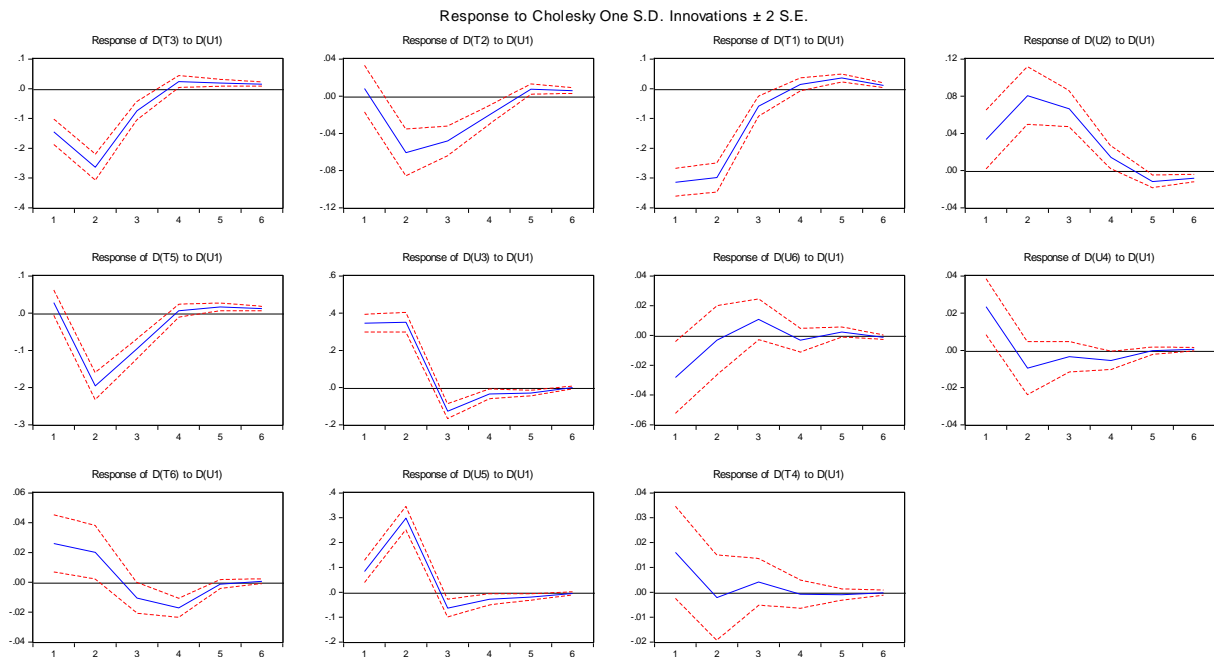
Figura 8 - Impulso realizado na variável U7 e respostas nas demais variáveis que compõem o sistema de sensores do protótipo



Fonte: Autor

De acordo com Figura 8, quando ocorre um choque externo em termos de um desvio padrão na  $\Delta(U7)$ , a unidade  $\Delta(U1)$  responde com um crescimento até o segundo período, voltando a cair até o quarto período e se estabilizando até o sexto período. De modo geral, as variáveis  $\Delta(T6)$ ,  $\Delta(U3)$  e  $\Delta(U5)$  apresentam uma resposta com o mesmo comportamento de subida, descida e estabilização. Já as variáveis  $\Delta(T3)$ ,  $\Delta(T5)$ ,  $\Delta(T2)$ ,  $\Delta(T1)$  respondem com um comportamento inverso, decrescem até o segundo período e voltam a subir até se estabilizar no sexto período. A variável umidade  $\Delta(U2)$  apresenta uma resposta de subida até o segundo período e, após, decresce até se estabilizar no sexto período, a variável umidade  $\Delta(U4)$  apresenta uma resposta de subida até o segundo período, voltando a cair até o terceiro período e, após, se estabiliza no sexto período. A variável temperatura  $\Delta(T4)$  responde com acréscimo até o período dois, no qual já se estabiliza. A variável umidade  $\Delta(U6)$  decresce até o terceiro período e se estabiliza.

Figura 9 - Impulso realizado na variável U1 e respostas nas demais variáveis que compõem o sistema de sensores do protótipo



Fonte: Autor

De acordo com Figura 9, é realizado o impulso de resposta na variável  $\Delta(U1)$ , por ela ser considerada a variável mais exógena do modelo por ter o maior valor Qui-quadrado e por este motivo é interessante aplicar um choque externo em termos de um desvio padrão, o que se constatou que as temperaturas  $\Delta(T3)$ ,  $\Delta(T2)$ ,  $\Delta(T4)$ ,  $\Delta(T5)$  e umidade  $\Delta(U4)$  respondem com um decrescimento até o segundo período, voltando a subir até quarto período e estabilizando até o sexto período.

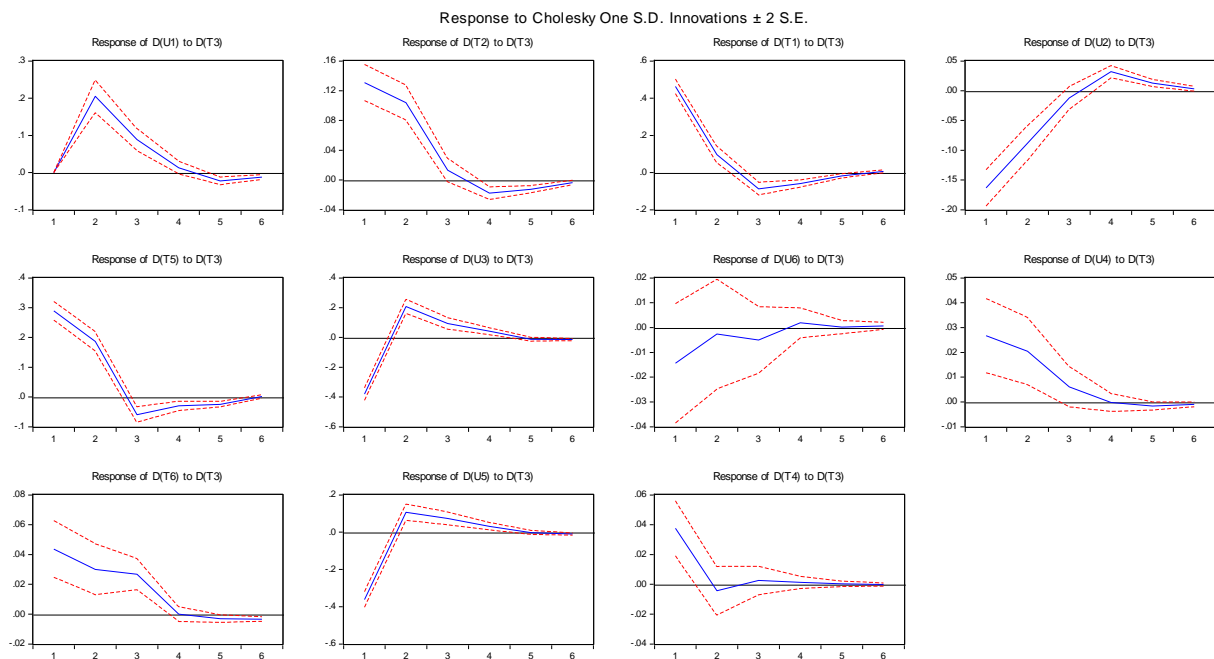
As variáveis  $\Delta(U2)$  e  $\Delta(U5)$  apresentam uma resposta de subida na umidade até o segundo período, após a umidade decresce até o quinto período e se estabiliza no sexto período.

As variáveis  $\Delta(U3)$  e  $\Delta(T6)$  respondem com uma descida até o terceiro e quarto período e após crescem até o quinto período e se estabilizam no sexto período.

A variável temperatura  $\Delta(T1)$  responde um comportamento de subida até o quinto período, após se estabiliza no sexto período. A variável umidade  $\Delta(U6)$  apresenta um comportamento de subida até o terceiro período, após decresce até o quarto período, volta a subir até o quinto período e se estabiliza no sexto período.



Figura 10 - Impulso realizado na variável  $\Delta(T3)$  e respostas nas demais variáveis que compõem o sistema de sensores do protótipo



Fonte: Autor

De acordo com Figura 10, quando um choque externo em termos de um desvio padrão ocorrer na temperatura  $\Delta(T3)$  que é a segunda variável mais exógena, as temperaturas  $\Delta(T1)$ ,  $\Delta(T2)$ ,  $\Delta(T5)$ ,  $\Delta(T6)$  e umidade  $\Delta(U4)$  ocorre um decrescimento até o terceiro e quarto período, voltando a se estabilizar até o sexto período.

As variáveis  $\Delta(U1)$ ,  $\Delta(U3)$  e  $\Delta(U5)$  apresentam um comportamento de subida na umidade até o segundo período, após a umidade decresce até o quinto período e se estabiliza no sexto período. As variáveis  $\Delta(U2)$  e  $\Delta(U6)$  têm um comportamento de subida na umidade até o quarto período e após decrescem até o quinto período e se estabilizam no sexto período.

A variável  $\Delta(T4)$  apresenta um comportamento de descida na temperatura até o segundo período, após cresce até o terceiro período e na sequência se estabiliza já no quinto período.

Essa análise de impulso de resposta é importante porque o operador do silo terá a oportunidade de verificar o que acontece com as demais variáveis do silo quando há um impacto em uma dessas variáveis.

Determinada a inter-relação entre essas variáveis e o modo como elas se transmitem dentro do silo, há a necessidade de se realizar uma previsão dessas variáveis, de modo que o operador possa tomar uma ação corretiva para manter a temperatura ideal e o produto de qualidade.

#### 4.5 PREVISÃO DAS VARIÁVEIS DO PROTÓTIPO

Determinados os impulsos de resposta das variáveis e o seu comportamento frente a um choque externo, busca-se agora realizar uma previsão também com seis passos à frente, utilizando a metodologia de equações dinâmicas, pois todas as variáveis estão interligadas dentro do protótipo, e a modelagem VAR sinalizou que as defasagens são importantes para a explicação do sistema.

No protótipo elaborado para esta pesquisa, as variáveis T7 e U7 são externas, captando as variações da temperatura e da umidade do meio ambiente, neste caso estas variáveis foram consideradas como variáveis instrumentais, isto é, variáveis que irão compor o modelo, mas não terão uma equação para representá-las.

Dessa forma, realiza-se uma estimação conjunta por meio de equações dinâmicas representadas na Tabela 12 com o intuito de conhecer o comportamento futuro das variáveis em seis períodos à frente.

Os testes ADF e KPSS apresentaram-se inconclusivos em relação ao grau de diferenciação, sinalizando uma diferenciação fracionária. Frente a esse fato, optou-se por realizar a estimação das equações dinâmicas com as variáveis em nível.

Tabela 12 - Modelo dinâmico estimado pelo método três estágios das variáveis: U1, U2, U3, U4, U5, U6, T1, T2, T3, T4, T5 e T6.

(continua)

Equação para T1				
Variável	Coeficiente	Erro padrão	t-calc	p-valor
T1 <sub>t-1</sub>	0.699042	0.03640	19.2	p≤0,05
U1 <sub>t-1</sub>	-0.187866	0.02274	-8.26	p≤0,05
U1 <sub>t-2</sub>	0.195161	0.02254	8.66	p≤0,05
T3 <sub>t-1</sub>	0.163440	0.04590	3.56	p≤0,05
U3 <sub>t-1</sub>	-0.094003	0.02259	-4.16	p≤0,05
U3 <sub>t-2</sub>	0.088951	0.02240	3.97	p≤0,05
T5 <sub>t-1</sub>	0.168483	0.04260	3.95	p≤0,05
T5 <sub>t-2</sub>	-0.144957	0.02687	-5.39	p≤0,05

Tabela 12 - Modelo dinâmico estimado pelo método três estágios das variáveis: U1, U2, U3, U4, U5, U6, T1, T2, T3, T4, T5 e T6.

(continuação)				
T7 <sub>t-1</sub>	0.094414	0.00596	15.8	p≤0,05
U7 <sub>t-1</sub>	0.004437	0.00101	4.39	p≤0,05
Equação para U1				
Variável	Coeficiente	Erro padrão	t-calc	p-valor
T1 <sub>t-2</sub>	0.071613	0.02856	2.51	0.012
U1 <sub>t-1</sub>	0.922847	0.01202	76.8	p≤0,05
T3 <sub>t-1</sub>	0.384268	0.03950	9.73	p≤0,05
T5 <sub>t-1</sub>	-0.412842	0.04158	-9.93	p≤0,05
U5 <sub>t-2</sub>	0.064511	0.01174	5.49	p≤0,05
Equação para T2				
Variável	Coeficiente	Erro padrão	t-calc	p-valor
T1 <sub>t-1</sub>	0.121225	0.02176	5.57	p≤0,05
U1 <sub>t-2</sub>	-0.004227	0.00164	-2.58	0.010
T2 <sub>t-1</sub>	0.556231	0.02400	23.2	p≤0,05
T3 <sub>t-1</sub>	0.068936	0.02496	2.76	0.006
T4 <sub>t-1</sub>	0.051361	0.01460	3.52	p≤0,05
T6 <sub>t-1</sub>	0.171607	0.02460	6.98	p≤0,05
T7 <sub>t-1</sub>	0.033644	0.00334	10.0	p≤0,05
U7 <sub>t-1</sub>	0.003513	0.00071	4.92	p≤0,05
Equação para U2				
Variável	Coeficiente	Erro padrão	t-calc	p-valor
T1 <sub>t-1</sub>	-0.072018	0.02482	-2.90	0.004
T1 <sub>t-2</sub>	0.076673	0.02261	3.39	0.001
U1 <sub>t-1</sub>	0.099064	0.01061	9.34	p≤0,05
T2 <sub>t-1</sub>	0.115905	0.02289	5.06	p≤0,05
U2 <sub>t-1</sub>	0.829517	0.03071	27.0	p≤0,05
U2 <sub>t-2</sub>	0.077654	0.02926	2.65	0.008
T5 <sub>t-1</sub>	-0.111143	0.03269	-3.40	0.001
T7 <sub>t-1</sub>	-0.029217	0.00376	-7.76	p≤0,05
Equação para T3				
Variável	Coeficiente	Erro padrão	t-calc	p-valor
T1 <sub>t-1</sub>	0.383618	0.03317	11.6	p≤0,05
U1 <sub>t-1</sub>	-0.037233	0.00936	-3.98	p≤0,05
U2 <sub>t-2</sub>	0.039414	0.00784	5.03	p≤0,05
T3 <sub>t-1</sub>	0.295300	0.03946	7.48	p≤0,05
U3 <sub>t-1</sub>	-0.156735	0.01828	-8.57	p≤0,05
U3 <sub>t-2</sub>	0.152339	0.01809	8.42	p≤0,05
T5 <sub>t-1</sub>	0.154406	0.03637	4.24	p≤0,05
T6 <sub>t-1</sub>	0.112846	0.02025	5.57	p≤0,05
T7 <sub>t-1</sub>	0.068573	0.00542	12.6	p≤0,05
T7 <sub>t-2</sub>	-0.014796	0.00456	-3.24	0.001
Equação para U3				
Variável	Coeficiente	Erro padrão	t-calc	p-valor
T1 <sub>t-1</sub>	-0.165277	0.03798	-4.35	p≤0,05
U1 <sub>t-1</sub>	0.494566	0.02939	16.8	p≤0,05
U1 <sub>t-2</sub>	-0.409118	0.02781	-14.7	p≤0,05
T3 <sub>t-1</sub>	0.251599	0.04418	5.69	p≤0,05

Tabela 12 - Modelo dinâmico estimado pelo método três estágios das variáveis: U1, U2, U3, U4, U5, U6, T1, T2, T3, T4, T5 e T6.

(continuação)

U3 <sub>t-1</sub>	0.583678	0.02693	21.7	p≤0,05
U3 <sub>t-2</sub>	0.333866	0.02497	13.4	p≤0,05
T4 <sub>t-1</sub>	-0.111769	0.01732	-6.45	p≤0,05
U4 <sub>t-1</sub>	0.165944	0.01812	9.16	p≤0,05
U5 <sub>t-2</sub>	-0.146315	0.02148	-6.81	p≤0,05
T7 <sub>t-1</sub>	-0.027462	0.00540	-5.08	p≤0,05
Equação para T4				
Variável	Coeficiente	Erro padrão	t-calc	p-valor
T1 <sub>t-1</sub>	-0.033278	0.00869	-3.83	p≤0,05
T2 <sub>t-1</sub>	0.126906	0.01528	8.30	p≤0,05
T4 <sub>t-1</sub>	0.906623	0.00855	106.	p≤0,05
Equação para U4				
Variável	Coeficiente	Erro padrão	t-calc	p-valor
U2 <sub>t-1</sub>	-0.002401	0.00109	-2.20	0.028
U4 <sub>t-1</sub>	0.857894	0.03063	28.0	p≤0,05
U4 <sub>t-2</sub>	0.141092	0.03063	4.61	p≤0,05
T7 <sub>t-1</sub>	0.009013	0.00190	4.72	p≤0,05
U7 <sub>t-1</sub>	0.003521	0.00088	4.00	p≤0,05
U7 <sub>t-2</sub>	-0.002379	0.00077	-3.06	0.002
Equação para T5				
Variável	Coeficiente	Erro padrão	t-calc	p-valor
T1 <sub>t-1</sub>	0.144909	0.02735	5.30	p≤0,05
U1 <sub>t-1</sub>	-0.052834	0.01861	-2.84	p≤0,05
U1 <sub>t-2</sub>	0.052283	0.01861	2.81	p≤0,05
T3 <sub>t-1</sub>	0.319847	0.03296	9.70	p≤0,05
U3 <sub>t-1</sub>	-0.082458	0.01579	-5.22	p≤0,05
U3 <sub>t-2</sub>	0.082507	0.01573	5.24	p≤0,05
T5 <sub>t-1</sub>	0.351002	0.03046	11.5	p≤0,05
T6 <sub>t-1</sub>	0.135319	0.01790	7.56	p≤0,05
T7 <sub>t-1</sub>	0.060160	0.00492	12.2	p≤0,05
T7 <sub>t-2</sub>	-0.014991	0.00429	-3.49	0.001
U7 <sub>t-1</sub>	0.00257112	0.00084	3.03	0.003
Equação para U5				
Variável	Coeficiente	Erro padrão	t-calc	p-valor
T1 <sub>t-1</sub>	-0.141815	0.02389	-5.94	p≤0,05
U1 <sub>t-1</sub>	0.263015	0.02743	9.59	p≤0,05
U1 <sub>t-2</sub>	-0.093325	0.02641	-3.53	p≤0,05
U2 <sub>t-1</sub>	0.033945	0.01394	2.43	0.015
U3 <sub>t-1</sub>	-0.072936	0.01020	-7.15	p≤0,05
T4 <sub>t-2</sub>	-0.052823	0.02030	-2.60	0.009
U4 <sub>t-1</sub>	0.165309	0.01800	9.18	p≤0,05
T5 <sub>t-2</sub>	0.114631	0.03095	3.70	p≤0,05
U5 <sub>t-1</sub>	0.463121	0.02414	19.2	p≤0,05
U6 <sub>t-2</sub>	0.268006	0.02187	12.3	p≤0,05
T7 <sub>t-1</sub>	-0.043097	0.00636	-6.78	p≤0,05
T7 <sub>t-2</sub>	0.041103	0.00688	5.97	p≤0,05
U7 <sub>t-2</sub>	0.004943	0.00113	4.35	p≤0,05

Tabela 12 - Modelo dinâmico estimado pelo método três estágios das variáveis: U1, U2, U3, U4, U5, U6, T1, T2, T3, T4, T5 e T6.

(conclusão)

Equação para T6				
Variável	Coeficiente	Erro padrão	t-calc	p-valor
T2 <sub>t-2</sub>	0.088200	0.01726	5.11	p≤0,05
T5 <sub>t-1</sub>	0.054543	0.01144	4.77	p≤0,05
T6 <sub>t-1</sub>	0.839293	0.01369	61.3	p≤0,05
T7 <sub>t-1</sub>	0.012917	0.00254	5.08	p≤0,05
U7 <sub>t-1</sub>	0.001579	0.00058	2.68	0.008
Equação para U6				
Variável	Coeficiente	Erro padrão	t-calc	p-valor
U2 <sub>t-1</sub>	0.015762	0.00448	3.51	p≤0,05
U6 <sub>t-1</sub>	0.737608	0.03041	24.3	p≤0,05
U6 <sub>t-2</sub>	0.246942	0.03033	8.14	p≤0,05

Fonte: Autor

O modelo de equações dinâmicas estimado apresenta resíduos com características de ruído branco e são não autocorrelacionado, o que pode ser verificado pelas Figuras nos **APÊNDICES G, H, I e J**, e os resíduos mostram-se normalmente distribuídos.

O modelo geral estimado apresenta valores para as estatísticas de ajuste de AIC = -21,6854 e BIC = -21,3974, sendo esses os menores valores para essa estatística.

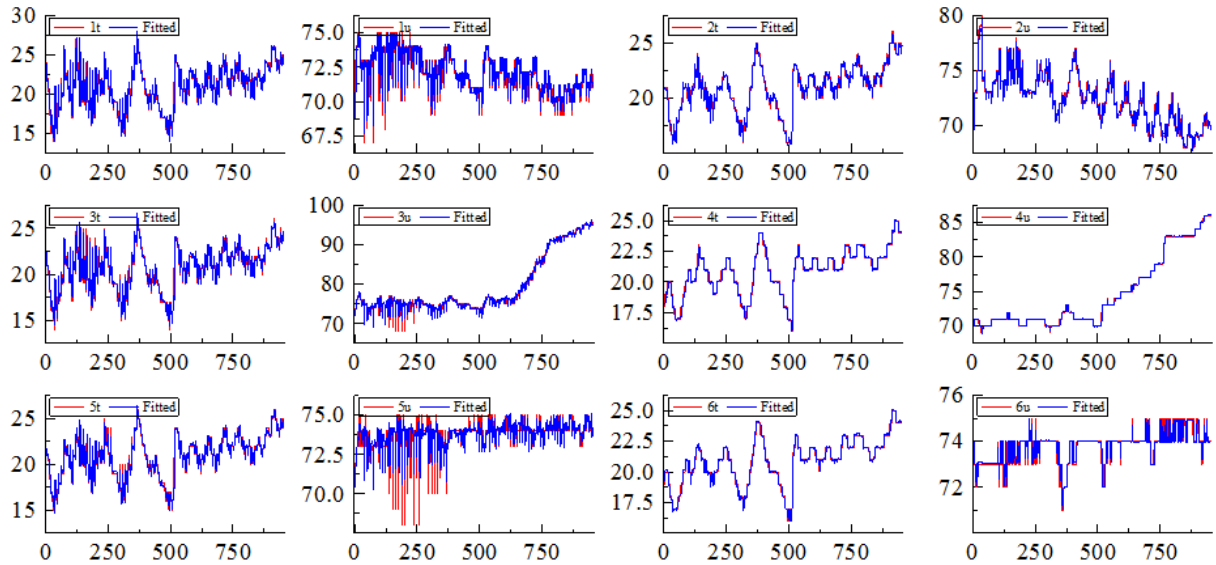
Como todas as autocorrelações parciais estão muito próximas de zero, não existe dependência nos resíduos oriundos do modelo, dessa forma o modelo proposto foi capaz de captar todas as características das séries estudadas.

Observa-se nas equações estimadas que nem todas as variáveis do protótipo são importantes para se realizar as previsões de cada uma das variáveis exógenas, representadas pelos seus sensores.

Os valores previstos e ajustados do modelo estão na Figura 11.

Uma forma de confirmar se os modelos ajustados das variáveis em estudo convergem para a série original é realizada pela comparação visual dos gráficos dos valores ajustados com os valores reais, e todas as séries ajustadas se movimentam muito próximas dos valores reais.

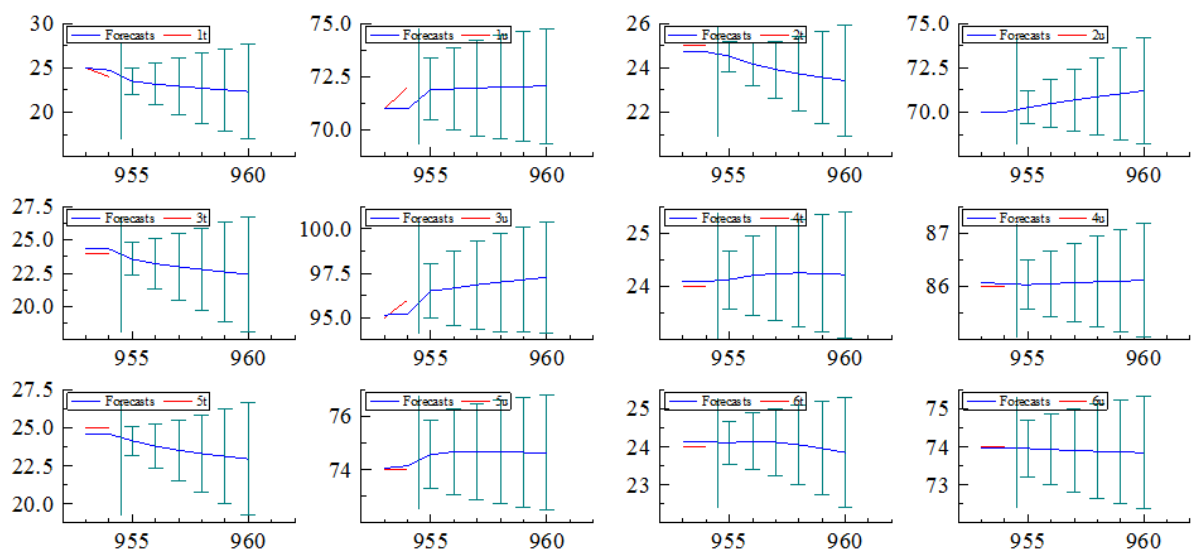
Figura 11 - Valores previstos e ajustados do modelo



Fonte: Autor

Os modelos dinâmicos estimados serão utilizados para se realizar previsões de curto prazo com um horizonte de 6 passos à frente, que corresponde a doze horas de trabalho, conforme Figura 12.

Figura 12 - Valores previstos 6 passos à frente das variáveis internas ao protótipo



Fonte: Autor

Na Figura 12, estão apresentadas as previsões das variáveis internas ao protótipo as barras verticais e horizontais representam os intervalos de confiança das previsões.

Para maiores detalhes dos valores previstos na Tabela 13, estão apresentados os valores previstos para cada variável.

Tabela 13 - Valores previstos para as variáveis internas ao protótipo, com um horizonte de 6 passos à frente

(continua)

Previsão para a variável 1t					
h	data	hora	previsão	real	erro padrão
955	20/10/2016	22:00:00	23.5039	24	0.7384
956	21/10/2016	00:00:00	23.1668	24	1.1880
957	21/10/2016	02:00:00	22.9282	23	1.5840
958	21/10/2016	04:00:00	22.7104	23	1.9590
959	21/10/2016	06:00:00	22.5141	22	2.3300
960	21/10/2016	08:00:00	22.3338	22	2.6960
Previsão para a variável 1u					
h	data	hora	previsão	real	erro padrão
955	20/10/2016	22:00:00	71.9105	72	0.7250
956	21/10/2016	00:00:00	71.9302	72	0.9694
957	21/10/2016	02:00:00	71.9708	72	1.1200
958	21/10/2016	04:00:00	72.0134	72	1.2180
959	21/10/2016	06:00:00	72.0428	72	1.2920
960	21/10/2016	08:00:00	72.0603	71	1.3540
Previsão para a variável 2T					
h	data	hora	previsão	real	erro padrão
955	20/10/2016	22:00:00	24.5229	24	0.3459
956	21/10/2016	00:00:00	24.1785	24	0.4792
957	21/10/2016	02:00:00	23.9288	24	0.6382
958	21/10/2016	04:00:00	23.7372	24	0.8261
959	21/10/2016	06:00:00	23.5729	24	1.0330
960	21/10/2016	08:00:00	23.4231	23	1.2520
Previsão para a variável 2U					
h	data	hora	previsão	real	erro padrão
955	20/10/2016	22:00:00	70.2700	70	0.4687
956	21/10/2016	00:00:00	70.4913	70	0.6738
957	21/10/2016	02:00:00	70.6900	71	0.8777
958	21/10/2016	04:00:00	70.8723	71	1.0840
959	21/10/2016	06:00:00	71.0468	72	1.2910
960	21/10/2016	08:00:00	71.2123	72	1.4970

Tabela 13 - Valores previstos para as variáveis internas ao protótipo, com um horizonte de 6 passos à frente

(continuação)

Previsão para a variável 3T					
id	data	hora	previsão	real	erro padrão
955	20/10/2016	22:00:00	23.5587	24	0.6169
956	21/10/2016	00:00:00	23.2185	24	0.9416
957	21/10/2016	02:00:00	22.9943	23	1.2540
958	21/10/2016	04:00:00	22.7848	23	1.5560
959	21/10/2016	06:00:00	22.6027	23	1.8600
960	21/10/2016	08:00:00	22.4313	22	2.1650
Previsão para a variável 3U					
id	data	hora	previsão	real	erro padrão
955	20/10/2016	22:00:00	96.5133	96	0.759
956	21/10/2016	00:00:00	96.6652	96	1.059
957	21/10/2016	02:00:00	96.8570	96	1.248
958	21/10/2016	04:00:00	97.0016	96	1.386
959	21/10/2016	06:00:00	97.1444	96	1.489
960	21/10/2016	08:00:00	97.2701	96	1.569
Previsão para a variável 4T					
id	data	hora	previsão	real	erro padrão
955	20/10/2016	22:00:00	24.1329	24	0.2726
956	21/10/2016	00:00:00	24.2094	24	0.3735
957	21/10/2016	02:00:00	24.2462	24	0.4456
958	21/10/2016	04:00:00	24.2559	24	0.5022
959	21/10/2016	06:00:00	24.2476	24	0.5500
960	21/10/2016	08:00:00	24.2257	24	0.5933
Previsão para a variável 4U					
id	data	hora	previsão	real	erro padrão
955	20/10/2016	22:00:00	86.0381	86	0.2326
956	21/10/2016	00:00:00	86.0564	86	0.3077
957	21/10/2016	02:00:00	86.0747	86	0.3716
958	21/10/2016	04:00:00	86.0910	86	0.4282
959	21/10/2016	06:00:00	86.1057	86	0.4813
960	21/10/2016	08:00:00	86.1188	86	0.5330
Previsão para a variável 5T					
id	data	hora	previsão	real	erro padrão
955	20/10/2016	22:00:00	24.1681	24	0.468
956	21/10/2016	00:00:00	23.8008	24	0.736
957	21/10/2016	02:00:00	23.5390	24	0.999
958	21/10/2016	04:00:00	23.3256	23	1.270
959	21/10/2016	06:00:00	23.1393	23	1.549
960	21/10/2016	08:00:00	22.9681	23	1.834



Tabela 13 - Valores previstos para as variáveis internas ao protótipo, com um horizonte de 6 passos à frente

(conclusão)

Previsão para a variável 5U					
id	data	hora	previsão	real	erro padrão
955	20/10/2016	22:00:00	74.5737	75	0.6444
956	21/10/2016	00:00:00	74.6870	75	0.8099
957	21/10/2016	02:00:00	74.6824	75	0.9033
958	21/10/2016	04:00:00	74.6660	75	0.9706
959	21/10/2016	06:00:00	74.6567	75	1.0250
960	21/10/2016	08:00:00	74.6517	75	1.0710
Previsão para a variável 6T					
id	data	hora	previsão	real	erro padrão
955	20/10/2016	22:00:00	24.1114	24	0.2762
956	21/10/2016	00:00:00	24.1557	24	0.3688
957	21/10/2016	02:00:00	24.1285	24	0.4428
958	21/10/2016	04:00:00	24.0590	24	0.5210
959	21/10/2016	06:00:00	23.9650	24	0.6144
960	21/10/2016	08:00:00	23.8570	24	0.7278
Previsão para a variável 6U					
id	data	hora	previsão	real	erro padrão
955	20/10/2016	22:00:00	73.9602	74	0.3722
956	21/10/2016	00:00:00	73.9350	75	0.4622
957	21/10/2016	02:00:00	73.9101	75	0.5476
958	21/10/2016	04:00:00	73.8887	75	0.6170
959	21/10/2016	06:00:00	73.8696	75	0.6786
960	21/10/2016	08:00:00	73.8530	75	0.7339
Previsão para a variável 7T					
id	data	hora	previsão	real	erro padrão
955	20/10/2016	22:00:00	22.6597	22	3.463
956	21/10/2016	00:00:00	22.4850	21	5.033
957	21/10/2016	02:00:00	22.3217	19	6.210
958	21/10/2016	04:00:00	22.1602	19	7.185
959	21/10/2016	06:00:00	21.9999	18	8.031
960	21/10/2016	08:00:00	21.8407	19	8.785
Previsão para a variável 7U					
id	data	hora	previsão	real	erro padrão
955	20/10/2016	22:00:00	65.3471	68	9.883
956	21/10/2016	00:00:00	65.3914	74	14.44
957	21/10/2016	02:00:00	65.4160	81	17.90
958	21/10/2016	04:00:00	65.4392	86	20.79
959	21/10/2016	06:00:00	65.4625	89	23.33
960	21/10/2016	08:00:00	65.4857	85	25.62

h: horizonte de previsão.

Fonte: Autor

De posse dos valores previstos de cada variável, é possível que o operador conheça o comportamento futuro de cada variável, analisando a equação vetorial

estrutural e a equação dinâmica para determinar o caminho que os efeitos das variáveis percorrerão. Dessa forma, é necessário realizar um esforço para manter a temperatura e a umidade relativa próximas de seus valores alvos estabelecidos para manter a qualidade do produto estocado.

A forma de manipulação dessas variáveis envolvidas no estudo se dá pela aeração do silo, que é equipado com ventiladores que realizam o processo de aeração.

O operador terá como auxílio para esta tarefa o tempo que cada ponto do silo leva para receber um impulso, representado pelas defasagens. Também foi possível determinar quais são as variáveis mais importantes em cada ponto do silo.

## 5 CONCLUSÃO

Considerando que a soja é um dos principais produtos agrícolas produzidos no Brasil apresentando bons resultados em termos de produtividade e financeiro, surge a necessidade de um estudo para analisar o comportamento das variáveis temperatura e umidade na estocagem.

Outro aspecto a ser levado em consideração é o valor econômico agregado à soja ao apresentar boas condições de estocagem, pois o grão, além de ser consumido no mercado interno, é exportado, apresentando nas últimas décadas um superávit na balança comercial brasileira.

O grão da soja apresenta as características de respiração e aquecimento, que devem ser consideradas em conjunto para a qualidade do produto. Conforme Demito e Afonso (2009), a redução da temperatura é uma característica boa para a manutenção do produto e uma técnica economicamente viável para preservar a qualidade das sementes armazenadas.

Segundo Silva (2008), quando há um incremento na taxa respiratória, há um aumento proporcional na temperatura, que fica proporcional também na dependência do teor de água das sementes. Com o teor de água superior a 14% no grão de soja, a respiração aumenta rapidamente, ocasionando a deterioração do cereal.

Um diferencial nesta pesquisa foi a elaboração de um protótipo que possibilitou a coleta das temperaturas e umidades relativas do ar simultaneamente, pois os silos atuais apenas trabalham com o valor da temperatura. Sendo assim, mais uma variável é disponibilizada para o controle interno da temperatura e da umidade relativa do silo, sendo as variáveis interdependentes uma da outra conforme a sua localização no silo, o que é comprovado pelo posicionamento dos sensores e pelas equações estimadas.

Também foi possível verificar a resposta das variáveis quando uma mudança externa ocorreu por meio da metodologia de impulso de resposta. Um choque ou mudança externa foi realizado nas variáveis que representam o meio ambiente, pois, pelo teste de causalidade, as mudanças externas de temperatura e umidade relativa influenciaram diretamente a temperatura interna e a umidade.

Dessa forma, silos que possuem armazenagem por períodos de um ano ou mais devem demandar um cuidado e o monitoramento dos operadores, pois

períodos de frios, geadas, secas e chuvas irão interferir nas condições internas de estocagem.

O impulso de resposta também foi realizado nas variáveis de maior importância de exogeneidade, aquelas com maior valor da estatística de Qui-quadrado. Todas as variáveis que sofreram o impulso fizeram com que as respostas se estabilizassem em um período de cinco ou seis passos, ou seja, as mudanças atuaram no protótipo por até 12 horas.

Com o intuito de se obter previsões assertivas, estimou-se um modelo de equações dinâmicas, as quais possibilitaram que permanecessem no modelo apenas as variáveis significativas para cada variável exógena. O processo de eliminação de variáveis foi possibilitado pelo estimador de Três Estágios, quando as equações apresentam características SUR; diferentemente do VAR estrutural, cada equação terá uma composição diferente das demais. Os valores previstos estão de acordo com a realidade do protótipo proposto, pois todas as séries convergiram para o valor real.

A partir dos resultados obtidos, foi possível identificar qual a relação entre as variáveis e quais são as mais relevantes para a realização das previsões das variáveis envolvidas, de modo que o operador possa manter uma estratégia para a qualidade do produto estocado.

A previsão proporciona o conhecimento antecipado para realizar a aeração no silo, de modo a manter a temperatura e a umidade relativa controlada. O operador terá doze horas no máximo para realizar essa operação, dado que é o tempo necessário para estabilizar as variáveis.

Uma restrição apresentada nesta pesquisa foi a impossibilidade de testar a metodologia em um silo real, pois, além de instalar os sensores com os silos vazios, teria que esperar que o mesmo tivesse sua capacidade de estocagem completa. Outro fator que restringiu essa ação foi a de que, para o pesquisador entrar no silo para instalação do equipamento, teria que ter curso de segurança em altura e de identificação de gases.

Em relação ao protótipo, ele não foi equipado com aerador, o que possibilitaria o controle das variáveis, mas no mercado existem silos com essa característica, que são os utilizados em pequenas propriedades.

O estudo é importante, pois possibilita uma visão geral de como essas variáveis se comportam, tanto entre elas quanto em relação ao clima. Sabe-se que o

estudo de impulso de resposta e as previsões realizadas, são de grande valia. No futuro um estudo que desenvolva um controlador para manter as variáveis no alvo estabelecido poderá ser criado, assim como será significativa a elaboração de um programa computacional que indicará por quanto tempo o aerador tenha que estar ligado, o que resultará em um silo mais informatizado e auxiliará na manutenção da qualidade do produto.

## REFERÊNCIAS

- ABBA, E. J.; LOVATO, A. **Effect of seed storage temperature and relative humidity on maize (*Zea mays* L.) seed viability and vigour**. Zurich, v. 27, p. 101-114. Zurich: Seed Science and Technology, 1999. Disponível em: <[goo.gl/6R40Xn](http://goo.gl/6R40Xn)>. Acesso em: Nov 2015.
- AGUNG, G. N. (2009). **Time Series Data Analysis Using EViews**. Zurich: Wiley. Disponível em: <[goo.gl/s4U8JZ](http://goo.gl/s4U8JZ)>. Acesso em: Fev 2016.
- AKAIKE, H. (1970). **Statistical predictor identification**. Ann. Statis. Math., p. 203-217.
- ALMEIDA, C. **Manual de conservação de grãos**. P. 29. Aparecida de Goiânia, GO, 2016.
- AMORIM JÚNIOR, H. P.; MOREIRA, T. C.; PESSANHA, V. G.; JACINTO, A. M. **Previsão da demanda de passageiros no Sistema de Transporte Coletivo utilizando as Redes Neurais Artificiais e os Algoritmos Genéticos**. IV Congresso Brasileiro de Computação – CBComp, 2004. Disponível em: <[goo.gl/4S5jqz](http://goo.gl/4S5jqz)>. Acesso em: Jan 2016.
- ARDUINO. Site Oficial**. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>>. Acesso em: Jan 2016.
- BAILLIE, R.; CHUNG, C. F.; TIESLAU, M. A. **Analyzing inflation by the fractionally integrated ARFIMA-GARCH model**. Journal of Applied Econometrics, p. 23-40, 1996. Disponível em: <[goo.gl/2DC19q](http://goo.gl/2DC19q)>. Acesso em: Dez 2015.
- BATALHA, O. M. **Introdução à engenharia de produção**. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2008.
- BERN, C. J.; HANNAL, M. H.; WILCKE, W. **Harvesting, Storing and Post-Harvest Management of Soybeans**. New York: AOCS Press, 2008.
- BILOBROVEC, M. **Sistema especialista em lógica fuzzy para o controle, gerenciamento e manutenção da qualidade em processo de aeração de grãos**. Monografia. Ponta Grossa, 2005. Disponível em: <[goo.gl/Ey1A8M](http://goo.gl/Ey1A8M)>. Acesso em: Jan 2016.
- BUENO, R. L. **Econometria de séries temporais**. P. 299. São Paulo, SP: Cengage Learning, 2008.
- BURRIS, J. S. **Maintenance of soybean seed quality in storage as influenced by moisture, temperature and genotype**. V. 54, p. 377-389. Iowa State Journal of Research, 1980. Disponível em: <[goo.gl/Bbo24v](http://goo.gl/Bbo24v)>. Acesso em: Dez 2015.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência, tecnologia e produção**. Fundação Cargill. Campinas, SP, 1980.

CAVALCANTI, M. A. **Identificação de modelos VAR e causalidade de Granger: Uma nota de advertência**, v. 14, p. 251-260, 2010.

CHRISTENSEN, C. M.; KAUFMANN, H. H. **Storage of cereal grains and their products**. St. Paul: AACC, p. 158-192, 1974.

D'ARCE, M. A. **Pós-colheita e armazenamento de grãos**. Departamento agroindústria, alimentos e nutrição ESALQ/USP, 2011. Disponível em: <goo.gl/zl1ksJ>. Acesso em: Jan 2016.

DE ALENCAR, E. R.; FARONI, L. R.; FILHO, A. F.; PETERNELLI, L. A.; COSTA, A. R. **Qualidade dos grãos de soja em diferentes condições**. Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental, p. 606-613, 2009. Disponível em: <goo.gl/6dTo3R>. Acesso em: Nov 2015.

DEMITO, A.; AFONSO, A. D. L. **Qualidade das sementes de soja resfriadas artificialmente**. Engenharia na Agricultura, v. 17, p. 7-14, 2009. Disponível em: <www.agriambi.com.br/revista/v18n04/v18n04a13.pdf >. Acesso em: Nov 2016.

DE SENNA, V. **A relação dos gastos em programas de assistência social com as variáveis macroeconômicas brasileiras**. Santa Maria, RS, 2015. Disponível em: <goo.gl/tlPqqD >. Acesso em: Jan 2016.

DE SORDI, J. O.; MARINHO, B. L., NAGY. **Benefícios da arquitetura de software orientada a serviços para as empresas: análise da experiência do ABN amro Brasil**. Universidade de São Paulo, v. 3, p. 19-34, 2006. Disponível em: <goo.gl/bsHiWX>. Acesso em: Fev 2016.

DHINGRA, O. D.; MIZUBUTI, E. S.; NAPOLEÃO, I. T.; JHAM, G.. **Free fatty acid accumulation and quality loss of stored soybean seeds invaded by *Aspergillus ruber***, v. 29, p. 311-359. Zurich: Seed Science and Technology, 2001. Disponível em: <goo.gl/3RoPL7>. Acesso em: Jan 2016.

DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. **Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root**. Econometrica, v. 49, 1981.

DICKEY, D.; FULLER, W. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root, **Journal of the American Statistical Association**, 74(366), p. 427-431, 1979.

ELIAS, M. C. **Fatores que influenciam a aeração e o manejo da conservação de grãos**, p. 311-359. Campinas, SP, 2002.

EMBRAPA. (s.d.). **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 2014. Disponível em <https://www.embrapa.br/>. Acesso em: Mar 2016

ENDERS, W. **Applied Econometric Time Series**. Canada: John Wiley, 1995.

ENDERS, W. **Applied econometric time series. Wiley series in probability and mathematical statistics**. New York: John Wiley and Sons, 1995.

GUJARATI, D. N. **Econometria Básica**. 3<sup>o</sup> ed., São Paulo, SP: Makron Books, 2000.

GUNGADURDOSS, M. **Improvement of seed viability of vegetable soybean (Glycinemax(L) Merrill)**. Food and Agricultural Research Council., p. 117-123, 2003. Disponível em <goo.gl/T2vGNx>. Acesso em: Fev 2016.

HASSE, G. **O Brasil da Soja – Abrindo Fronteira, Semeando Cidades**. Porto Alegre, RS: L&PM, 1996.

HILL, C.; GRIFFITHS, W.; JUDGE, G. **Econometria**. São Paulo, SP: Saraiva, 1999.

JIA, C. S.; CAO, D. **Mathematical Simulation of Temperature Fields in a Stored Grain Bin due to Internal Heat Generation**. Journal of Food Engineering, p. 227-233, 2000. Disponível em <goo.gl/Wc0lx6>. Acesso em: Jan 2016.

KESTER, A.; RESENDE, O.; SILVA, G. P.; BESSA, D. E.; ULLMANN, R. **Cinética de secagem dos grãos de soja**. I Congresso de Pesquisa do Campus Rio Verde IF Goiano. Rio Verde, GO, 2012.

KWIATKOWSKI, D.; PHILLIPS, P. C.; SCHMIDT, P.; SHIN, Y. Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. How sure are we that economic time series have a unit root? **Journal of Econometrics**, 44, 1992.

LORINI, I.; MIIKE, L.; SCUSSEL, V. **Armazenagem de grãos**. IBG, p. 311-359, 2002.

MADDALA, G. S. **Introduction to Econometrics**. Ed 2<sup>a</sup>. New Jersey: Prentice Hall, 1992.

MÖHLER, B. C. **Avaliação das Características de Secagem dos Grãos de Soja**. Porto Alegre: UFRGS, 2010. Disponível em <goo.gl/qNasEi>. Acesso em: Dez 2015.

MOREIRA, M. F.; CORRÊA, R. G.; FREIRE, J. T. (jun. de jun.). **Modelo matemático para previsão da temperatura da soja armazenada em silos**. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Engevista, v. 17, n. 2, p. 240-253, 2015. Disponível em <goo.gl/JvtJiL>. Acesso em: Jan 2016.

MORETTIN, D. C.; MASTRANGELO, C. M. **Análise de Séries Temporais**. São Paulo: ed. 1<sup>a</sup>, E. Blücher, 2004.

MUIR, W. E.; WHITE, N. D. **Microorganisms in stored grain**. W.E. ed. Manitoba: Grain Preservation Biosystems, p. 1-17, 2000.

NASCIMENTO, H. H. **Planejamento de mercado de energia elétrica no novo modelo do setor elétrico brasileiro pela aplicação de análise de componente principal como métodos de combinação de previsão**. Campo Grande, MS: Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), 2013. Disponível em <goo.gl/3UvWKr>. Acesso em: Fev 2016.



POICHOTTE, J. L. **INSTITUT TECHNIQUE DES CEREALES ET FORRAGENS (I.T.C.E.)**. Intitut Technique des Cereales et Forragens. Paris, 1973.

PRACHAYAWARAKORN, S.; CHOTEBOON, C.; SOPONROIINARIT, S. **Simultaneous Momentum, Heat, and Mass Transfer with Color Change during Paddy Storage in Silo Drying Technology**. P. 205-223, 2005.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagem de grãos**. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. Campinas, SP, p. 603, 1986.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenamento de grãos**. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. Campinas, SP, 2000.

SCHWARZ, G. **Estimating the dimension of a model**. Annals of Statistics., v. 6, p. 461-464, 1978. Disponível em <goo.gl/8NYW8W>. Acesso em: Jan 2016.

SILVA, J. S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa, Aprenda Fácil, p. 560, 2008

SILVA, M. P.; ROSADO, P. L.; BRAGA, M. J.; CAMPOS, A. **Oferta da exportação de carne de frango no Brasil, de 1992 a 2007**, v. 49, n. 1, p. 31-54. Revista de economia e sociologia rural, 2011. Disponível em <goo.gl/5OKCX0 >. Acesso em: Fev 2016.

SILVA, W. R. **Seed Performance After Exposure to High Temperatures**. Scientia Agricola. In:, v. 55, p. 102-109, 1998. Disponível em <goo.gl/UYS0Qa>. Acesso em: Dez 2015.

SMITH, E. A. **Moisture transport caused by natural convection in grain stores**. Journal of Agricultural Engineering Research, p. 23-34, 1990. Disponível em <goo.gl/kz0Nqi>. Acesso em: Fev 2016.

SOUZA, A. M.; SOUZA, F. M.; FERREIRA, N.; MENEZES, R. **Electrical energy supply for Rio Grande do Sul, Brazil, using forecast combination of weighted eigen values**. Gepros, 2011. Disponível em <goo.gl/zb5OIX>. Acesso em: Jan 2016.

SOUZA, F. M.; ALMEIDA, S. G.; GUARNIERI, J. P.; SOUZA, A. M.; LOPES, L. F.. **Previsão do consumo de cimento no Estado do Rio Grande do Sul**, p. 1-86, n.1, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em <goo.gl/ZxwEje>. Acesso em: Nov 2015.

WOLFF, L.; SANTOS, E. D.; SOUZA, A. M. **Influence of the North American Stock Market About The Price of the Main Stock Brazilian**, n. 14. São Bernardo do Campo, 2011.

ZELLNER, A. **An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regressions and Tests for Aggregation Bias**. Journal of the American Statistical Association, p. 348-368, v. 57, n. 298, 1962. Disponível em <goo.gl/aLvMtJ>. Acesso em: Dez 2016.

**APÊNDICE A – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS VARIÁVEIS TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA, MÍNIMO, MÁXIMO E MÉDIA DOS MESES DE JULHO, AGOSTO, SETEMBRO, OUTUBRO, NOVEMBRO E DEZEMBRO DE 2016**

	JULHO/2016			AGOSTO/2016			SETEMBRO/2016		
	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média
T1	14	26	18,86	15	27	20,72	14	25	20,42
U1	67	76	72,67	68	75	73,16	69	74	71,88
T2	16	21	18,53	16	25	20,62	16	23	20,36
U2	69	80	74,38	71	78	73,93	69	77	71,98
T3	14	24	18,35	15	26	20,55	14	24	20,19
U3	69	71	70,21	69	73	70,93	70	79	73,60
T4	17	20	18,23	17	24	20,52	16	23	20,48
U4	69	71	70,21	69	73	70,93	70	79	73,60
T5	15	22	18,35	16	26	20,73	15	24	20,45
U5	71	75	73,12	68	75	73,52	73	75	74,00
T6	17	20	18,37	17	24	20,60	16	23	20,53
U6	72	74	72,95	71	75	73,46	72	75	73,86
T7	13	24	18,72	8	37	20,29	9	43	20,74
U7	52	69	60,37	25	99	63,57	25	99	69,24

	OUTUBRO/2016			NOVEMBRO/2016			DEZEMBRO/2016		
	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média
T1	18	27	22,82	19	28	24,25	24	27	25,51
U1	69	73	70,85	69	73	71,05	69	71	70,00
T2	19	26	22,88	20	27	24,17	24	26	25,43
U2	68	79	70,21	67	78	69,97	67	70	68,26
T3	19	26	22,48	19	27	23,90	24	26	25,09
U3	79	88	84,07	86	91	89,47	90	90	90,00
T4	20	25	22,72	21	27	23,92	25	26	25,38
U4	79	88	84,07	86	91	89,47	90	90	90,00
T5	19	26	22,77	20	27	24,11	24	26	25,25
U5	73	75	74,24	73	75	74,31	73	75	74,25
T6	20	25	22,75	21	27	23,92	24	26	25,26
U6	73	75	74,42	73	75	74,54	74	75	74,83
T7	15	42	23,33	15	40	24,76	20	38	25,45
U7	26	99	75,66	27	99	61,51	40	99	66,47

Fonte: Autor

**APÊNDICE B – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DA TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA, MÉDIA POR TURNO DOS MESES DE JULHO, AGOSTO, SETEMBRO, OUTUBRO, NOVEMBRO E DEZEMBRO DE 2016**

(continua)

		JULHO/2016				AGOSTO/2016			
horas	00:00	06:01	12:01	18:01	00:00	06:01	12:01	18:01	
	às	às	às	às	às	às	às	às	
	06:00	12:00	18:00	24:00	06:00	12:00	18:00	24:00	
	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	
T1	17,75	18,11	20,71	19,00	19,94	20,14	22,23	20,87	
U1	73,46	72,42	71,43	73,50	73,63	72,37	72,94	73,80	
T2	18,33	18,05	18,90	18,93	20,52	20,21	20,96	20,94	
U2	74,75	74,84	73,76	74,07	73,97	74,48	73,49	73,65	
T3	17,63	17,68	19,48	18,79	19,94	19,88	21,89	20,72	
U3	70,29	70,00	70,19	70,36	70,94	70,88	70,94	70,96	
T4	18,25	18,26	18,19	18,21	20,44	20,51	20,61	20,56	
U4	70,29	70,00	70,19	70,36	70,94	70,88	70,94	70,96	
T5	17,88	17,79	19,10	18,79	20,29	20,05	21,81	21,02	
U5	73,46	73,05	72,67	73,29	73,99	73,61	72,61	73,81	
T6	18,29	18,37	18,33	18,57	20,66	20,44	20,61	20,74	
U6	72,96	72,84	73,05	72,93	73,35	73,54	73,52	73,46	
T7	17,58	18,37	20,24	18,86	18,26	21,27	22,30	19,74	
U7	61,17	59,95	59,10	61,50	66,73	61,37	59,87	66,39	
		SETEMBRO/2016				OUTUBRO/2016			
horas	00:00	06:01	12:01	18:01	00:00	06:01	12:01	18:01	
	às	às	às	às	às	às	às	às	
	06:00	12:00	18:00	24:00	06:00	12:00	18:00	24:00	
	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	
T1	19,94	19,99	21,23	20,82	22,55	22,29	23,36	23,33	
U1	72,28	71,31	71,67	72,23	71,17	70,48	70,63	71,16	
T2	20,33	20,09	20,49	20,63	22,90	22,54	22,98	23,20	
U2	72,16	72,37	71,63	71,53	70,18	70,63	70,12	69,75	
T3	19,90	19,73	20,81	20,53	22,33	22,08	22,77	22,92	
U3	73,55	73,56	73,60	73,77	83,98	84,14	84,06	84,18	
T4	20,46	20,51	20,53	20,42	22,73	22,76	22,70	22,67	
U4	73,55	73,56	73,60	73,77	83,98	84,14	84,06	84,18	
T5	20,26	20,01	20,91	20,80	22,69	22,38	22,99	23,18	
U5	74,24	73,98	73,73	73,97	74,38	74,34	74,04	74,14	
T6	20,56	20,42	20,54	20,62	22,84	22,74	22,64	22,78	
U6	73,83	73,86	73,90	73,85	74,45	74,44	74,41	74,37	
T7	16,59	24,36	23,62	19,22	19,81	25,51	26,16	22,41	
U7	83,25	61,79	56,54	71,69	87,18	71,16	64,22	78,06	
		NOVEMBRO/2016				DEZEMBRO/2016			
horas	00:00	06:01	12:01	18:01	00:00	06:01	12:01	18:01	
	às	às	às	às	às	às	às	às	
	06:00	12:00	18:00	24:00	06:00	12:00	18:00	24:00	
	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	
T1	24,03	23,71	24,71	24,81	25,30	24,92	26,08	24,81	
U1	71,44	70,84	70,64	71,16	70,15	69,77	69,83	71,16	
T2	24,19	23,91	24,26	24,40	25,45	25,00	25,67	24,40	
U2	70,03	70,20	69,88	69,66	68,55	68,62	67,83	69,66	
T3	23,82	23,47	24,13	24,36	24,95	24,77	25,42	24,36	
U3	89,46	89,48	89,44	89,50	90,00	90,00	90,00	89,50	
T4	23,82	23,93	24,00	23,97	25,40	25,31	25,33	23,97	
U4	89,46	89,48	89,44	89,50	90,00	90,00	90,00	89,50	
T5	24,08	23,76	24,24	24,47	25,15	24,92	25,50	24,47	

(conclusão)

horas	NOVEMBRO/2016				DEZEMBRO/2016			
	00:00 às 06:00	06:01 às 12:00	12:01 às 18:00	18:01 às 24:00	00:00 às 06:00	06:01 às 12:00	12:01 às 18:00	18:01 às 24:00
	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média
U5	74,46	74,47	74,03	74,16	74,50	74,46	73,75	74,16
T6	23,97	23,81	23,90	24,00	25,35	25,23	25,17	24,00
U6	74,46	74,64	74,55	74,53	74,95	74,92	74,75	74,53
T7	21,65	25,53	28,36	24,71	22,70	25,77	29,25	24,71
U7	68,87	62,95	51,17	59,64	70,50	68,08	59,25	59,64

Fonte: Autor

## APÊNDICE C – TESTE DE BLOCK EXOGENEITY DE WALD PARA TODAS AS VARIÁVEIS

(continua)

Dependent variable: $\Delta(U1)$			
Excluded	Chi-sq	df	Prob.
$\Delta(T3)$	8.591043	1	0.0034
$\Delta(T2)$	29.57396	1	0.0000
$\Delta(T1)$	3.629722	1	0.0568
$\Delta(U7)$	4.022922	1	0.0449
$\Delta(T7)$	0.190101	1	0.6628
$\Delta(U2)$	23.86452	1	0.0000
$\Delta(T5)$	0.114675	1	0.7349
$\Delta(U3)$	1.141505	1	0.2853
$\Delta(U6)$	4.446247	1	0.0350
$\Delta(U4)$	0.164835	1	0.6847
$\Delta(T6)$	1.171213	1	0.2792
$\Delta(U5)$	3.748934	1	0.0528
$\Delta(T4)$	1.462723	1	0.2265
All	224.1060	13	0.0000
Dependent variable: $\Delta(T3)$			
Excluded	Chi-sq	df	Prob.
$\Delta(U1)$	31.24301	1	0.0000
$\Delta(T2)$	0.059095	1	0.8079
$\Delta(T1)$	28.34746	1	0.0000
$\Delta(U7)$	1.417466	1	0.2338
$\Delta(T7)$	9.147339	1	0.0025
$\Delta(U2)$	0.094901	1	0.7580
$\Delta(T5)$	4.335802	1	0.0373
$\Delta(U3)$	8.105108	1	0.0044
$\Delta(U6)$	1.400179	1	0.2367
$\Delta(U4)$	0.463416	1	0.4960
$\Delta(T6)$	0.023506	1	0.8781
$\Delta(U5)$	1.395442	1	0.2375
$\Delta(T4)$	0.595545	1	0.4403
All	298.9832	13	0.0000
Dependent variable: $\Delta(T2)$			
Excluded	Chi-sq	df	Prob.
$\Delta(U1)$	1.028530	1	0.3105
$\Delta(T3)$	18.39823	1	0.0000
$\Delta(T1)$	10.79447	1	0.0010
$\Delta(U7)$	0.001340	1	0.9708
$\Delta(T7)$	5.565788	1	0.0183
$\Delta(U2)$	2.307574	1	0.1287
$\Delta(T5)$	8.606861	1	0.0033
$\Delta(U3)$	1.248954	1	0.2638
$\Delta(U6)$	0.770602	1	0.3800
$\Delta(U4)$	0.352981	1	0.5524
$\Delta(T6)$	5.273345	1	0.0217
$\Delta(U5)$	4.076970	1	0.0435
$\Delta(T4)$	1.299812	1	0.2542
All	195.5986	13	0.0000
Dependent variable: $\Delta(T1)$			
Excluded	Chi-sq	df	Prob.
$\Delta(U1)$	80.47564	1	0.0000
$\Delta(T3)$	17.27152	1	0.0000
$\Delta(T2)$	3.460090	1	0.0629
$\Delta(U7)$	4.374716	1	0.0365

(continuação)

Dependent variable: $\Delta(T1)$			
Excluded	Chi-sq	df	Prob.
$\Delta(U2)$	0.417386	1	0.5182
$\Delta(T5)$	18.52235	1	0.0000
$\Delta(U3)$	1.931116	1	0.1646
$\Delta(U6)$	0.156718	1	0.6922
$\Delta(U4)$	1.050641	1	0.3054
$\Delta(T6)$	0.052362	1	0.8190
$\Delta(U5)$	3.128788	1	0.0769
$\Delta(T4)$	0.137155	1	0.7111
All	245.4648	13	0.0000
Dependent variable: $\Delta(U7)$			
Excluded	Chi-sq	df	Prob.
$\Delta(U1)$	7.060934	1	0.0079
$\Delta(T3)$	1.587000	1	0.2078
$\Delta(T2)$	3.895479	1	0.0484
$\Delta(T1)$	0.525797	1	0.4684
$\Delta(T7)$	0.748226	1	0.3870
$\Delta(U2)$	6.624615	1	0.0101
$\Delta(T5)$	0.992104	1	0.3192
$\Delta(U3)$	1.892925	1	0.1689
$\Delta(U6)$	0.092639	1	0.7608
$\Delta(U4)$	4.893044	1	0.0270
$\Delta(T6)$	2.090677	1	0.1482
$\Delta(U5)$	0.027182	1	0.8690
$\Delta(T4)$	3.040704	1	0.0812
All	52.51154	13	0.0000
Dependent variable: $\Delta(T7)$			
Excluded	Chi-sq	df	Prob.
$\Delta(U1)$	15.56124	1	0.0001
$\Delta(T3)$	0.901218	1	0.3425
$\Delta(T2)$	12.97590	1	0.0003
$\Delta(T1)$	2.400329	1	0.1213
$\Delta(U7)$	25.83799	1	0.0000
$\Delta(U2)$	7.097423	1	0.0077
$\Delta(T5)$	1.347989	1	0.2456
$\Delta(U3)$	2.048061	1	0.1524
$\Delta(U6)$	5.27E-05	1	0.9942
$\Delta(U4)$	2.818439	1	0.0932
$\Delta(T6)$	0.421413	1	0.5162
$\Delta(U5)$	0.004263	1	0.9479
$\Delta(T4)$	1.614030	1	0.2039
All	107.4904	13	0.0000
Dependent variable: $\Delta(U2)$			
Excluded	Chi-sq	df	Prob.
$\Delta(U1)$	0.143631	1	0.7047
$\Delta(T3)$	3.626668	1	0.0569
$\Delta(T2)$	0.574050	1	0.4487
$\Delta(T1)$	16.81565	1	0.0000
$\Delta(U7)$	0.283575	1	0.5944
$\Delta(T7)$	7.143375	1	0.0075
$\Delta(T5)$	9.314047	1	0.0023
$\Delta(U3)$	0.103527	1	0.7476
$\Delta(U6)$	1.499487	1	0.2208
$\Delta(U4)$	0.143840	1	0.7045
$\Delta(T6)$	3.225913	1	0.0725
$\Delta(U5)$	4.773665	1	0.0289
$\Delta(T4)$	2.056073	1	0.1516

(continuação)

All	157.7449	13	0.0000
Dependent variable: $\Delta(T5)$			
Excluded	Chi-sq	df	Prob.
$\Delta(U1)$	7.010101	1	0.0081
$\Delta(T3)$	47.54383	1	0.0000
$\Delta(T2)$	0.462075	1	0.4967
$\Delta(T1)$	18.36445	1	0.0000
$\Delta(U7)$	0.666388	1	0.4143
$\Delta(T7)$	24.40948	1	0.0000
$\Delta(U2)$	0.292430	1	0.5887
$\Delta(U3)$	0.353084	1	0.5524
$\Delta(U6)$	3.561315	1	0.0591
$\Delta(U4)$	0.398820	1	0.5277
$\Delta(T6)$	0.015216	1	0.9018
$\Delta(U5)$	0.301039	1	0.5832
$\Delta(T4)$	0.009643	1	0.9218
All	431.9291	13	0.0000
Dependent variable: $\Delta(U3)$			
Excluded	Chi-sq	df	Prob.
$\Delta(U1)$	184.8599	1	0.0000
$\Delta(T3)$	4.751318	1	0.0293
$\Delta(T2)$	3.949567	1	0.0469
$\Delta(T1)$	5.012077	1	0.0252
$\Delta(U7)$	1.011052	1	0.3147
$\Delta(T7)$	0.641191	1	0.4233
$\Delta(U2)$	15.57104	1	0.0001
$\Delta(T5)$	0.214309	1	0.6434
$\Delta(U6)$	0.093320	1	0.7600
$\Delta(U4)$	0.344194	1	0.5574
$\Delta(T6)$	0.952644	1	0.3290
$\Delta(U5)$	0.001387	1	0.9703
$\Delta(T4)$	0.062799	1	0.8021
All	418.3945	13	0.0000
Dependent variable: $\Delta(U6)$			
Excluded	Chi-sq	df	Prob.
$\Delta(U1)$	1.749055	1	0.1860
$\Delta(T3)$	0.746429	1	0.3876
$\Delta(T2)$	1.556894	1	0.2121
$\Delta(T1)$	1.849106	1	0.1739
$\Delta(U7)$	1.245434	1	0.2644
$\Delta(T7)$	0.439390	1	0.5074
$\Delta(U2)$	2.452063	1	0.1174
$\Delta(T5)$	0.160171	1	0.6890
$\Delta(U3)$	0.152580	1	0.6961
$\Delta(U4)$	1.437085	1	0.2306
$\Delta(T6)$	0.196504	1	0.6576
$\Delta(U5)$	0.579985	1	0.4463
$\Delta(T4)$	0.755856	1	0.3846
All	12.09209	13	0.5201
Dependent variable: $\Delta(U4)$			
Excluded	Chi-sq	df	Prob.
$\Delta(U1)$	1.345011	1	0.2462
$\Delta(T3)$	3.321165	1	0.0684
$\Delta(T2)$	2.927060	1	0.0871
$\Delta(T1)$	0.538681	1	0.4630
$\Delta(U7)$	7.214489	1	0.0072
$\Delta(T7)$	2.369759	1	0.1237
$\Delta(U2)$	0.003776	1	0.9510

(conclusão)

Dependent variable: $\Delta(U4)$			
Excluded	Chi-sq	df	Prob.
$\Delta(T5)$	2.800869	1	0.0942
$\Delta(U3)$	0.252132	1	0.6156
$\Delta(U6)$	0.523558	1	0.4693
$\Delta(T6)$	5.051712	1	0.0246
$\Delta(U5)$	0.368839	1	0.5436
All	38.66288	13	0.0002

Dependent variable: $\Delta(T6)$			
Excluded	Chi-sq	df	Prob.
$\Delta(U1)$	1.371821	1	0.2415
$\Delta(T3)$	2.062888	1	0.1509
$\Delta(T2)$	0.232220	1	0.6299
$\Delta(T1)$	0.558588	1	0.4548
$\Delta(U7)$	3.487071	1	0.0618
$\Delta(T7)$	1.096792	1	0.2950
$\Delta(U2)$	5.922447	1	0.0149
$\Delta(T5)$	5.893908	1	0.0152
$\Delta(U3)$	8.161824	1	0.0043
$\Delta(U6)$	0.019024	1	0.8903
$\Delta(U4)$	0.007299	1	0.9319
$\Delta(U5)$	0.118246	1	0.7309
$\Delta(T4)$	0.069734	1	0.7917
All	55.89319	13	0.0000

Dependent variable: $\Delta(U5)$			
Excluded	Chi-sq	df	Prob.
$\Delta(U1)$	61.48495	1	0.0000
$\Delta(T3)$	0.028287	1	0.8664
$\Delta(T2)$	0.127349	1	0.7212
$\Delta(T1)$	12.30805	1	0.0005
$\Delta(U7)$	1.285856	1	0.2568
$\Delta(T7)$	17.53596	1	0.0000
$\Delta(U2)$	16.73895	1	0.0000
$\Delta(T5)$	4.602665	1	0.0319
$\Delta(U3)$	1.809551	1	0.1786
$\Delta(U6)$	6.487035	1	0.0109
$\Delta(U4)$	5.73E-05	1	0.9940
$\Delta(T6)$	0.507973	1	0.4760
$\Delta(T4)$	0.533775	1	0.4650
All	335.5944	13	0.0000

Dependent variable: $\Delta(T4)$			
Excluded	Chi-sq	df	Prob.
$\Delta(U1)$	3.238430	1	0.0719
$\Delta(T3)$	0.488989	1	0.4844
$\Delta(T2)$	2.066648	1	0.1506
$\Delta(T1)$	4.646370	1	0.0311
$\Delta(U7)$	0.000423	1	0.9836
$\Delta(T7)$	0.000177	1	0.9894
$\Delta(U2)$	1.026856	1	0.3109
$\Delta(T5)$	2.098384	1	0.1475
$\Delta(U3)$	0.628184	1	0.4280
$\Delta(U6)$	0.023329	1	0.8786
$\Delta(U4)$	0.547336	1	0.4594
$\Delta(T6)$	4.031532	1	0.0447
$\Delta(U5)$	2.580069	1	0.1082
All	15.97681	13	0.2504



**APÊNDICE D - TESTE DE BLOCK EXOGENEITY DE WALD APENAS PARA AS VARIÁVEIS SIGNIFICATIVAS**

(continua)

Variável Dependente $\Delta(T1)$			
Variáveis	$\chi^2$	df	Prob.
$\Delta(U1)$	80.47564	1	0.0000
$\Delta(T3)$	17.27152	1	0.0000
$\Delta(T5)$	18.52235	1	0.0000
Variável Dependente $\Delta(U1)$			
Variáveis	$\chi^2$	df	Prob.
$\Delta(T2)$	29.57396	1	0.0000
$\Delta(U2)$	23.86452	1	0.0000
$\Delta(T3)$	8.591043	1	0.0034
Variável Dependente $\Delta(T2)$			
Variáveis	$\chi^2$	df	Prob.
$\Delta(T1)$	10.79447	1	0.0010
$\Delta(T3)$	18.39823	1	0.0000
$\Delta(T5)$	8.606861	1	0.0033
Variável Dependente $\Delta(U2)$			
Variáveis	$\chi^2$	df	Prob.
$\Delta(T1)$	16.81565	1	0.0000
$\Delta(T5)$	9.314047	1	0.0023
$\Delta(T7)$	7.143375	1	0.0075
Variável Dependente $\Delta(T3)$			
Variáveis	$\chi^2$	df	Prob.
$\Delta(T1)$	28.34746	1	0.0000
$\Delta(U1)$	31.24301	1	0.0000
$\Delta(U3)$	8.105108	1	0.0044
$\Delta(T7)$	9.147339	1	0.0025
Variável Dependente $\Delta(U3)$			
Variáveis	$\chi^2$	df	Prob.
$\Delta(U1)$	184.8599	1	0.0000
$\Delta(U2)$	15.57104	1	0.0001
Variável Dependente $\Delta(T4)$			
Variáveis	$\chi^2$	df	Prob.
Nenhuma variável significativa			
Variável Dependente $\Delta(U4)$			
Variáveis	$\chi^2$	df	Prob.
$\Delta(U7)$	7.214489	1	0.0072
Variável Dependente $\Delta(T5)$			
Variáveis	$\chi^2$	df	Prob.
$\Delta(T1)$	18.36445	1	0.0000
$\Delta(U1)$	7.010101	1	0.0081
$\Delta(T3)$	47.54383	1	0.0000
$\Delta(T7)$	24.40948	1	0.0000
Variável Dependente $\Delta(U5)$			
Variáveis	$\chi^2$	df	Prob.
$\Delta(T1)$	12.30805	1	0.0005
$\Delta(U1)$	61.48495	1	0.0000
$\Delta(U2)$	16.73895	1	0.0000
$\Delta(T7)$	17.53596	1	0.0000

(conclusão)

Variável Dependente $\Delta(T6)$			
Variáveis	$\chi^2$	df	Prob.
$\Delta(U3)$	8.161824	1	0.0043
Variável Dependente $\Delta(U6)$			
Variáveis	$\chi^2$	df	Prob.
Nenhuma variável significativa			
Variável Dependente $\Delta(T7)$			
Variáveis	$\chi^2$	df	Prob.
$\Delta(U1)$	15.56124	1	0.0001
$\Delta(T2)$	12.97590	1	0.0003
$\Delta(U2)$	7.097423	1	0.0077
$\Delta(U7)$	25.83799	1	0.0000
Variável Dependente $\Delta(U7)$			
Variáveis	$\chi^2$	df	Prob.
$\Delta(U1)$	7.060934	1	0.0079

Fonte: Autor

## APÊNDICE E - MODELO VAR(1) SEGUINDO A ORDENAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO TESTE DE BLOCK EXOGENEIDADE DE WALD

(continua)

	$\Delta U1$	$\Delta T3$	$\Delta T2$	$\Delta T1$	$\Delta U7$	$\Delta T7$	$\Delta U2$	$\Delta T5$	$\Delta U3$	$\Delta U6$	$\Delta T6$	$\Delta U4$	$\Delta U5$	$\Delta T4$
$\Delta U1_{t-1}$	0.063201 (0.04007) [ 1.57718]	-0.208003 (0.03721) [-5.58955]	-0.021909 (0.02160) [-1.01416]	-0.376579 (0.04198) [-8.97082]	1.418765 (0.53392) [ 2.65724]	-0.723072 (0.18330) [-3.94477]	0.010332 (0.02726) [ 0.37899]	-0.077692 (0.02934) [-2.64766]	0.590506 (0.04343) [ 13.5963]	-0.027532 (0.02082) [-1.32252]	0.019342 (0.01651) [ 1.17125]	-0.015048 (0.01298) [-1.15975]	0.304840 (0.03888) [ 7.84123]	-0.028720 (0.01596) [-1.79956]
$\Delta T3_{t-1}$	0.147430 (0.05030) [ 2.93105]	-0.242525 (0.04671) [-5.19209]	0.116312 (0.02712) [ 4.28932]	0.218983 (0.05269) [ 4.15590]	0.844285 (0.67019) [ 1.25976]	-0.218421 (0.23008) [-0.94932]	-0.065171 (0.03422) [-1.90438]	0.253971 (0.03683) [ 6.89520]	0.118831 (0.05452) [ 2.17975]	0.022576 (0.02613) [ 0.86396]	0.029773 (0.02073) [ 1.43628]	0.029682 (0.01629) [ 1.82241]	0.008207 (0.04880) [ 0.16819]	-0.014008 (0.02003) [-0.69928]
$\Delta T2_{t-1}$	0.354630 (0.06521) [ 5.43819]	0.014721 (0.06056) [ 0.24310]	-0.179450 (0.03516) [-5.10447]	-0.127071 (0.06831) [-1.86013]	1.714896 (0.86888) [ 1.97370]	-1.074498 (0.29829) [-3.60221]	0.033615 (0.04437) [ 0.75766]	0.032460 (0.04775) [ 0.67976]	0.140461 (0.07068) [ 1.98735]	-0.042270 (0.03388) [-1.24776]	-0.012951 (0.02687) [-0.48189]	0.036126 (0.02112) [ 1.71087]	0.022577 (0.06327) [ 0.35686]	0.037336 (0.02597) [ 1.43758]
$\Delta T1_{t-1}$	0.090990 (0.04776) [ 1.90518]	0.236137 (0.04435) [ 5.32423]	0.084592 (0.02575) [ 3.28549]	-0.198654 (0.05003) [-3.97062]	0.461426 (0.63635) [ 0.72512]	-0.338461 (0.21846) [-1.54930]	-0.133244 (0.03249) [-4.10069]	0.149871 (0.03497) [ 4.28538]	-0.115885 (0.05176) [-2.23877]	-0.033738 (0.02481) [-1.35982]	0.014710 (0.01968) [ 0.74739]	-0.011350 (0.01546) [-0.73395]	-0.162553 (0.04633) [-3.50828]	-0.041000 (0.01902) [-2.15554]
$\Delta U7_{t-1}$	0.007653 (0.00382) [ 2.00572]	-0.004219 (0.00354) [-1.19057]	-7.53E-05 (0.00206) [-0.03660]	-0.008361 (0.00400) [-2.09158]	0.145461 (0.05084) [ 2.86103]	-0.088722 (0.01745) [-5.08311]	0.001382 (0.00260) [ 0.53252]	0.002281 (0.00279) [ 0.81633]	0.004158 (0.00414) [ 1.00551]	0.002212 (0.00198) [ 1.11599]	0.002937 (0.00157) [ 1.86737]	0.003319 (0.00124) [ 2.68598]	-0.004198 (0.00370) [-1.13396]	3.13E-05 (0.00152) [ 0.02057]
$\Delta T7_{t-1}$	-0.005025 (0.01152) [-0.43601]	0.032369 (0.01070) [ 3.02446]	0.014658 (0.00621) [ 2.35919]	0.030854 (0.01207) [ 2.55566]	-0.132825 (0.15355) [-0.86500]	-0.061013 (0.05272) [-1.15738]	-0.020956 (0.00784) [-2.67271]	0.041695 (0.00844) [ 4.94060]	-0.010002 (0.01249) [-0.80074]	0.003969 (0.00599) [ 0.66287]	0.004974 (0.00475) [ 1.04728]	0.005745 (0.00373) [ 1.53940]	-0.046821 (0.01118) [-4.18760]	6.10E-05 (0.00459) [ 0.01330]
$\Delta U2_{t-1}$	-0.250790 (0.05134) [-4.88513]	0.014686 (0.04767) [ 0.30806]	-0.042042 (0.02768) [-1.51907]	0.034744 (0.05378) [ 0.64605]	-1.760562 (0.68402) [-2.57383]	0.625606 (0.23483) [ 2.66410]	-0.116727 (0.03493) [-3.34196]	-0.020329 (0.03759) [-0.54077]	-0.219560 (0.05564) [-3.94602]	-0.041763 (0.02667) [-1.56591]	-0.051488 (0.02116) [-2.43361]	-0.001022 (0.01662) [-0.06145]	-0.203771 (0.04981) [-4.09133]	-0.020719 (0.02045) [-1.01334]
$\Delta T5_{t-1}$	-0.017882 (0.05281) [-0.33864]	0.102109 (0.04904) [ 2.08226]	0.083517 (0.02847) [ 2.93375]	0.238073 (0.05532) [ 4.30376]	-0.700803 (0.70359) [-0.99604]	0.280440 (0.24154) [ 1.16103]	-0.109644 (0.03593) [-3.05189]	-0.263508 (0.03867) [-6.81460]	0.026495 (0.05723) [ 0.46294]	0.010979 (0.02743) [ 0.40021]	0.052832 (0.02176) [ 2.42774]	0.028616 (0.01710) [ 1.67358]	0.109908 (0.05123) [ 2.14538]	0.030465 (0.02103) [ 1.44858]

(continuação)

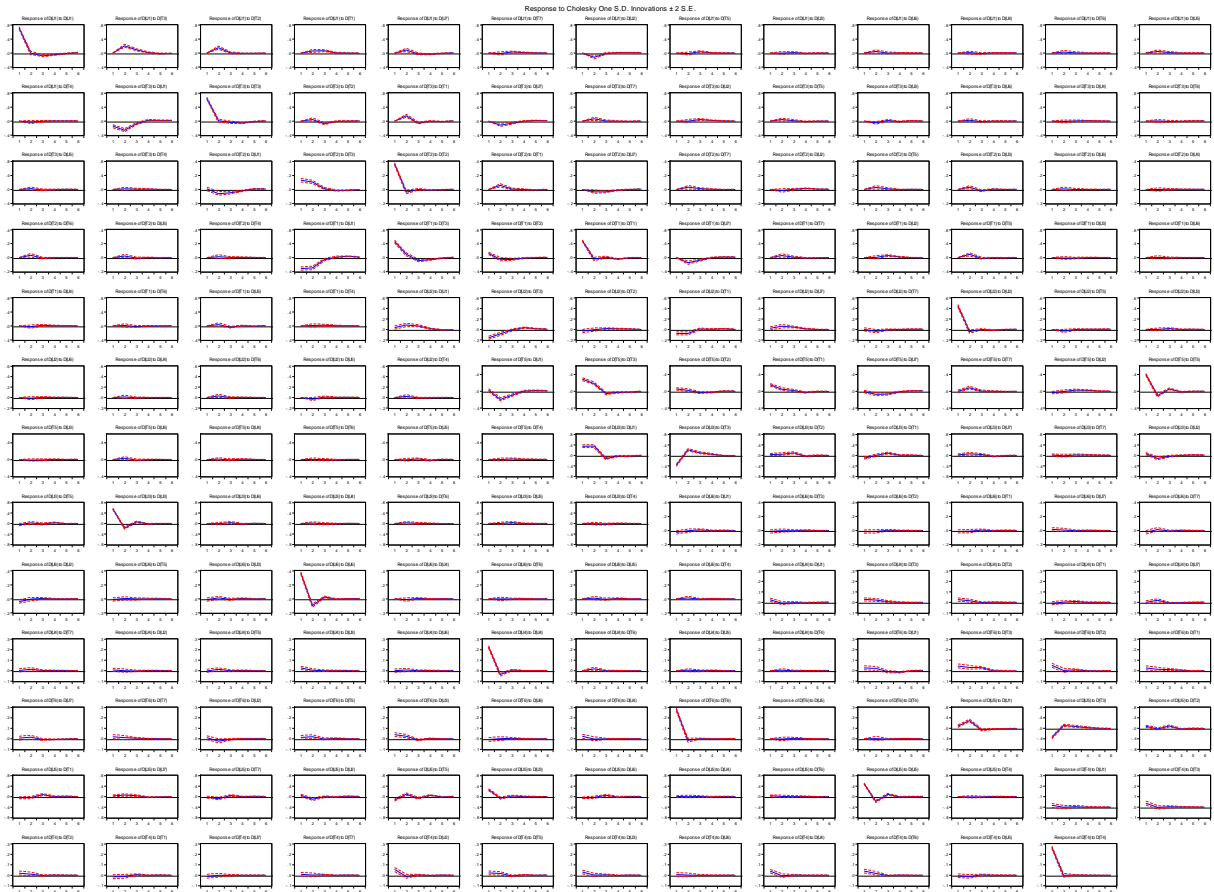
$\Delta U_{3t-1}$	-0.044396 (0.04155) [-1.06841]	-0.109858 (0.03859) [-2.84695]	0.025035 (0.02240) [ 1.11757]	-0.060491 (0.04353) [-1.38965]	0.761741 (0.55366) [ 1.37584]	-0.272014 (0.19007) [-1.43110]	0.009096 (0.02827) [ 0.32176]	-0.018081 (0.03043) [-0.59421]	-0.317537 (0.04504) [-7.05066]	0.008432 (0.02159) [ 0.39061]	0.048923 (0.01712) [ 2.85689]	0.006756 (0.01345) [ 0.50213]	0.054229 (0.04031) [ 1.34520]	0.013117 (0.01655) [ 0.79258]
$\Delta U_{6t-1}$	0.127667 (0.06055) [ 2.10861]	0.066531 (0.05623) [ 1.18329]	0.028653 (0.03264) [ 0.87784]	0.025109 (0.06343) [ 0.39588]	0.245536 (0.80671) [ 0.30437]	-0.002011 (0.27695) [-0.00726]	-0.050442 (0.04119) [-1.22454]	0.083668 (0.04434) [ 1.88714]	-0.020046 (0.06562) [-0.30548]	-0.264596 (0.03145) [-8.41230]	0.003442 (0.02495) [ 0.13793]	0.014185 (0.01960) [ 0.72357]	-0.149606 (0.05874) [-2.54697]	0.003683 (0.02411) [ 0.15274]
$\Delta T_{6t-1}$	0.089172 (0.08240) [ 1.08223]	-0.011731 (0.07652) [-0.15332]	0.102006 (0.04442) [ 2.29638]	0.019752 (0.08632) [ 0.22883]	1.587423 (1.09787) [ 1.44592]	-0.244671 (0.37690) [-0.64916]	0.100687 (0.05606) [ 1.79608]	0.007443 (0.06034) [ 0.12335]	0.087164 (0.08930) [ 0.97603]	-0.018975 (0.04281) [-0.44329]	-0.053348 (0.03396) [-1.57103]	0.059967 (0.02668) [ 2.24760]	0.056974 (0.07994) [ 0.71272]	0.065890 (0.03282) [ 2.00787]
$\Delta U_{4t-1}$	0.041078 (0.10118) [ 0.40600]	-0.063962 (0.09396) [-0.68075]	-0.032407 (0.05455) [-0.59412]	-0.108641 (0.10599) [-1.02501]	-2.982027 (1.34810) [-2.21202]	0.776973 (0.46281) [ 1.67882]	0.026107 (0.06884) [ 0.37926]	0.046789 (0.07409) [ 0.63152]	0.064335 (0.10966) [ 0.58668]	-0.063011 (0.05256) [-1.19878]	-0.003562 (0.04170) [-0.08543]	-0.168789 (0.03276) [-5.15205]	0.000743 (0.09816) [ 0.00757]	-0.029812 (0.04030) [-0.73982]
$\Delta U_{5t-1}$	0.082334 (0.04252) [ 1.93622]	0.046648 (0.03949) [ 1.18129]	0.046288 (0.02292) [ 2.01915]	0.078794 (0.04455) [ 1.76884]	0.093412 (0.56658) [ 0.16487]	-0.012700 (0.19451) [-0.06529]	-0.063210 (0.02893) [-2.18487]	-0.017085 (0.03114) [-0.54867]	0.001716 (0.04609) [ 0.03724]	0.016824 (0.02209) [ 0.76157]	-0.006026 (0.01752) [-0.34387]	0.008362 (0.01377) [ 0.60732]	-0.373124 (0.04125) [-9.04444]	-0.027203 (0.01694) [-1.60626]
$\Delta T_{4t-1}$	-0.103347 (0.08545) [-1.20943]	0.061239 (0.07935) [ 0.77172]	0.052521 (0.04607) [ 1.14009]	0.033152 (0.08952) [ 0.37034]	-1.985373 (1.13856) [-1.74376]	0.496582 (0.39087) [ 1.27044]	0.083363 (0.05814) [ 1.43390]	-0.006145 (0.06257) [-0.09820]	-0.023209 (0.09261) [-0.25060]	0.038594 (0.04439) [ 0.86940]	0.009299 (0.03522) [ 0.26407]	0.010113 (0.02767) [ 0.36549]	-0.060568 (0.08290) [-0.73060]	-0.004184 (0.03403) [-0.12294]
C	0.001726 (0.02335) [ 0.07388]	0.005261 (0.02169) [ 0.24257]	0.003203 (0.01259) [ 0.25443]	0.002628 (0.02447) [ 0.10743]	0.034911 (0.31118) [ 0.11219]	-0.002985 (0.10683) [-0.02794]	-0.000314 (0.01589) [-0.01977]	0.003841 (0.01710) [ 0.22459]	0.029086 (0.02531) [ 1.14907]	0.001578 (0.01213) [ 0.13009]	0.004085 (0.00962) [ 0.42439]	0.018837 (0.00756) [ 2.49096]	0.002703 (0.02266) [ 0.11931]	0.006142 (0.00930) [ 0.66029]
R <sup>2</sup> -squared	0.194525	0.250419	0.173717	0.235822	0.091553	0.128678	0.146192	0.318020	0.315537	0.081506	0.056293	0.056973	0.311846	0.016765
Adj. R-squared	0.182490	0.239219	0.161371	0.224404	0.077980	0.115659	0.133435	0.307830	0.305310	0.067783	0.042193	0.042883	0.301564	0.002075
Sum sq. resids	483.2713	416.7641	140.4543	530.3397	85795.45	10111.69	223.6977	259.1409	567.6905	130.4261	82.07770	50.66986	454.8632	76.65512
S.E. equation	0.718167	0.666922	0.387166	0.752328	9.568907	3.285051	0.488608	0.525894	0.778370	0.373089	0.295967	0.232544	0.696740	0.286023
F-statistic	16.16351	22.35937	14.07096	20.65383	6.745074	9.884100	11.45975	31.21005	30.85398	5.939161	3.992377	4.043514	30.32957	1.141212
Log likelihood	-1028.108	-957.6322	-439.9164	-1072.347	-3493.380	-2475.562	-661.4532	-731.4616	-1104.743	-404.6567	-184.2017	45.38984	-999.2710	-151.6672
Akaike AIC	2.191403	2.043345	0.955707	2.284342	7.370546	5.232272	1.421120	1.568197	2.352401	0.881632	0.418491	-0.063844	2.130821	0.350141

(conclusão)

Schwarz														
SC	2.267956	2.119898	1.032260	2.360895	7.447099	5.308825	1.497673	1.644750	2.428954	0.958185	0.495044	0.012709	2.207374	0.426694
Mean														
dependent	0.004202	0.002101	0.004202	0.000000	0.008403	-0.001050	0.000000	0.004202	0.025210	0.000000	0.005252	0.016807	0.003151	0.006303
S.D.														
dependent	0.794290	0.764620	0.422778	0.854259	9.965341	3.493271	0.524880	0.632109	0.933879	0.386415	0.302415	0.237696	0.833695	0.286320
Determinant resid covariance (dof adj.)	2.53E-07													
Determinant resid covariance	2.02E-07													
Log likelihood	-11574.82													
Akaike information criterion	24.75803													
Schwarz criterion	25.82978													

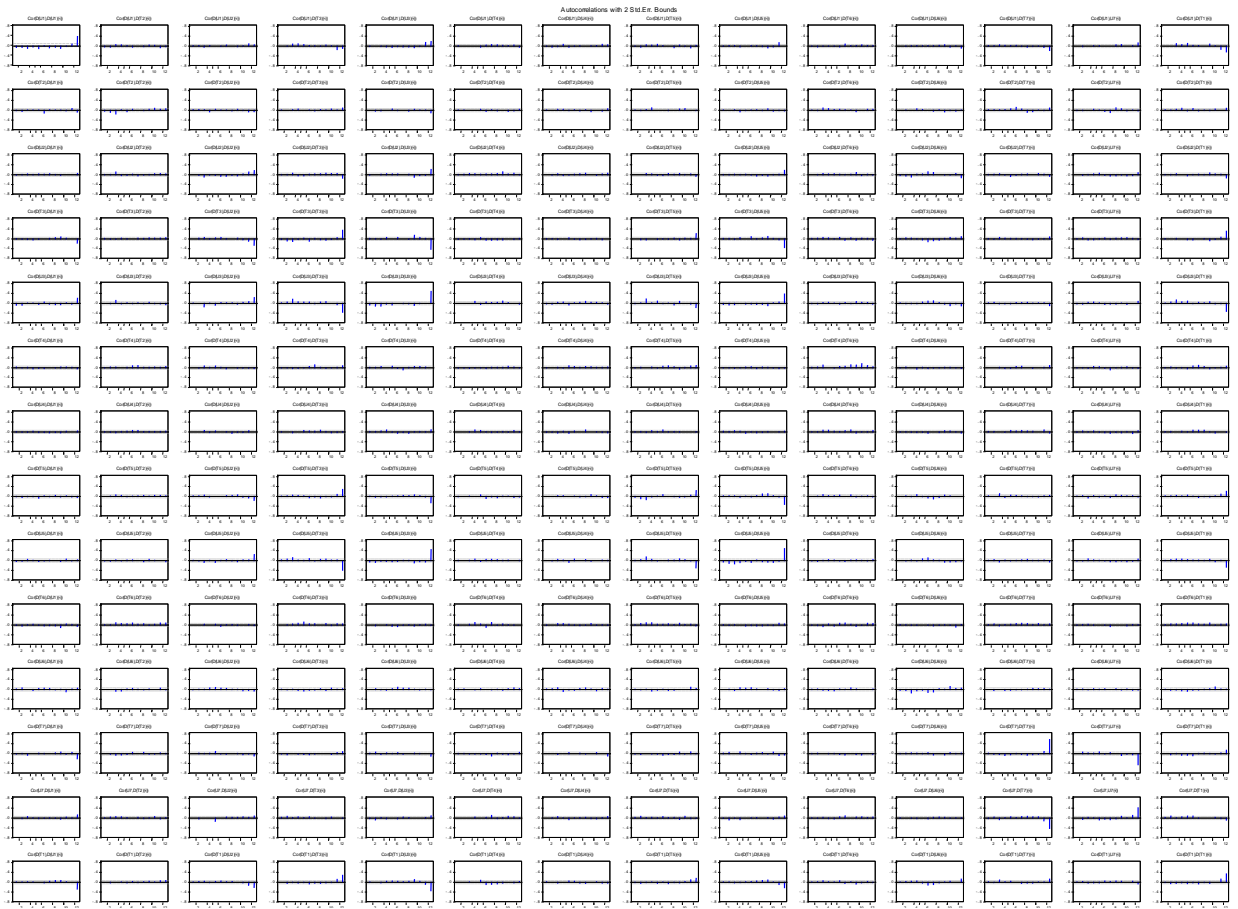
Fonte: Autor

# APÊNDICE F – IMPULSO DE RESPOSTA PELO MÉTODO DE CHOLESKI COM INOVAÇÕES DE 1 DESVIO PADRÃO E INTERVALO DE CONFIANÇA DE $\pm 2$ DESVIOS PADRÕES PARA TODAS AS VARIÁVEIS



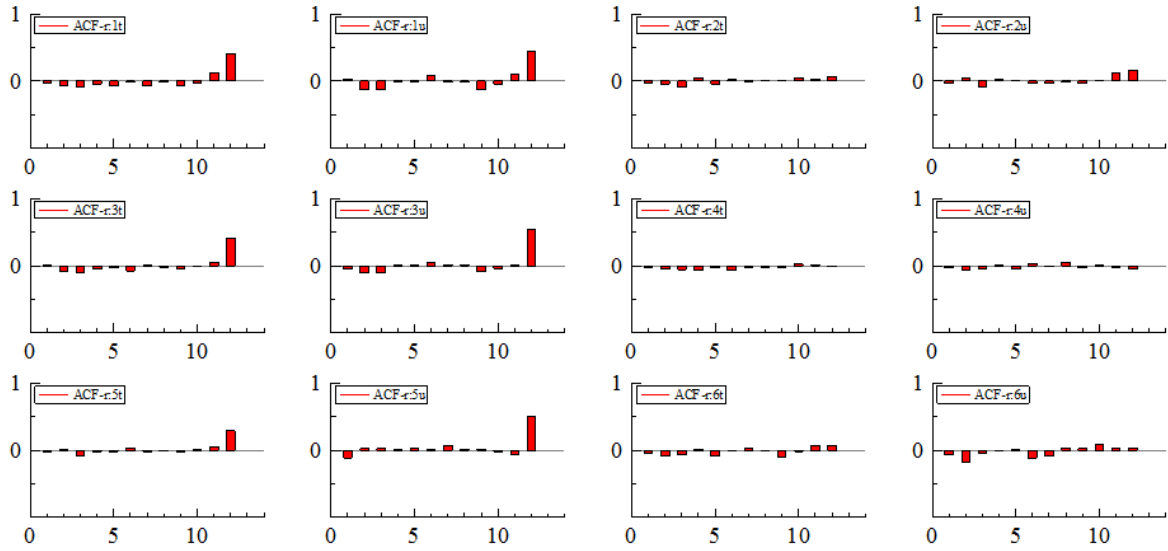
Fonte: Autor

## APÊNDICE G - AUTOCORRELOGRAMA DOS RESÍDUOS ORIUNDOS DO MODELO VAR(1)



Fonte: Autor

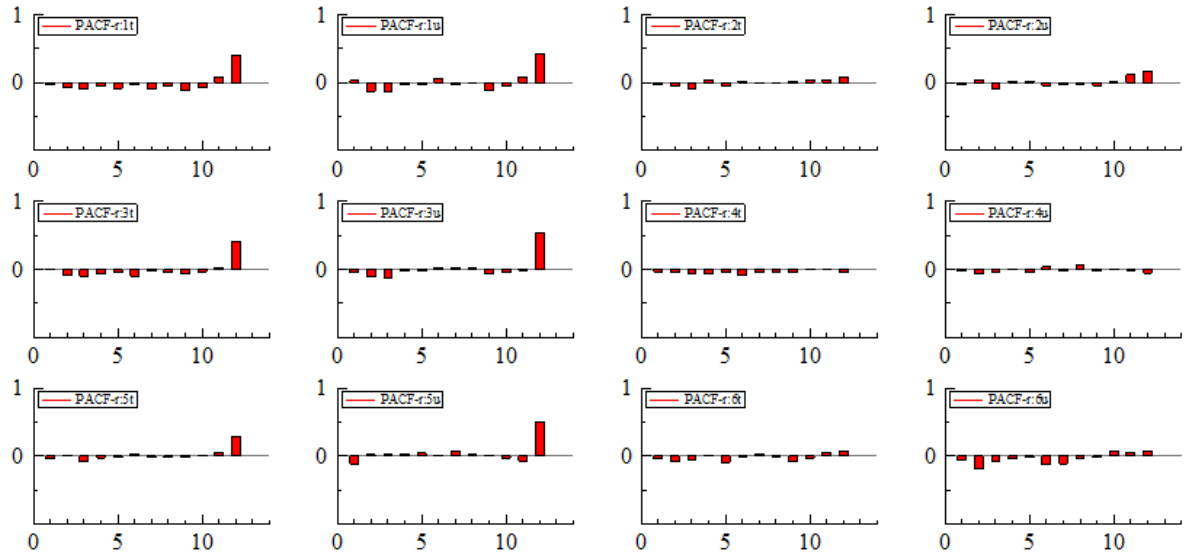
## APÊNDICE H – AUTOCORRELOGRAMA DOS RESÍDUOS DO MODELO DE EQUAÇÕES DINÂMICAS DAS VARIÁVEIS INTERNAS AO PROTÓTIPO



Fonte: Autor

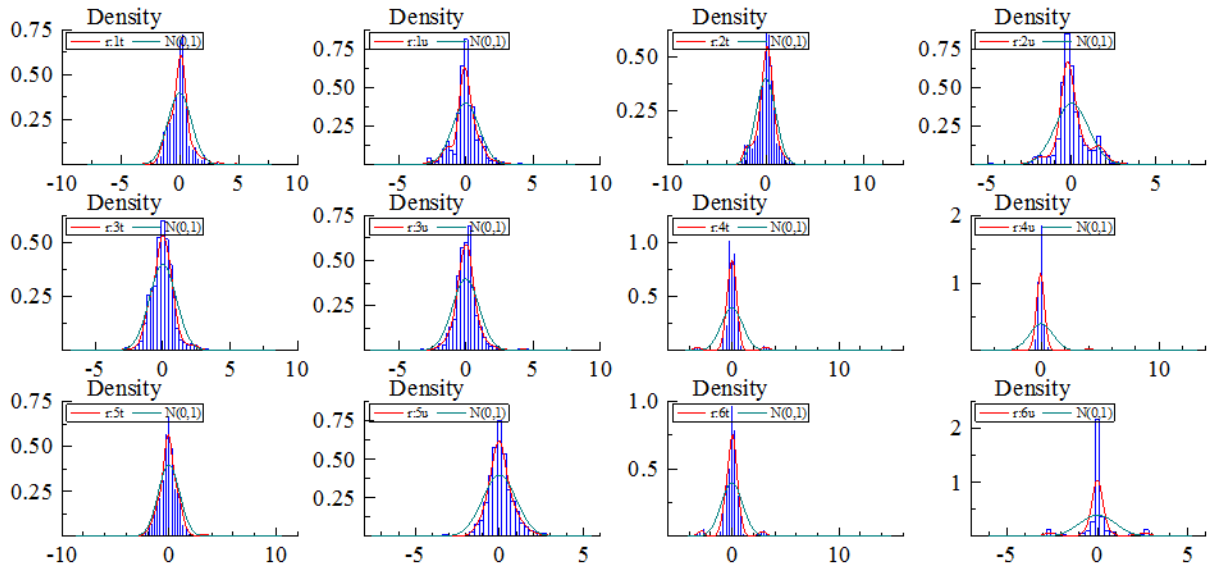


## APÊNDICE I – AUTOCORRELOGRAMA PARCIAL DOS RESÍDUOS DO MODELO DE EQUAÇÕES DINÂMICAS DAS VARIÁVEIS INTERNAS AO PROTÓTIPO



Fonte: Autor

## APÊNDICE J – HISTOGRAMA DOS RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES DINÂMICAS DAS VARIÁVEIS INTERNAS DO PROTÓTIPO PARA VERIFICAÇÃO DA NORMALIDADE



Fonte: Autor