



UFBA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI

MESTRADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

BRUNO DANTAS MICHELENA

MODELO TEMPORAL DA OFERTA E DEMANDA
DO GÁS NATURAL LIQUEFEITO NO BRASIL



SALVADOR
2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

BRUNO DANTAS MICHELENA

**MODELO TEMPORAL DA OFERTA E DEMANDA DO GÁS NATURAL
LIQUEFEITO NO BRASIL**

Salvador – BA

2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

BRUNO DANTAS MICHELENA

**MODELO TEMPORAL DA OFERTA E DEMANDA DO GÁS NATURAL
LIQUEFEITO NO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Industrial.

Orientadores: Profa. Dra. Karla Patrícia Santos Oliveira Rodríguez Esquerre

Prof. Dr. Salvador Ávila Filho

Me. Tarssio Brito Barreto

Salvador – BA

2018

Modelo de ficha catalográfica fornecido pelo Sistema Universitário de Bibliotecas da UFBA para ser confeccionada pelo autor

Michelena, Bruno Dantas
Modelo temporal da oferta e demanda do gás
natural liquefeito no Brasil. / Bruno Dantas
Michelena. -- Salvador, 2018.
58 f. : il

Orientadora: Karla Patrícia de Oliveira
Rodríguez Esquerre.
Coorientadores:
Salvador Ávila Filho
Tarssio Brito Barreto
Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-
graduação em Engenharia Industrial.) --
Universidade Federal da Bahia, Escola
Politécnica, Universidade Federal da Bahia,
2018.

1. Gás Natural Liquefeito. 2. Séries Temporais.
3. ARIMA. 4. Oferta. 5. Demanda. I. Esquerre, Karla
Patrícia Oliveira. II. Título.

**“MODELO TEMPORAL DA OFERTA E DEMANDA DO GÁS NATURAL
LIQUEFEITO NO BRASIL”.**

BRUNO DANTAS MICHELENA

Dissertação submetida ao corpo docente do programa de pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Industrial.

Examinada por:

Profa. Dra. Karla Patrícia S Oliveira Rogriguéz Esquerre 
Doutora em Engenharia Química, pela Universidade de Campinas, Brasil, 2003

Prof. Dr. Ângelo Márcio da Silva Sant'Anna 
Doutor em Engenharia de Produção, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
BRASIL, 2009

Prof. Dr. Carlos Eduardo Pereira Mendes da Silva 
Doutor em Engenharia Industrial, pela Universidade Federal da Bahia, Brasil, 2015

Salvador, BA - BRASIL
Julho/2018

Dedico este trabalho a todos que
colaboraram direta ou indiretamente, em
especial à minha esposa Laís.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida.

Aos meus pais Nelson e Cristina, por todo amor, incentivo, cobranças e respeito ao longo de todos esses anos.

À minha irmã Jéssica, por sempre me apoiar e ser um pilar fundamental no equilíbrio da nossa família.

À minha esposa Laís, por todo o amor, paciência, apoio, por sempre colaborar com a minha evolução como pessoa.

À família Ribeiro Tosato, que sempre me acolheu como seu filho e me proporcionou momentos muito importantes de crescimento pessoal e profissional. Além de toda a paciência nesse processo.

Ao companheiro de jornada Tarssio Barreto, que passou todo seu conhecimento com muita paciência e dedicação, meu muito obrigado!

Aos meus orientadores, professora Doutora Karla Esquerre por me apoiar no momento de maior necessidade. Professor Doutor Salvador Ávila pela paciência e conhecimento compartilhado.

Ao professor Doutor Francisco Gaudêncio pelo apoio e oportunidades.

Aos amigos de sempre e aos novos amigos que a vida nos proporciona, em especial a Inácio, Caio, Jair, Taislon e Fernando por me acolher quando necessário. Aos queridos Adauto, Felipe, Jana e Malu pelas constantes discussões acadêmicas e apoio.

Aos professores que estiveram presentes na minha caminhada desde seu início. Hoje, sem dúvidas, reconheço a importância de cada um.

Aos colegas da Escola de Administração da UFBA, por compartilhar conhecimento.

Aos funcionários da EAUFBA, em especial a Eduardo e Mário por sempre me disponibilizarem um local adequado de estudos.

Aos funcionários do PEI, agradeço a Tatiane, Tamiles e Robinson por toda disponibilidade e paciência nos momentos de dúvidas.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

Agradeço a todos que de alguma forma colaboraram com meu desenvolvimento.

Se a educação sozinha não transforma a
sociedade, sem ela tampouco a sociedade
muda.

Paulo Freire

MICHELENA, Bruno Dantas. **Modelo temporal da Oferta e Demanda do Gás Natural Liquefeito no Brasil**. 2018. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial (PEI), Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

RESUMO

O Gás Natural Liquefeito (GNL) se tornou um produto com grande importância no que diz respeito à introdução de novas fontes de energia para a geração de energia elétrica, muito em função da grande flexibilidade que existe nesse mercado. O Brasil iniciou as atividades de regaseificação de GNL em 2009. Desde seu início, houve muita oscilação na quantidade oferta de gás natural liquefeito, bem como a demanda de energia elétrica. Este trabalho teve por objetivo descrever as séries temporais mensais de oferta de GNL e demanda de energia elétrica a partir do uso de gás natural, de modo a compreender as características existentes nessas duas séries. Para realizar essa descrição, foi desenvolvido um modelo ARIMA com a utilização do Software R, onde foi encontrado como melhor modelo para descrever os dados o modelo ARIMA (0, 1, 0), modelo este conhecido como random walk, com características de grande aleatoriedade, essa informação possibilita a tentativa de compreensão das variações de oferta e demanda do GNL.

Palavras-chave: Gás Natural Liquefeito, Séries Temporais, ARIMA, Oferta, Demanda.

MICHELENA, Bruno Dantas. **Modelo temporal da Oferta e Demanda do Gás Natural Liquefeito no Brasil**. 2018. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial (PEI), Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

ABSTRACT

Liquefied Natural Gas (LNG) has become a product of great importance with regard to the introduction of new sources of energy for the generation of electric energy, much due to the great flexibility that exists in this market. Brazil started its LNG regasification activities in 2009. Since its inception, there has been a lot of fluctuation in the quantity of liquefied natural gas supplied, as well as the demand for electric energy. The objective of this work was to describe the monthly time series of LNG supply and demand for electricity from the use of natural gas in order to understand the characteristics of these two series. To perform this description, an ARIMA model was developed with the use of Software R, where it was found as the best model to describe the data ARIMA model (0, 1, 0), this model known as random walk, with characteristics of great randomness, this information enables an attempt to understand LNG supply and demand variations.

Keywords: Liquefied Natural Gas, Time Series, ARIMA, Supply, Demand.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<i>Figura 1</i> - Demanda de gás e quantidade de GNL regaseificado	16
<i>Figura 2</i> - Evolução da Produção de GN no Brasil	22
<i>Figura 3</i> - Evolução da oferta de GN.....	23
<i>Figura 4</i> - Evolução da demanda de GN	23
<i>Figura 5</i> - Composição da Matriz Energética Brasileira	24
<i>Figura 6</i> - Cadeia do GN	25
<i>Figura 7</i> - Navios de Transporte de GNL.....	26
<i>Figura 8</i> - Infraestrutura do GNL no Brasil.....	27
<i>Figura 9</i> - Participação das diferentes fontes de energia renovável	30
<i>Figura 10</i> - Séries de Oferta e Demanda	42
<i>Figura 11</i> - Teste de autocorrelação total e parcial dos dados da oferta.....	43
<i>Figura 12</i> - Teste de autocorrelação total e parcial dos dados da demanda	44
<i>Figura 13</i> - Teste de Ljung-Box para os resíduos.....	47

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1</i> - Composição do Gás Natural	20
<i>Tabela 2</i> – Teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF)	44
<i>Tabela 3</i> – Identificação do modelo para dados da oferta	45
<i>Tabela 4</i> – Identificação do modelo para os dados da demanda	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIC	Akaike Information Criterion.
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ARMA	Autoregressive Moving Average
ARIMA	Autoregressive Integrated Moving Average
BAHIAGÁS	Companhia de Gás da Bahia
BIC	Bayesian Information Criteria
CNI	Confederação Nacional da Indústria
FSRU	Floating Storage and Regasification Unit
GASMIG	Companhia de Gás de Minas Gerais
GN	Gás Natural
GNL	Gás Natural Liquefeito
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MME	Ministério de Minas e Energia
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S/A

SUMÁRIO

1.	Introdução	15
1.1	Justificativa	17
1.2	Objetivos da Pesquisa.....	18
1.2.1	Objetivo Geral	18
1.2.2	Objetivos Específicos.....	18
1.3	Estrutura da dissertação.....	18
2.	Gás Natural.....	20
2.1	Panorama da Indústria do Gás Natural.....	21
2.1.1	Gás Natural Liquefeito e sua Cadeia Produtiva	24
2.1.2	Terminais de Regaseificação.....	26
2.2	A dinâmica econômica brasileira em relação ao Gás Natural Liquefeito	28
2.2.1	Incertezas na oferta e demanda	28
2.2.2	Variações de preço do GNL	29
2.3	Outras formas de capacidade de geração de energia elétrica	30
2.4	Análise de Séries Temporais	31
2.5	Modelos ARIMA.....	33
2.5.1	Estacionariedade.....	34
2.5.1.3	Função de Autocorrelação Parcial.....	35
2.5.1.4	Akaike Information Criteria	37
3.	Procedimentos Metodológicos	38
3.1	Teste de Dickey-Fuller Aumentado	40
3.2	Teste de autocorrelação dos resíduos	40
4.	Análise dos dados de Oferta e Demanda do Gás Natural.....	42
4.1	Autocorrelação Total (ACF) e Autocorrelação Parcial (PACF)	43
4.2	Teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF).....	44
4.3	Verificação	45
4.4	Teste dos resíduos	46
5.	Conclusões	48
5.1	Proposta de trabalhos futuros	48
	Referências.....	50
	Apêndice A.....	54

Apêndice B..... 56

Capítulo 1 - INTRODUÇÃO

1. Introdução

A cadeia do gás natural (GN) brasileiro tem participado de uma evolução constante, recebendo investimentos, melhorias operacionais e logísticas ao longo dos últimos anos, porém também vivenciou momentos de crise, principalmente no que diz respeito ao fornecimento de gás proveniente da Bolívia. Nesse sentido, houve um grande avanço na diversificação das fontes de gás natural para a produção nacional e o Gás Natural Liquefeito (GNL) foi inserido no contexto brasileiro em 2009 para ampliar a oferta de gás natural do país, bem como reduzir a dependência em relação ao fornecimento boliviano (ANP, 2010).

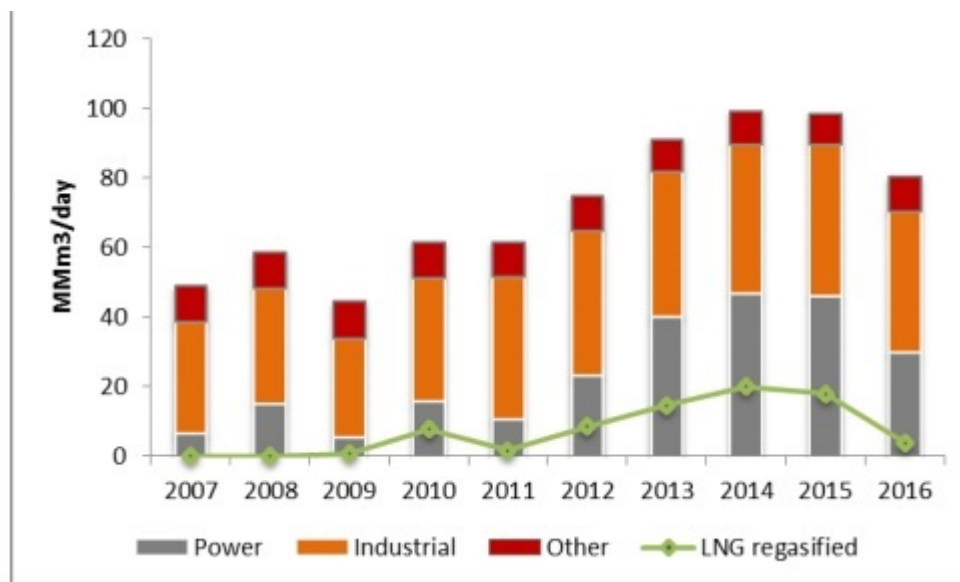
A demanda de GN é representada em boa parte pelo consumo da indústria e a geração de energia elétrica, de acordo com o Boletim Mensal de Gás Natural do Ministério de Minas e Energia (MME), 87% (média dos boletins lançados em 2017) do GN consumido está relacionada a estas duas fontes.

O aumento na demanda trouxe alguns aspectos interessantes para a produção e distribuição do gás natural no Brasil. Primeiro, houve uma forte regulamentação de suas características para manter a qualidade exigida pelos mercados, atividade essa desenvolvida principalmente pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP. Em seguida houve um impulso governamental na criação dos terminais de regaseificação de Gás Natural Liquefeito (GNL), de modo a ampliar a produção de gás natural e a atender as demandas nacionais crescentes muito em função da redução de capacidade pelos outros modos de geração de energia.

A regaseificação de GNL é uma atividade que ocorre em alguns países há um tempo. O Reino Unido, por exemplo, começou a importar GNL em 1964, já o Japão intensificou as importações de GNL para essa finalidade a partir da década de 70 (STRADIOTO, 2011). No Brasil se iniciou por volta de 2009 com as criações dos Terminais de Regaseificação de Pecém com capacidade de regaseificação de 7 MMm³/dia (milhões de metros cúbicos por dia) e da Bahia de Guanabara com capacidade inicialmente de 14 MMm³/dia, porém com uma ampliação para 20 MMm³/dia. Mais tarde, em 2014, houve a construção do Terminal de Regaseificação da

Bahia com capacidade de 14 MMm³/dia e a capacidade total de regaseificação brasileira atingiu 41 MMm³/dia superando os 32 MMm³/dia do suprimento boliviano (PETROBRAS, 2014). A Figura 1 detalha a demanda por GN e os volumes de GNL regaseificados no Brasil entre 2007 e 2016.

Figura 1 - Demanda de gás e quantidade de GNL regaseificado



Fonte: MME, Gomes (2017).

Uma abordagem analítica das variações de oferta e demanda se faz necessária, pois esse produto passou por diversas influências nos últimos anos, enquanto em 2014 houve um recorde de consumo de gás natural, onde foi atingido o número de 99,3 MMm³/dia, com a indústria consumindo 42,9MMm³/ dia e a geração de energia elétrica utilizando 46,8 MMm³/dia desse montante, a crise econômica brasileira trouxe alguns impactos e o consumo foi reduzido para 80,3 MMm³/dia, com a indústria consumindo 40,8MMm³/dia e a geração de energia elétrica 29,6MMm³/dia no final de Abril de 2016 (GOMES, 2017).

A mesma autora ainda complementa afirmando que a forte diminuição no consumo de GN para a geração de energia elétrica se deu pelo fato de uma combinação de fatores que gerou um aumento de 8,8GW (Gigawatts) na capacidade de outras fontes de energia como eólica, biomassa e hidrelétricas em 2016.

A diminuição na demanda de GN no Brasil gerou alguns reflexos na regaseificação de GNL pelos terminais, chegando ao mês de Abril de 2017 com a regaseificação sendo realizada quase que exclusivamente pelo Terminal de

Regaseificação de Pecém, utilizando apenas 44% de sua capacidade e o terminal da Bahia participando com 6,38% da produção mensal utilizando 1,43% de sua capacidade diária (MME, 2017).

1.1 Justificativa

Segundo Hallack (2016), a indústria de GN passa por um processo de tomada de decisões estratégicas que podem ditar o crescimento nos próximos anos. Nesse sentido, a estratégia de adotar a regaseificação de GNL como fonte de diversificação de geração de energia se mostra como um dos pontos fortes da realidade brasileira, uma vez que esse processo é visto no mundo todo com boas perspectivas. Estima-se que entre 2014 e 2020 a demanda de gás natural no mundo terá um aumento de 2% ao ano e o volume de GNL comercializado no mundo crescerá quase 50% (IEA, 2015).

Porém, esse cenário de projeção positiva necessita de uma constante observação, pois os investimentos realizados nesse setor são muito altos e o preço de GNL atualmente não consegue cobrir os custos de implantação de novas plantas de regaseificação no mundo, se esses preços baixos persistirem, a indústria de GNL que poderia crescer, pode correr riscos (IEA, 2015).

Segundo Hakonen *et al.*(2018), o gás natural é em muitos aspectos considerado como um dos mais convenientes e rentáveis combustíveis para se utilizar. O crescimento substancial do GNL em todo o mundo possibilitou a oportunidade de utilizá-lo como um combustível limpo e de baixo custo.

De acordo com o MME (2017) o gás natural no Brasil é utilizado principalmente como fonte de energia para indústria e geração de eletricidade, nesse sentido a cadeia produtiva do GNL se torna substancialmente importante, pois ela representou em momentos anteriores à crise quase 20% da oferta total de gás natural no Brasil. Mesmo com toda a importância que essa fonte de energia foi tratada nos últimos anos, ela também teve momentos de dificuldades como foi apresentado anteriormente, com sua produção reduzida significativamente em 2016 e 2017 (MME, 2017).

A avaliação de características temporais tem sido pouco utilizada em pesquisas envolvendo o Gás Natural, tornando esta pesquisa um desafio. Os modelos de séries temporais baseiam-se nas variações ocorridas ao longo do tempo em diversas variáveis, como climáticas, econômicas, etc. Dentre os objetivos das análises de séries temporais

temos: a investigação do mecanismo gerador da série; realização de previsões de valores futuros de curto e longo prazo; descrição do comportamento da série, verificação gráfica de existências de tendências, ciclo e variações sazonais, busca de periodicidade nos dados etc. (MORETTIN; TOLOI, 2004).

Assim sendo, a utilização de séries temporais, evidenciando a relação oferta e demanda ao longo dos últimos anos se mostra interessante, pois o GNL é considerado hoje um produto estratégico para pretensões futuras do país.

1.2 Objetivos da Pesquisa

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo desse trabalho é desenvolver um modelo para descrever o comportamento das séries temporais de oferta e demanda de GNL buscando analisar suas características frente ao contexto econômico do Brasil.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Contextualizar o processo produtivo do Gás Natural Liquefeito no Brasil;
- Discutir as características das séries de oferta e demanda do GNL observando os fatos ocorridos na dinâmica da economia brasileira;
- Descrever o comportamento das séries temporais de oferta e demanda do GNL utilizando o modelo ARIMA;

1.3 Estrutura da dissertação

De maneira a colaborar na compreensão do tema, o presente trabalho está estruturado em seis capítulos.

No Capítulo 1 foram discutidos de maneira sucinta os assuntos que nortearão o trabalho, bem como sua importância e objetivos; no Capítulo 2 é apresentada revisão da literatura acerca dos temas: - Gás Natural; - Gás Natural Liquefeito e sua cadeia produtiva; - Séries Temporais e; - Modelo ARIMA.

Já no Capítulo 3, a metodologia utilizada no trabalho é apresentada, detalhando as características da pesquisa, suas variáveis e os procedimentos utilizados para sua execução.

No Capítulo 4 são discutidos o modelo e as características das séries temporais de oferta e demanda do gás natural liquefeito no Brasil e suas relações mercadológicas.

Por fim, o Capítulo 5 traz as conclusões gerais do trabalho e a sugestão de trabalhos futuros.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

2. Gás Natural

Segundo Carrera Zamalloa (2004), o gás natural se tornou um produto de grande importância estratégica no mundo em razão da sua qualidade, flexibilidade e vantagens ambientais. A alta qualidade do gás natural como energético é decorrente de suas propriedades químicas e físicas.

O gás natural é um combustível fóssil, formado basicamente por metano, variando em uma proporção de 80 a 90%, e etano que varia de 5 a 10% e outros gases como propano, butano, etc. (GARCIA, 2002).

A GASMIG – Companhia de Gás de Minas Gerais, que é a empresa distribuidora de gás natural no estado de Minas Gerais apresentou em 2018 dados relativos à característica de composição do gás natural distribuído naquele estado como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Composição do Gás Natural

Composição Química	
Elemento	Percentual
Metano	88,5
Etano	6,2
Propano	2,2
Butanos e mais pesados	0,8
Dióxido de Carbono	1,8
Dinitrogênio	0,5

Fonte: Gasmig, 2018.

Na Bahia, por exemplo, a BAHIAGÁS – Companhia de Gás da Bahia considera o valor de 88,8% de Metano e 8,4% de Etano.

O estudo sobre gás natural do Plano Nacional de Energia 2030 aponta que o volume de CO₂ emitido na atmosfera pode ser entre 20% e 23% inferior aquele

produzido pela geração a partir do óleo combustível e entre 40% e 50% inferior aos casos de geração a partir de combustíveis sólidos, como o carvão.

2.1 Panorama da Indústria do Gás Natural

Muitos países, como China e Japão, vivem o dilema entre a falta de recursos de gás natural e o aumento da demanda por gás natural, devido ao seu desenvolvimento econômico e mudança de postura desenvolvendo suas economias com baixa emissão de carbono (ZHANG *et al*, 2017).

De acordo com o Anuário Estatístico da ANP (2016), em 2015 as reservas provadas de gás natural somaram 186,9 trilhões de m³. Desse montante, 80 trilhões são provenientes do Oriente Médio e o Brasil ocupa a 36^a colocação no ranking das maiores reservas provadas de GN do mundo.

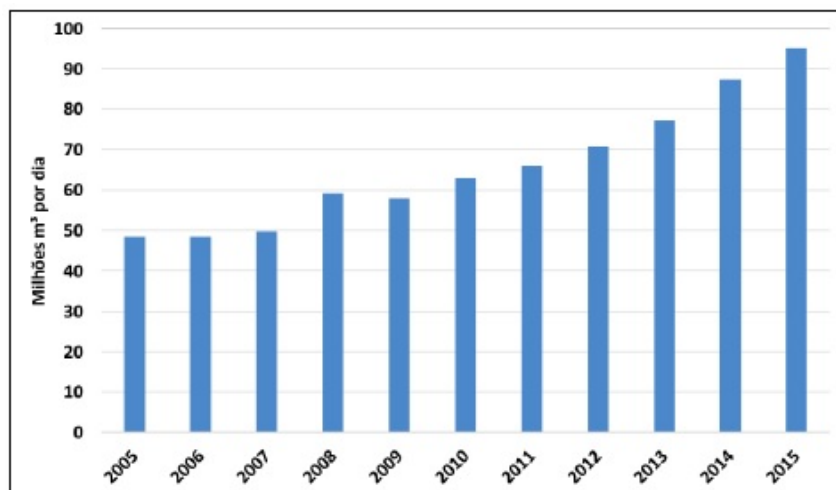
No ano de 2015 a produção mundial de GN atingiu a marca de 3,5 trilhões de m³ e no ranking global de avaliação dos maiores produtores os Estados Unidos ficaram em primeiro lugar com a representação de 21,7% do total mundial. De acordo com Gilbert e Sovacool (2017), os Estados Unidos sempre estiveram sob a perspectiva de que seria necessário importar grandes quantidades de GNL para suprir a demanda de gás natural, porém nos últimos anos o que houve foi um fenômeno contrário, os EUA se tornaram um grande exportador desse produto. O Brasil ficou posicionado em trigésimo com uma produção que representa 0,6% do total mundial (ANP, 2016).

Segundo o mesmo relatório, o consumo global em 2015 apresentou um aumento de 1,7%, alcançando 3,5 trilhões de m³. O Brasil teve uma alta no consumo de 3,8%, representando 1,2% do total mundial e a 24^a posição no ranking de maiores consumidores.

A Indústria de Gás Natural passou por uma grande expansão nos últimos anos, porém o desenvolvimento da indústria de GN brasileiro se deu em um momento de relativa redução da oferta doméstica, sua evolução se deu muito em função do contrato de fornecimento com a Bolívia e também a importação para regaseificação de GNL (CNI, 2016).

Este relatório aponta ainda que a produção de GN no Brasil teve um grande avanço como pode ser visto na Figura 2, porém a oferta do gás em 2015 foi de 59% da produção bruta para o mercado final. Isso se deve muito ao fato do aumento da reinjeção de gás que em 2016 chegou a 30 MMm³/dia em Janeiro de 2016. A reinjeção de gás é o retorno do gás aos poços (por terra ou mar), esse processo auxilia na produção de petróleo, ao elevar a pressão, facilita a saída do óleo (MME, 2017).

Figura 2 - Evolução da Produção de GN no Brasil



Fonte: CNI, 2016.

A evolução da produção nacional não permitiu a redução das importações, como pode ser observado na Figura 3, elas aumentaram nos últimos anos e em 2014, 53% da oferta total de gás natural foi proveniente de importação, seja ela da Bolívia, seja importação de GNL (CNI, 2016).

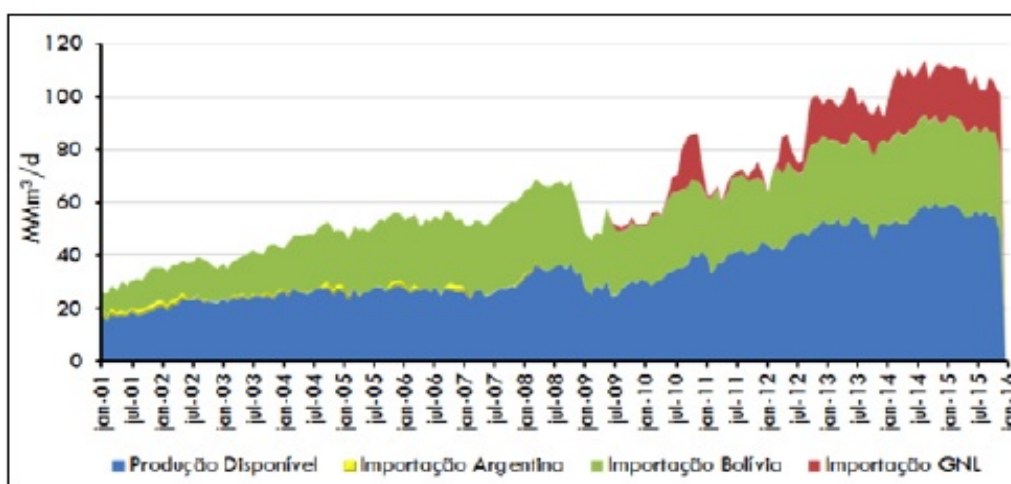
O relatório “Reestruturação do Setor de Gás Natural” (2016), afirma que o GNL tem sido importado muito em função dos picos de demanda termelétrica que ocorreram com maior frequência a partir de 2013. Porém essa importação tem se tornado cara, pois o GNL é importado no mercado *spot*, que se caracteriza pela variação e incerteza dos preços.

Segundo o IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, a palavra *spot* tem vários significados, mas para compreensão do contexto de mercado é interessante considerar as traduções “instantâneo” e “imediato”. Essas são as características desse tipo de mercado, pois ele admite transações imediatas com pagamentos à vista, se

diferenciando do mercado futuro que admite pagamentos de até dois anos após negociação.

Esse tipo de mercado é muito utilizado na produção agrícola e também se aplica a vendas de gás e energia elétrica, nesse caso não se tem uma entrega tão instantânea como a dos produtos agrícolas, mas é realizada em um curto prazo, geralmente para suprir uma demanda imprevista de energia.

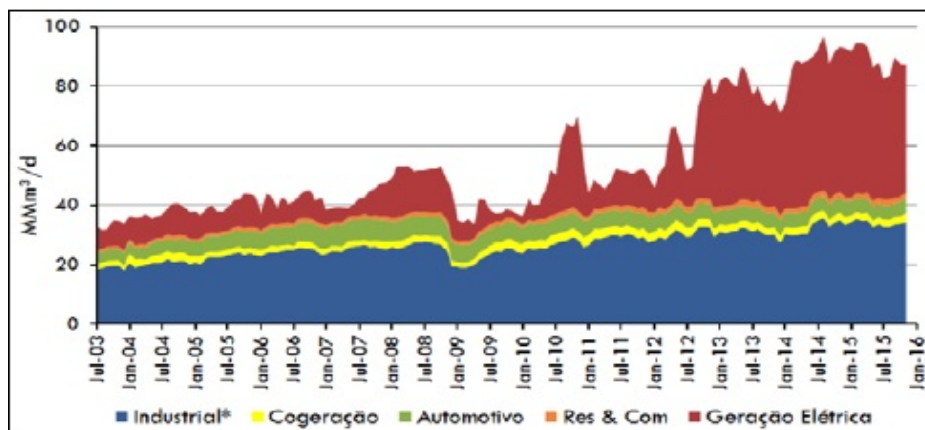
Figura 3 - Evolução da oferta de GN



Fonte: CNI, 2016.

Uma importante constatação da CNI (2016) é que a geração termelétrica tem a demanda bastante imprevisível como é verificado na Figura 4. Essas usinas são operadas para colaborar com a geração hidrelétrica, dessa forma, as condições hídricas estão diretamente ligadas à variação de demanda de gás para o setor elétrico.

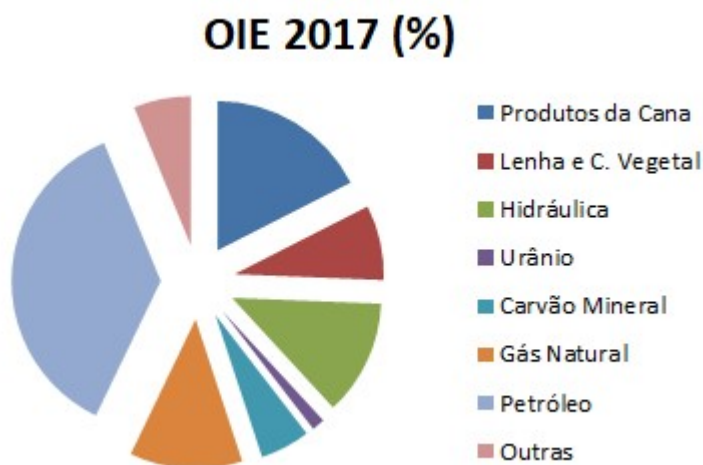
Figura 4 - Evolução da demanda de GN



Fonte: CNI, 2016.

Outro dado que colabora com a reflexão sobre o panorama da indústria de gás natural é que o mesmo hoje é responsável por 12,2% (Figura 5) da composição da matriz energética brasileira, sendo uma fonte bastante significativa (Boletim Mensal de Energia - MME, 2017).

Figura 5 - Composição da Matriz Energética Brasileira



Fonte: Adaptado de MME, 2017.

2.1.1 Gás Natural Liquefeito e sua Cadeia Produtiva

Segundo Msakni e Haouari (2018), os últimos anos comprovaram avanços notáveis nas tecnologias de processamento e distribuição de gás natural liquefeito e esse fator estimulou de forma efetiva novas perspectivas de fornecimento confiável de energia a preços acessíveis. Os mesmos autores afirmam que de acordo com dados da IEA – Agência Internacional de Energia de 2017, o número de países que passaram a consumir GNL no mundo subiu de 15 em 2005 para 39 em 2017.

Essa evolução do papel do gás natural no mercado global de energia levou a indústria de energia a estabelecer cadeias de fornecimento multibilionárias que visam garantir entregas de GNL em todo o mundo na quantidade necessária e com o menor custo (MSAKNI e HAOUARI, 2018).

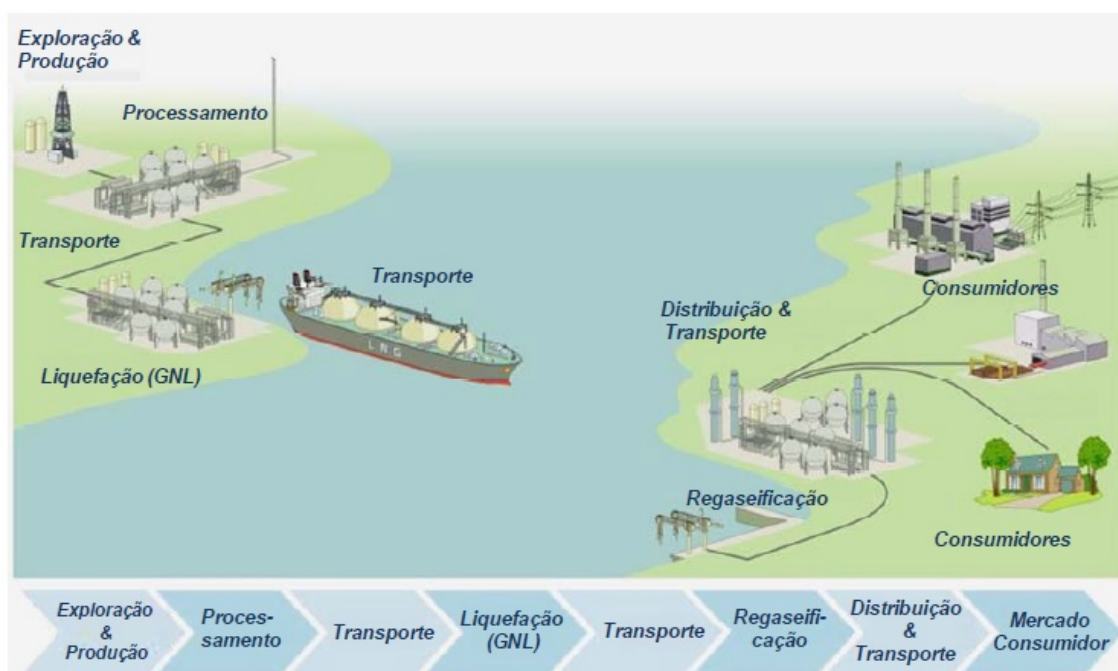
O desequilíbrio das condições de oferta e demanda do gás natural brasileiro, conjuntamente com dificuldades no suprimento do gás boliviano fizeram com que o Brasil buscasse além de diversificar a fonte de geração de GN, também trazer uma maior flexibilidade na oferta de gás para tentativa de fornecimento contínuo para os

diversos setores de consumo (ANP, 2010). O Brasil realiza a importação de GNL basicamente para suprimento da demanda de energia elétrica (PRADE, 2015).

A refrigeração do gás natural a -162°C é característica fundamental do GNL, pois esse fator reduz em 600 vezes o seu volume, trazendo um ganho de escala nessa operação e tornando economicamente viável o transporte desse produto no estado líquido. Na planta de liquefação de GNL é feito um tratamento para remoção de impurezas, de forma a evitar a formação de sólidos quando for feito o resfriamento à temperatura de -162°C . Após o tratamento o GNL é composto praticamente apenas de metano (cerca de 95%), sendo seu uso ainda menos poluente que do gás natural.

A cadeia produtiva do GNL é composta pelas seguintes atividades: a) Exploração; b) Processamento; c) Transporte; d) Armazenagem; e) Regaseificação; f) Distribuição ao mercado. Todas essas etapas podem ser visualizadas na Figura 6. Este trabalho vai discutir um modelo ARIMA para oferta de gás natural (proveniente da regaseificação) e a demanda de energia elétrica (etapa de distribuição desse gás).

Figura 6 - Cadeia do GN



Fonte: ANP, 2009 (Adaptado de OATLEY, 2008).

Os terminais de estocagem e regaseificação do GNL podem ser onshore ou offshore, e estes, por sua vez, podem ser do tipo Gravity Based System, constituído de uma estrutura de concreto com base no fundo do mar, e Floating Storage and Regasification Unit (FSRU), navios com tanques de GNL e unidade de regaseificação

onboard. Os três terminais de regaseificação brasileiros são offshore. De acordo com Blackwell e Skaar (2009) é vantajoso trabalhar com terminais offshore em relação ao onshore, pois existe maior flexibilidade, menor custo e maior rapidez do retorno de investimento. Além de trazer outro benefício interessante que o distanciamento de áreas urbanas, o que pode reduzir riscos às populações caso haja algum acidente ou até mesmo vazamento do produto.

O GNL chega aos terminais de regaseificação via navios metaneiros (Figura 7) e esses são utilizados normalmente no comércio internacional, onde em boa parte são percorridas grandes distâncias, o que traz o benefício do ganho de escala (ANP, 2010).

Figura 7 - Navios de Transporte de GNL



Excelsior
Capacidade: 138.000 m³



Eschu Maru
Capacidade: 153.000 m³



Cool Runner
Capacidade: 160.000 m³



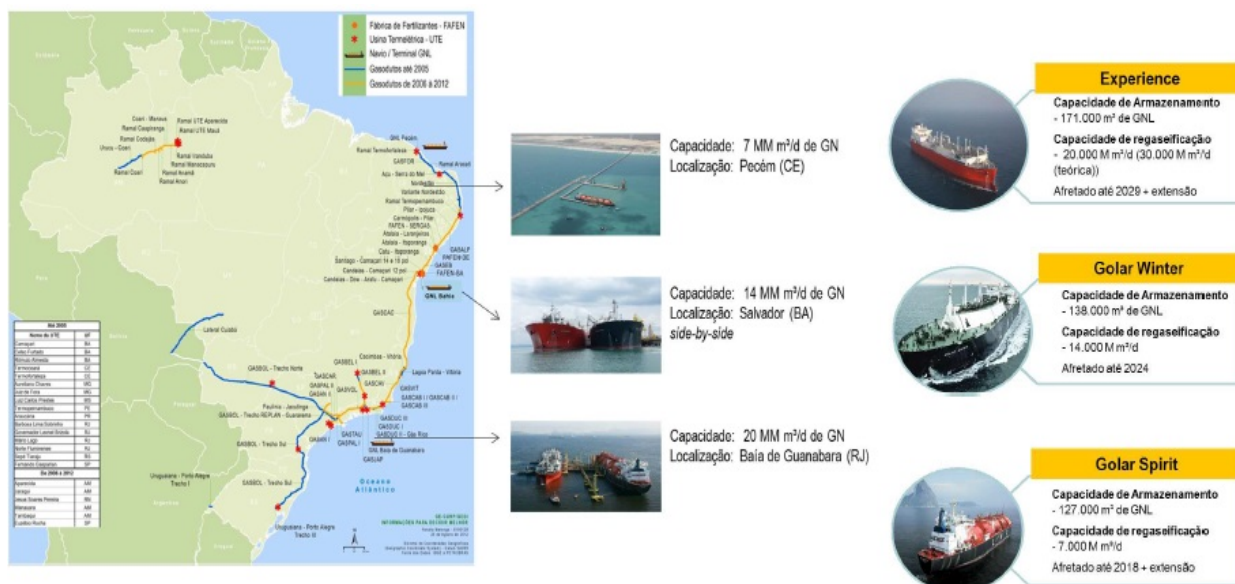
Excalibur
Capacidade: 138.200 m³

Fonte: Petrobras (2016).

2.1.2 Terminais de Regaseificação

O uma discussão realizada pela Petrobras em uma oficina da iniciativa Gás para Crescer divulgado em 2016 traz algumas informações sobre a infraestrutura do GNL no Brasil e de seus terminais de regaseificação (Figura 8). O país hoje conta com três terminais de regaseificação, todos offshore, localizados em Pecém (CE), Baía de Guanabara (RJ) e Salvador (BA). Os terminais de regaseificação tem capacidade instalada de 41 MMm³/ dia, porém desde o início de atividades desses terminais, eles nunca operaram com mais do que 50% da sua capacidade (PETROBRAS, 2017).

Figura 8 - Infraestrutura do GNL no Brasil



Fonte: Petrobras (2016).

O mais recente terminal, inaugurado em janeiro de 2014, situado na Bahia (região de Madre de Deus), regaseifica cerca de 14 milhões de m³ de gás natural a partir do GNL e envia pela malha de gasodutos para seus mais variados clientes. O terminal baiano conta com um sistema de atracação diferenciado, chamado de *side-by-side*, o sistema consiste em uma conexão direta entre o navio supridor e o navio regaseificador, onde o navio supridor é aquele que chega à baía com o GNL importado e o regaseificador se mantém fixo (atracado) em um píer tipo ilha, com um berço.

O GNL é recebido do navio através de braços de descarregamento criogênicos e segue para os tanques de armazenamento. Bombas de baixa pressão imersas no tanque (primeiro estágio) levam o GNL a um recondensador, de onde o líquido segue para os vaporizadores através de uma bomba de alta pressão (segundo estágio), e depois para a tubulação final. O vapor formado nos tanques é comprimido para ser adicionado a corrente de GNL regaseificado ou retorna ao navio, de forma a balancear a pressão entre os tanques do navio e do terminal.

2.2 A dinâmica econômica brasileira em relação ao Gás Natural

Liquefeito

2.2.1 Incertezas na oferta e demanda

O Brasil foi um dos principais compradores de GNL nos últimos anos na América do Sul. Por outro lado, também foi o país que mais reduziu suas importações de GNL no mundo em 2016 (IGU, 2017).

A oferta de gás no país tem três origens: produção doméstica, importações da Bolívia e importações de GNL. Todos os três componentes caíram em 2016. O mercado brasileiro possui uma grande centralização na oferta, tanto pela produção predominante da Petrobras, como pelo seu controle sobre os terminais e gasodutos, além das unidades de processamento de gás natural. No lado da demanda, o setor termelétrico é o que mais utiliza o gás natural, a depender da quantidade de energia elétrica despachada pelo setor hidrelétrico (AZEVEDO, 2017).

Segundo Prade (2015) o setor termelétrico brasileiro exige que a oferta de gás natural para esse segmento seja flexível e essa flexibilidade só é possível nos campos de gás não associados ao petróleo, uma vez que campos associados vão produzir gás como uma consequência da produção de petróleo. Como 72% da produção nacional de gás natural é de campos associados, foi essencial se buscar maior flexibilidade na oferta de gás natural através da importação de GNL.

Romeiro (2018) afirma que a expansão via GNL importado por novos terminais de regaseificação pode refletir o perfil de oferta e demanda de gás no Brasil. Enquanto que a oferta nacional de gás é sobretudo inflexível (por ser associada ao petróleo), a demanda para geração termelétrica foi organizada para ser flexível, complementando a geração hidráulica em períodos críticos de seca. Neste cenário, o GNL foi inserido para *“facilitar o ajuste da oferta de gás natural às características do mercado nacional, por meio de suprimento flexível”*, como determinou a Resolução nº 4/2006 do CNPE.

O mesmo autor afirma que é necessário estar atento às incertezas da formação da oferta, pois é elevada a variabilidade e imprevisibilidade da demanda por gás natural no Brasil para geração termelétrica, que responde a cerca de 50% da demanda total em

períodos de pleno despacho. Enquanto que em 2011 a demanda média foi de apenas 10 MMm³/d, em 2014 e 2015 superou 45 MMm³/d e em 2016 já recuou para 28 MMm³/d.

2.2.2 Variações de preço do GNL

O GNL importado pelo Brasil é comercializado no mercado *spot*, ficando exposto à alta oscilação dos preços no mercado. Com uma maior concorrência vista nesse mercado, os preços internacionais encontram-se reduzidos e o Brasil pode se beneficiar com as mudanças previstas para o mercado de GNL no médio prazo. O novo cenário internacional pode permitir contratos de longo prazo com maior flexibilidade e cláusulas mais interessantes para o caso específico brasileiro (PRADE, 2015). Ainda que a escolha seja manter as importações pelo mercado *spot* de GNL, os preços tendem a ser mais vantajosos, competindo inclusive com o preço do gás importado da Bolívia.

Segundo a mesma autora, o maior problema é a concorrência com o próprio gás nacional. Um preço internacional mais barato de GNL acaba desencorajando os investimentos para a oferta doméstica de gás, em especial os recursos não associados e em terra. Portanto, algumas alterações no mercado de GNL poderiam representar um risco para o desenvolvimento da indústria de gás natural nacional, impedindo a viabilidade econômica de alguns projetos.

A dependência externa, como no caso boliviano, por si só pode ser considerada uma ameaça para o desenvolvimento energético do Brasil, principalmente em um mercado como o do GNL, com tantas incertezas para o futuro e um histórico de alta volatilidade. No médio prazo o aumento das importações de GNL pode ser uma ótima solução e economicamente viável, mas no longo prazo a dependência externa de um produto com grande importância como o gás natural pode trazer alguns riscos inerentes à sua cadeia produtiva (PRADE, 2015).

O preço é um fator de muita importância para a maior parte da indústria, porém para ser competitivo o gás natural não depende exclusivamente deste fator. Segundo Anisie (2014) a competitividade depende fatores como disponibilidade de gás natural e risco político. Preços baixos por si só não tem a capacidade de manter a competitividade industrial caso não existam reservas suficientes e produção de gás natural capazes de suportar a demanda atual e futura do energético pela indústria. Além disso, a estabilidade política é de extrema importância para garantir lucratividade.

Anisie (2014) cita o exemplo de países do Oriente Médio, que possuem gás natural extremamente barato e grandes reservas, porém com alto risco político. Por exemplo, o Irã tem a segunda maior reserva de GN do mundo, com baixos preços de gás, mas apresenta alto grau de risco político e fraco ambiente de negócios, ampliado pelos efeitos das sanções econômicas. Consequentemente, não apresenta grande competitividade industrial em relação a países com maior estabilidade política.

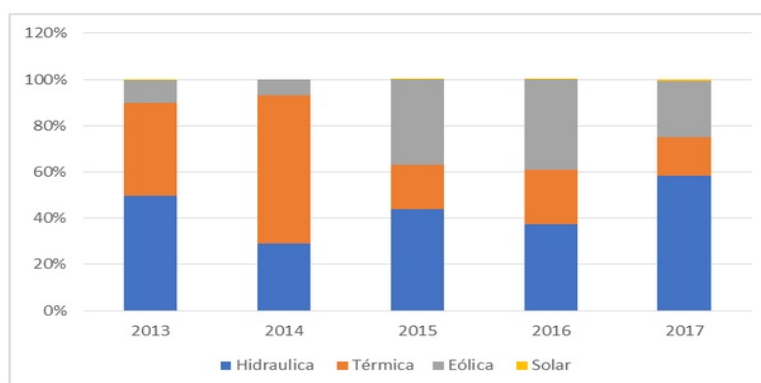
Oglend, Kleppe e Osmundsen (2016) sugerem em seu trabalho que um dos fatores de maior influência na variação do preço do GNL pode estar ligado ao custo de transporte, pois é um produto comercializado em sua grande maioria por transporte marítimo.

2.3 Outras formas de capacidade de geração de energia elétrica

O aumento das novas tecnologias de energia renováveis, em especial eólica e solar causou um crescimento da capacidade instalada dessas duas fontes bastante importantes das novas renováveis e o número superou a de hidráulica pela primeira vez em 2015 como visto na Figura 9 (LOSEKANN e HALLACK, 2017).

O Brasil está inserido neste cenário de forma bastante particular dado à importância histórica das hidráulicas na matriz elétrica nacional. As energias renováveis no Brasil tem uma participação significativa na matriz de geração elétrica brasileira, chegando a 85% do valor total, principalmente em função da participação da energia hidroelétrica, amplamente aplicada no Brasil (MME, 2017). Porém o aumento das hidráulicas enfrenta progressivamente maiores custos e restrições.

Figura 9 - Participação das diferentes fontes de energia renovável



Fonte: Retirado de Losenkann e Hallack (2017).

Esse aumento da geração elétrica por fontes renováveis é um dos fatores determinantes para a redução da demanda de geração elétrica por gás natural como afirmou Gomes (2017).

2.4 Análise de Séries Temporais

Uma série temporal é um conjunto de observações realizadas em sequência ao longo do tempo (GUAJARATI, 2004). O aspecto mais interessante desses dados é que as observações vizinhas são dependentes e essa característica possibilita analisar e modelar esta dependência. Em séries temporais a ordem dos dados é de extrema importância (EHLERS, 2005).

Por se tratar de técnicas que visam modelar as dependências entre as observações, percebe-se um arcabouço de técnicas que diferem daquelas voltadas para fenômenos onde estas observações são independentes.

Como exemplos de series temporais de nossas rotinas, temos: valores de temperaturas médias diárias de uma determinada cidade; valores de índices pluviométricos mensais de uma região; valores anuais do Produto Interno Bruto de um país.

A utilização de séries temporais para compreensão de oferta e demanda de mercado também é uma realidade que pôde ser vista no trabalho de Canale e Vantini (2016), quando eles propuseram um modelo de série temporal baseado nos dados de oferta e demanda do gás natural na Itália.

Já Bilgili *et al.* (2016), realizou pesquisas na área de séries temporais, utilizando a metodologia de cointegração para avaliar os impactos da evolução do gás de xisto na produção industrial nos Estados Unidos.

Shahbaz *et al.* (2014), por sua vez aplicou os conhecimentos de séries temporais para realizar uma avaliação da influência das propriedades estacionárias do consumo de gás natural na previsão dos impactos de choques na demanda de energia, através de modelagem e testes de raiz unitária.

Misund e Oglend (2016) avaliaram como os impactos diários da oferta e demanda de gás natural no Reino Unido podem influenciar na volatilidade do preço do gás no mercado *spot* através de um modelo de vetor autoregressivo.

Quando se realiza uma análise de uma série temporal, é possível estar interessado em vários objetivos diferentes, como (MORETIN; TOLOI, 2004):

- ✓ Descobrir o mecanismo que gerou a série temporal;
- ✓ Descrever o comportamento da série (se existe tendência, sazonalidade, ciclos, etc);
- ✓ Encontrar relações da série com outras séries temporais;
- ✓ Fazer previsão de valores futuros, e
- ✓ Fazer estimação dos valores de saída, apenas de posse dos valores de entrada.

Segundo Lima Junior (2016) é possível dividir a análise de séries temporais a partir de duas perspectivas: o domínio do tempo e o domínio da frequência. Quando a série temporal tem sua análise a partir do domínio do tempo, dizemos que os modelos propostos são paramétricos, ou seja, que tem um número finito de parâmetros. Já quando as séries são analisadas no domínio da frequência, os modelos tem um número infinito de parâmetros e são chamados de modelos não paramétricos. O mesmo autor reitera que os modelos da metodologia Box e Jenkins são os mais discutidos dentro da classe de modelos paramétricos.

A escolha do modelo adequado baseia-se num ciclo iterativo do método de Box & Jenkins (MORETTIN; TOLOI, 2004), cujas etapas consistem em:

- 1- Fazer uma descrição da série, através do cálculo de estatísticas básicas e da representação gráfica dos dados e, a partir daí, escolher uma classe de modelos para a análise;
- 2- Identificar o modelo a partir da análise de autocorrelações, além de outros critérios;
- 3- Estimar os parâmetros do modelo identificado;
- 4- Realizar uma análise de resíduos, para verificar se o modelo é adequado para que possibilite fazer previsões futuras na série. Caso o modelo não seja adequado, o ciclo deve ser repetido a partir da segunda etapa.

2.5 Modelos ARIMA

Os modelos de Box-Jenkins, também conhecidos como modelos ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*), foram apresentados por George Box e Gwilym Jenkins no início dos anos 70 e tem o objetivo de compreender o comportamento da correlação serial ou autocorrelação entre os valores da série temporal, e com base nesse comportamento, realizar previsões futuras (ENDERS, 2004).

De acordo com Morettin e Tolo (2004), os modelos ARIMA são resultados da combinação de três componentes, estes são chamados de filtros: o componente autoregressivo (AR), o filtro de integração (I) e por último o de médias móveis (MA). Uma série pode ser modelada pelos três filtros ou cada um deles separadamente, resultando em vários modelos. Deste modo, verifica-se que os modelos de séries temporais proporcionam caracterizar um processo estocástico utilizando apenas valores passados da variável dependente e do termo de erro (MORETTIN e TOLOI, 2004).

Os modelos ARIMA são modelos muito comuns para previsão de séries temporais muito em função de ser uma ferramenta clara e com bom desempenho (JIM e KIM, 2015). Os modelos ARIMA tem uma das melhores precisões quando se trata de métodos de previsão de séries temporais e também é considerado um dos métodos mais relevantes para modelos de planejamento de energia, que são baseados em previsões de oferta e demanda de energia (DEBNATH e MOURSHED, 2018).

Ediger e Akar (2007) utilizaram modelos ARIMA para previsão de demanda de energia primária por combustíveis. Os autores afirmaram que a previsão de demanda de energia é uma das ferramentas mais interessantes para os tomadores de decisões políticas ao redor do mundo.

De acordo com Nichiforov (2017), a previsão de séries temporais de consumo de energia representa um tipo difícil de modelagem preditiva devido à existência de padrões complexos lineares e não lineares e a utilização de um modelo ARIMA se mostrou interessante, pois tem uma simplicidade em sua estrutura que auxilia o processo de previsão.

2.5.1 Estacionariedade

Os testes para se verificar a estacionariedade são chamados de testes de raiz unitária. Existem alguns testes com essa finalidade, entre eles Teste de Dickey-Fuller Aumentado, KPSS – Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin, entre outros (MORETTIN e TOLOI, 2004).

Quando se confirma a estacionariedade, identificando a ordem de integração d , inicia-se o processo de identificação dos valores de p e q do modelo. Frequentemente para se realizar essa etapa, são analisadas as funções de autocorrelação (fac) e autocorrelação parcial (facp).

2.5.2 Função de Autocorrelação

A identificação específica de um modelo ARIMA a ser ajustado aos dados pode ser considerada uma das fases mais críticas ao se utilizar uma modelagem ARIMA. A escolha do modelo a ser utilizado é feita principalmente com base nas funções de autocorrelações total e autocorrelações parciais estimadas.

Lembramos que a fac. ρ_j é estimada por

$$r_j = \frac{g_j}{g_0}, \quad j = 0, 1, \dots, N - 1 \quad (1)$$

onde g_j é a estimativa da facv. γ_j , dado por

$$g_j = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-j} [(X_t - \bar{X})(X_{t+j} - \bar{X})], \quad j = 0, 1, \dots, N - 1 \quad (2)$$

sendo $\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_t$ a média amostral. Como as funções de autocorrelação são funções pares, temos que $g_{-j} = g_j$ e $r_{-j} = r_j$.

Os modelos AR(p), MA(q) e ARMA(p,q) apresentam fac. com características especiais:

i) um processo AR(p) tem fac. infinita em extensão que decai de acordo com exponenciais e/ou senoides amortecidas;

ii) um processo MA(q) tem fac. finita, no sentido que ela apresenta um corte após a defasagem q;

iii) um processo ARMA(p,q) tem fac. infinita que decai de acordo com exponenciais e/ou senoidais amortecidas após a defasagem (q-p).

Assim, a partir das fac. estimadas, tentamos identificar um padrão que se comporte teoricamente com algum modelo. Em particular, a fac. estimada é útil para identificar modelos MA por causa da característica (ii) e não são muito úteis na identificação de modelos ARMA, que possuem fac. complexas.

2.5.1.3 Função de Autocorrelação Parcial

Uma outra ferramenta utilizada no processo de identificação do modelo é a função de autocorrelação parcial (facp). Esta medida corresponde a correlação de X_t e X_{t-k} removendo o efeito das observações $X_{t-1}, X_{t-2}, \dots, X_{t-k+1}$ e é denotada por ϕ_{kk} , ou seja

$$\phi_{kk} = Corr(X_t, X_{t-1}/X_{t-1}, X_{t-2}, \dots, X_{t-k+1}) \quad (3)$$

um método geral para encontrar a facp. para um processo estacionário com fac ρ_k é utilizando as equações de Yule-Walker, isto é, para um certo k temos

$$\rho_j = \phi_{k1}\rho_{j-1} + \phi_{k2}\rho_1 + \dots + \phi_{kk}\rho_{j-1}, \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (4)$$

desenvolvendo a equação temos

$$\rho_1 = \phi_{k1} + \phi_{k2}\rho_1 + \dots + \phi_{kk}\rho_{j-1} \quad (5)$$

$$\rho_2 = \phi_{k1}\rho_1 + \phi_{k2} + \dots + \phi_{kk}\rho_{j-2} \quad (6)$$

$$\vdots = \vdots$$

$$\rho_j = \phi_{k1}\rho_{j-1} + \phi_{k2}\rho_{j-2} + \dots + \phi_{kk} \quad (7)$$

resolvendo as equações acima sucessivamente para $k = 1, 2, \dots$, obtemos ϕ_{kk} da seguinte maneira:

$$\phi_{11} = \rho_1 \quad (8)$$

$$\phi_{22} = \frac{\begin{vmatrix} 1 & \rho_1 \\ \rho_1 & \rho_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & \rho_1 \\ \rho_1 & 1 \end{vmatrix}} \Rightarrow \phi_{22} = \frac{\rho_2 - \rho_1^2}{1 - \rho_1^2} \quad (9)$$

$$\phi_{33} = \frac{\begin{vmatrix} 1 & \rho_1 & \rho_2 \\ \rho_1 & 1 & \rho_2 \\ \rho_2 & \rho_1 & \rho_3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & \rho_1 & \rho_2 \\ \rho_1 & 1 & \rho_1 \\ \rho_2 & \rho_1 & 1 \end{vmatrix}} \Rightarrow \phi_{33} = \frac{\rho_3 + \rho_2^2 \rho_1 + \rho_1^3 - 2\rho_1 \rho_2 - \rho_1^2 \rho_3}{1 - 2\rho_1^2 - \rho_2^2} \quad (10)$$

em geral temos

$$\phi_{kk} = \frac{|P_k^*|}{|P_k|} \quad (11)$$

onde P_k é a matriz de autocorrelação, e P_k^* é a matriz P_k com a última coluna substituída pelo vetor de autocorrelação.

Nos processos AR, MA e ARMA temos as seguintes facp. teóricas:

i) em um processo AR(p) a facp é da forma: $\begin{cases} \phi_{kk} \neq 0, & k \leq p \\ \phi_{kk} = 0, & k > p \end{cases}$

ii) em um processo MA(q) a facp. se comporta de maneira similar à fac. de um processo AR(p), isto é, composta por exponenciais e/ou senóides amortecidas;

iii) um processo ARMA(p,q) tem facp. que se comporta como a facp. de um processo MA puro.

Devido aos fatores acima, segue que a facp. é útil para identificar modelos AR puros, não sendo tão útil para identificar modelos MA e ARMA. Uma maneira simples de estimar as facp. de um processo consiste em substituir nas equações de Yullie-Walker as fac por suas estimativas

$$r_j = \phi_{k1} r_{j-1} + \dots + \phi_{kk} r_{j-k}, \quad j = 1, \dots, k. \quad (12)$$

e resolver estas equações para $k=1, 2, 3, \dots$

2.5.1.4 Akaike Information Criteria

Ao estimar os parâmetros, é necessária a verificação deste modelo para diagnosticar se ele é apropriado para representar, de forma adequada, os dados estudados. Caso seja encontrado mais de um modelo, que concorram entre si, para uma série temporal, é importante selecionar os modelos mais parcimoniosos, aqueles com a menor quantidade de parâmetros. Os critérios de escolha dos modelos mais utilizados em pesquisas são o método AIC (Akaike Information Criteria) e BIC (Bayesian Information Criteria) e é importante ressaltar que quanto menor for o AIC e o BIC, mais adequado é o modelo (MORETTIN, 2008).

Definiu-se o modelo ARIMA como sendo de máxima ordem três, para isto, buscou-se testar as possíveis combinações entre (p,d,q) que foram avaliadas pelo método de Akaike (AIC), no qual o menor valor definia a modelagem a ser assumida. Para determinar a ordem de um modelo ARIMA não sazonal, um critério útil é o critério de informação de Akaike. É escrito como:

$$AIC = -2 \log(L) + 2(p + q + k + 1) \quad (13)$$

Em que L é verossimilhança dos dados, p é a ordem da parte autoregressiva e q é a ordem da parte de média móvel. O parâmetro k neste critério é definido como o número de parâmetros no modelo sendo ajustado aos dados. Para o AIC, se $k=1$, então c é diferente de 0 e se $k=0$, então c é igual 0. O AIC corrigido para modelos ARIMA pode ser escrito como visto na equação 4:

$$AIC_c = AIC + \frac{(2(p + q + k + 1)(p + q + k + 2))}{(T - p - q - k - 2)} \quad (14)$$

Quando o critério Akaike é aplicado à estimação das ordens de um modelo ARIMA, o AIC vai selecionar o modelo cujas ordens p e q minimizam a equação. Este método é baseado em uma função penalizadora, onde a variância residual diminui conforme as ordens do modelo aumentam, dessa forma esse método tenta equilibrar essas duas medidas (MORETTIN e TOLOI, 2004).

Nesta pesquisa utilizamos o critério AIC que se mostrou adequado para determinação dos modelos de melhor desempenho.

Capítulo 3 - METODOLOGIA

3. Procedimentos Metodológicos

Neste trabalho foi analisada a variação da oferta e demanda do GNL, mensalmente, durante os períodos de janeiro de 2009 até junho de 2017, totalizando 102 observações de cada uma das variáveis (oferta e demanda). Os dados referentes à demanda do GNL são os dados de demanda para geração de energia elétrica, visto que o GNL é regaseificado basicamente para esta finalidade. Todos os dados foram retirados do Boletim Mensal do Gás Natural, informações disponíveis no site do Ministério de Minas e Energia do Brasil (<http://www.mme.gov.br>).

Em um primeiro momento foi realizada uma análise descritiva dos dados observando estatísticas básicas dos mesmos.

Em seguida foi utilizado o modelo ARIMA ou modelo de Box & Jenkins que representa um conjunto de processos estocásticos, onde em cada instante de tempo t existe uma série de valores que a série pode assumir, de acordo com possibilidades de ocorrência. Esse modelo foi utilizado para auxiliar a compreensão das características temporais observadas na oferta e demanda do GNL. Todos os testes envolvidos no trabalho foram realizados com o auxílio do Software R i386 3.4.2.

3.1. Estacionariedade e Teste de Raíz Unitária

Segundo Box e Jenkins (1976), para a construção do modelo ARIMA é necessário a realização de três etapas: 1) Identificação; 2) Estimação; e 3) Verificação. Este modelo é adequado para a previsão de séries temporais cujo processo estocástico não é estacionário.

Os modelos AR, MA e ARMA, são apropriados para descrever séries temporais estacionárias, isto é, séries que se desenvolvem no tempo ao redor de uma média constante. Em muitos casos, as séries encontradas não são estacionárias, mas quando tomamos a série diferenciada esta se torna estacionária. Os modelos autorregressivos, integrados e de médias móveis (ARIMA) representam a série diferenciada por um modelo ARMA.

Seja Z_t , uma série temporal não estacionária. Tomamos $W_t = \Delta Z_t = Z_t - Z_{t-1}$ sendo a série diferenciada uma vez de Z_t , denotamos por $W_t = \Delta^d Z_t$ a série temporal diferenciada d vezes de Z_t .

Podemos representar W_t por um modelo ARMA, como W_t é uma diferença de Z_t então, Z_t é uma integral de W_t , assim dizemos que Z_t segue um modelo autorregressivo, integrado e de médias móveis, isto é, um modelo ARIMA de ordem (p,d,q) e escrevemos ARIMA (p,d,q) onde p é a ordem da componente autorregressiva, d é o número de diferenças tomadas na série e q é a ordem da componente de médias móveis.

Portanto, podemos descrever todos os modelos vistos anteriormente utilizando a nomenclatura ARIMA, isto é:

i) ARIMA $(p,0,0) = \text{AR}(p)$;

ii) ARIMA $(0,0,q) = \text{MA}(q)$;

iii) ARIMA $(p,0,q) = \text{ARMA}(p,q)$.

No caso de uma série não estacionária, utiliza-se o modelo completo, ARIMA (p,d,q) com d diferenças na série original. Logo, a série original passará por algumas diferenciações a fim de torná-la estacionária, em muitos casos é comum se chegar à estacionariedade após a primeira diferença (BOX & JENKINS, 1976).

Considerando um modelo autoregressivo de primeira ordem, descrito por:

$$X_t = \phi X_{t-1} + \varepsilon_t \quad (15)$$

A equação (1) mostra que o valor da série X no instante t é igual ao seu valor no tempo $t-1$ multiplicado pela constante ϕ e somado a um choque aleatório, o que caracteriza um modelo autoregressivo de primeira ordem, ou $\text{AR}(1)$. O termo ε_t é erro de ruído branco, com média zero e variância σ^2 .

3.1 Teste de Dickey-Fuller Aumentado

Se $\delta = 1$, o processo da equação (1) se torna modelo de passeio aleatório, um exemplo clássico de processo não estacionário. Nesse caso, o valor da série X no instante t é tão somente seu valor no tempo $t-1$ somado a um choque aleatório.

A alternativa foi elaborada por Dickey e Fuller (1979), que mostraram que, sob a hipótese nula de $\delta=0$, o valor t estimado do coeficiente de X_{t-1} segue a estatística τ . Os valores críticos dessa estatística foram calculados por simulações de Monte Carlo, e na literatura o teste tau é conhecido como teste de Dickey-Fuller (DF).

Uma variação desse teste é o teste de Dickey-Fuller Aumentado, para o caso em que o termo de erro ε_s é correlacionado. Como demonstrado na equação (2), este é conduzido com a adição de valores defasados da variável ΔY_t :

$$\Delta y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta y_{t-1} + \sum_{i=1}^m a_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (16)$$

Onde ε_t é um termo de erro puro de ruído branco, β_1 e β_2 são constantes. O número de lags da variável ΔY_t incluídos é determinado empiricamente, de forma que o termo de erro não possua correlação serial. O termo $\beta_2 t$ inclui uma tendência determinística, enquanto o termo β_1 se aplica para o caso em que há suspeita de que o processo estocástico seja um passeio aleatório com *drift*, em vez de passeio aleatório puro.

3.2 Teste de autocorrelação dos resíduos

Foi observado na literatura que o teste de Ljung - Box apresenta melhores resultados do que o teste de Box - Pierce. As hipóteses do teste são as mesmas, na hipótese nula os resíduos são independentes e identicamente distribuídos (i.i.d.), já na hipótese alternativa os resíduos não são i.i.d.

Calculamos as autocorrelações por:

$$\hat{r}_k = \frac{\sum_{t=k+1}^n \hat{a}_t \hat{a}_{t-k}}{\sum_{t=1}^n \hat{a}_t^2} \quad (17)$$

É possível mostrar que:

$$\hat{r}_k \sim N\left(0, \frac{1}{n}\right) \quad (18)$$

Se o modelo for apropriado, a estatística do teste

$$Q(k) = n(n-2) \sum_{j=1}^K \frac{\hat{r}_j^2}{(n-j)} \quad (19)$$

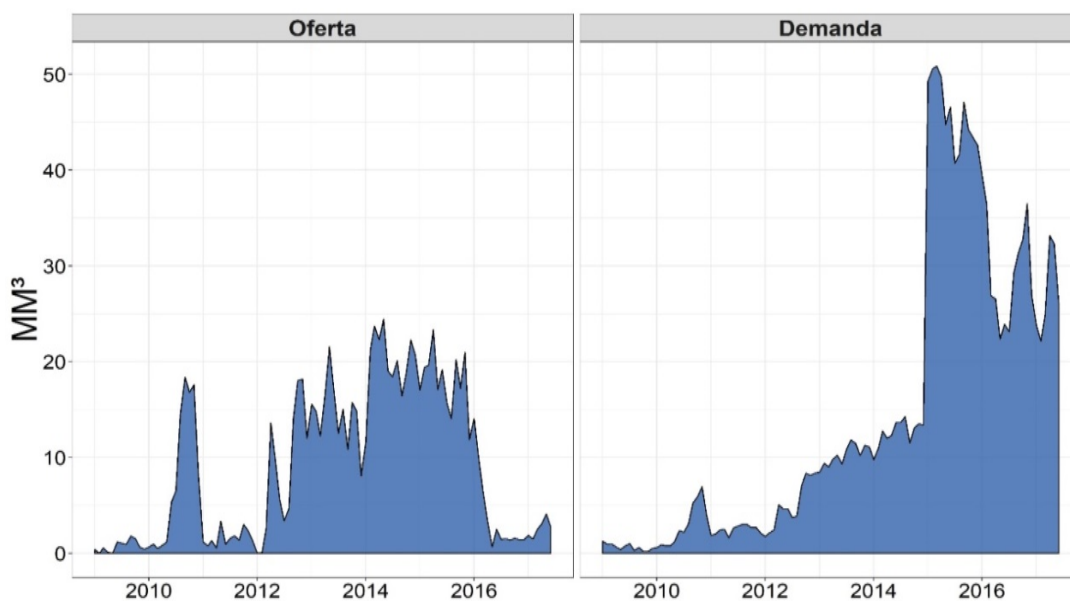
Terá aproximadamente uma distribuição χ^2 com $(K - p - q)$ graus de liberdade, onde K é o número de defasagens tomada na função de autocorrelação, p e q são as ordens do modelo ajustado. Portanto, rejeitamos a hipótese nula se $Q > \chi_{1-\alpha, k-p-q}^2$ com um nível de significância α .

Capítulo 4 - MODELAGEM

4. Análise dos dados de Oferta e Demanda do Gás Natural

Como pode ser observado na Figura 10, existe uma grande variação tanto na oferta, como na demanda do gás natural liquefeito, após o ano de 2010, fica evidenciado um aumento da oferta de GNL e isso se dá em função da criação dos terminais de regaseificação da Baía de Guanabara no Rio de Janeiro e de Pecém no Ceará. Em 2014 há um novo aumento na oferta, que se justifica pela criação do terceiro terminal localizado na Ilha dos Frades na Bahia. A partir de 2016 a oferta é reduzida em função de uma combinação de fatores, como a crise econômica, que levou a demanda de energia elétrica a diminuir, bem como o aumento da oferta de energia elétrica através de outras fontes de energia como eólica e biomassa (GOMES, 2017).

Figura 10 - Séries de Oferta e Demanda



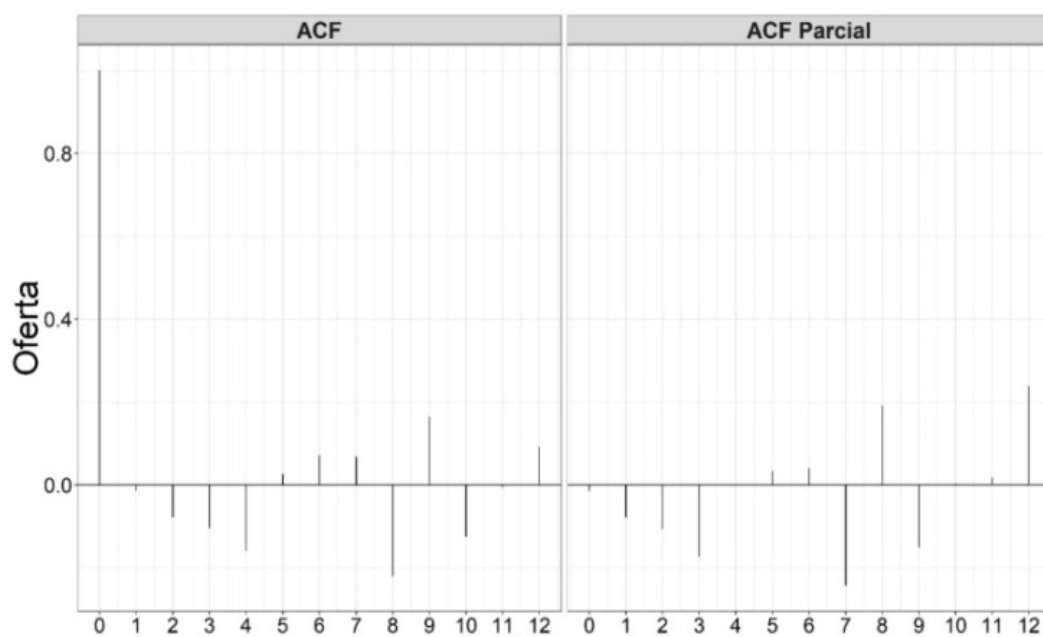
Fonte: Autores.

Quanto à demanda de energia elétrica a partir de gás natural, seu momento de crescimento mais importante se dá entre 2014 e 2015 e sua justificativa é a crise hídrica que o país sofreu nesses anos, ativando as termelétricas. Também é possível avaliar com esse gráfico as características de não-estacionariedade, pois os dados variam na média.

4.1 Autocorrelação Total (ACF) e Autocorrelação Parcial (PACF)

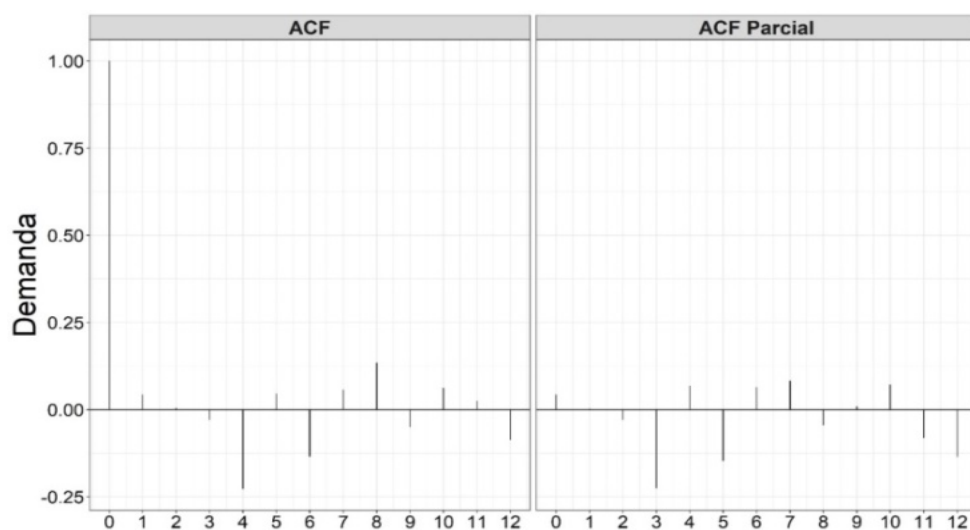
Os testes de autocorrelação total e parcial aplicados nas séries diferenciadas de primeira ordem foram realizados para verificar a estacionariedade das séries como pode ser observado nas Figuras 11 e 12. O valor de ACF diminui rapidamente quando os lags aumentam, isso caracteriza a estacionariedade. Já o teste de PACF demonstra a estacionariedade, pois corta o 0 após k defasagens. Em ambos os testes os dados não são autocorrelacionados.

Figura 11 - Teste de autocorrelação total e parcial dos dados da oferta



Fonte: Autores.

Figura 12 - Teste de autocorrelação total e parcial dos dados da demanda



Fonte: Autores.

4.2 Teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF)

Também para realizar a verificação de estacionariedade, foi utilizado o Teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) que permitiu a compreensão de que a hipótese nula, onde as variáveis possuem uma raiz unitária, ou ordem de integração igual a 1, não é rejeitada. Quando foi aplicado o teste de hipótese nas séries diferenciadas, há um indício estatístico de se rejeitar a hipótese nula, pois as séries se demonstram estacionárias como se vê na Tabela 2.

Tabela 2 – Teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF)

TESTE DE DICKEY FULLER AUMENTADO (ADF)			
OFERTA		DEMANDA	
ADF	-10,047	ADF	-9,3037
p-valor	0,01	p-valor	0,01

Fonte: Autores.

4.3 Verificação

Na etapa de verificação, o modelo que melhor representa os dados de oferta foi o ARIMA (0,1,0) com o AICc no valor de 542,5913 e σ^2 igual a 12,36 como pode ser visto na Tabela 3.

O modelo ARIMA (0,1,0) é conhecido como random walk, ou caminho aleatório, que pode ser considerado um caso limite de um modelo AR (1). Esse modelo específico tem algumas características como as mudanças na série são completamente aleatórias, os impactos dos choques aleatórios não decaem ao longo do tempo, pois o modelo conta com uma forte memória, esses choques tem um efeito permanente na série.

Tabela 3 – Identificação do modelo para dados da oferta

OFERTA	
MODELOS	AICc
ARIMA (2, 1, 2)	
ARIMA (0, 1, 0)	544,6688
ARIMA (1, 1, 0)	546,7718
ARIMA (0, 1, 1)	546,7677
ARIMA (0, 1, 0)	542,5913
ARIMA (1, 1, 1)	546,5553

Fonte: Autores.

A aleatoriedade discutida na verificação do modelo, para a oferta de GNL, pode ser causada porque essa oferta é disponibilizada de acordo com decisões políticas, além de depender de relações comerciais com outros países, seja com os fornecedores de GNL propriamente ditos, como também a quantidade de gás natural que pode ser ofertado principalmente na relação com a Bolívia.

Na verificação do modelo para a demanda também se identificou como melhor modelo o ARIMA (0,1,0), com AICc no valor de 583,9612 e σ^2 igual a 18,61 (Tabela 4).

Para a demanda, a aleatoriedade pode ser explicada principalmente por conta da inserção de novas fontes geradoras de energia elétrica nos últimos anos, pois como foi discutido por Gomes (2017), houve um grande avanço em desenvolvimento de fontes

alternativas de energia elétrica como a criação de parques eólicos e solares, utilização de biomassa, além da volta da estabilidade das usinas hidrelétricas que representa a fonte de maior geração de energia elétrica no país.

Além disso, segundo Romeiro (2018), desde 2017 a demanda térmica mais elevada foi suprida com menor importação de GNL em relação aos anos anteriores. A ampliação significativa da produção nacional e a maior liberdade contratual nos últimos anos do contrato com a Bolívia colaboraram para este resultado (o contrato se encerra em 2019).

Tabela 4 – Identificação do modelo para os dados da demanda

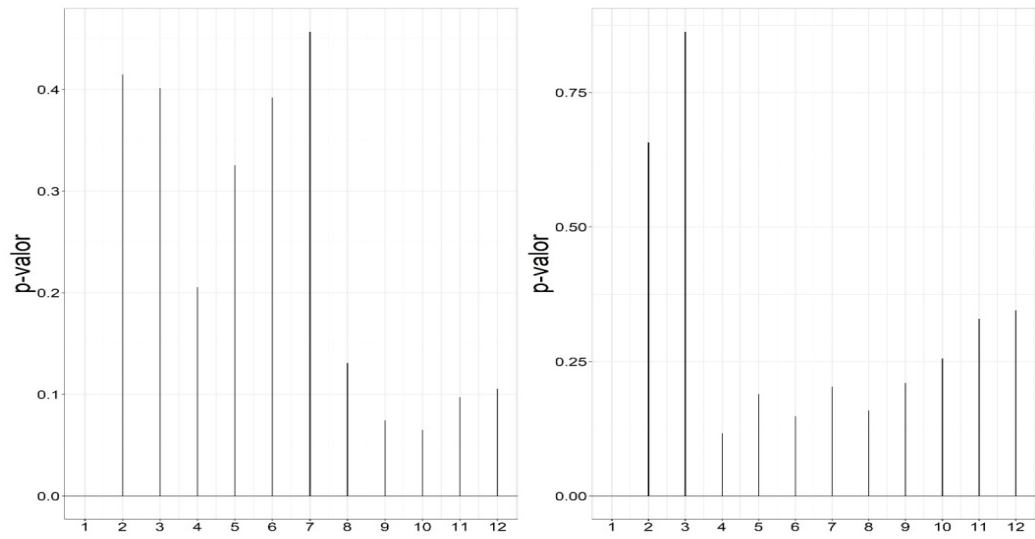
OFERTA	
MODELOS	AICc
ARIMA (2, 1, 2)	
ARIMA (0, 1, 0)	585,7228
ARIMA (1, 1, 0)	587,6579
ARIMA (0, 1, 1)	587,6596
ARIMA (0, 1, 0)	583,9612
ARIMA (1, 1, 1)	589,8270

Fonte: Autores.

4.4 Teste dos resíduos

Utilizando o teste de Ljung-Box (Figura 13) para os modelos de oferta e demanda do GNL, fica evidenciado que os lags no período de um ano tem de maneira geral o p-valor menor que 0,05, o que caracteriza a não autocorrelação dos resíduos, ou também comportamento de ruído branco, o que corrobora a ideia de que os modelos de séries temporais em questão representam bem os dados trabalhados.

Figura 13 - Teste de Ljung-Box para os resíduos



Fonte: Autores

A partir do momento que o modelo verificado é adequado para representar bem os dados, é possível afirmar que este modelo pode ser utilizado para realizar previsões.

Capítulo 5

5. Conclusões

O gás natural teve um avanço enorme de produção e consumo nos últimos anos, muito em função da sua flexibilidade e por ser um combustível menos poluente. Com um mercado bem dinâmico, uma das estratégias adotadas para suprir o mercado mundial foi a utilização de GNL, pois é um subproduto mais limpo e permite um ganho enorme de escala ao ser transportado no formato líquido.

O Brasil iniciou a importação de GNL para suprimento da demanda nacional de energia elétrica a partir de 2009, de modo a flexibilizar a oferta de gás natural, diminuindo a dependência em relação ao fornecimento boliviano, para isso construiu alguns terminais de regaseificação.

O presente trabalho descreveu o comportamento das séries temporais referentes à oferta e demanda do GNL no Brasil de 2009 até 2017, para essa finalidade foi identificado o modelo ARIMA (0,1,0) para ambas situações de avaliação como melhor modelo de representação dos dados.

Foi percebido que o modelo em questão se caracteriza por representar dados que são bastante aleatórios e foi realizada uma discussão sobre o que pode causar tamanha aleatoriedade para a oferta e demanda do gás natural liquefeito, como: as incertezas em relação ao suprimento nacional e boliviano, variações nos preços de mercado do GNL, causados pela dinâmica do mercado spot, como também pelo custo de transporte marítimo. Também foi discutida a relação entre a inserção de novas fontes de geração elétrica e sua influência sobre a demanda de gás natural para geração termoelétrica. A utilização de fontes diferentes para geração de energia reduziu sensivelmente a importação de GNL em 2016, ocasionando ociosidade nos terminais de regaseificação.

5.1 Proposta de trabalhos futuros

Os autores recomendam a realização de estudos para compreensão das características temporais de outras fontes de energia elétrica para o sistema de abastecimento brasileiro, de modo a realizar comparações entre os modelos encontrados e investigar as relações de aleatoriedade de cada uma dessas fontes.

Também é visto como caminho interessante de pesquisa a utilização do método GARCH para uma análise multivariada dos dados de oferta e demanda, podendo observar os aspectos de volatilidade.

Outra proposta de pesquisa futura pode ser a utilização de cópulas vine para a avaliação da dependência entre variáveis de uma análise multivariada nas relações de oferta e demanda de gás natural.

Referências

ANISIE, A. Natural Gas Pricing and Competitiveness: The Impact of Natural Gas Prices upon the industry's dynamics. Master Thesis: UFRJ. 2014.

ANP, O Gás Natural Liquefeito no Brasil: Experiência da ANP na implantação dos projetos de importação de GNL. Rio de Janeiro, 2010.

AZEVEDO, J. S. Gabrielli de, Mudanças no Mercado de GNL Intensificam Disputas Geopolíticas. Brasil Debate, 2017. *Acessado em Junho de 2018.*

ANP, Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás e Biocombustíveis. Rio de Janeiro, 2016.

BAHIAGAS – Composição do Gás Natural. *Acessado em Julho de 2018.*

BILGILI, F.; KOÇAK, E.; BULUT, U.; SUALP, M. N., How did the US economy react to shale gas production revolution? Na advanced time series approach. Energy, 2016.
[dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.056](https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.056).

BLAKWELL, B.; SKAAR, H. Delivering The World' First FSRUs. In: 24th World Gas Conference. Buenos Aires, 2009.

Boletim Mensal de Energia – Ministério de Minas e Energia – MME. Janeiro de 2017. *Acessado em 25 de agosto de 2017.*

Boletim Mensal do Gás Natural – Ministério de Minas e Energia – MME. Abril de 2017. *Acessado em 20 de Agosto de 2017.*

BOX, G.E.P. and JENKINS, G.M. Time Series Analysis: Forecasting and Control. San Francisco: Holden-Day. 1976.

CANALE, A.; VANTINI, S., Constrained functional time series: Applications to the Italian gas market. International Journal of Forecasting, 2016. [dx.doi.org/10.1016/j.ijforecast.2016.05.002](https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2016.05.002).

CARRERA ZAMALLOA, G. A., Avaliação de alternativas tecnológicas (GNL e GTL) para a viabilização de jazidas de gás natural remotas em países em desenvolvimento. Estudo de caso: jazida de Camisea no Peru. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Programa de Interunidades de Pós-Graduação em Energia, 2004.

CNI – Confederação Nacional da Indústria, Reestruturação do setor de Gás Natural: uma agenda regulatória. Brasília, 2016.

CNPE – Conselho Nacional de Política Energética. Ministério de Minas e Energia – MME. Resolução nº4 de 21 de Novembro de 2006.

DEBNATH, K. B; MOURSHED, M., Forecasting methods in energy planning models, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018. doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.002.

DICKEY, D.A. and FULLER, W.A. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root, *Journal of the American Statistical Association*, 1979.

EDIGER, V. S.; AKAR, S., ARIMA forecasting of primary energy demand by fuel in Turkey. *Energy Policy*, 2007. doi.10.1016/j.enpol.2006.05.009.

EHLERS, R.S. *Análise de Séries Temporais*. Departamento de Estatística, UFPR. 2005. Disponível em <http://leg.est.ufpr.br/~ehlers/notas>. Acessado em: Junho de 2018.

Enders, W. *Applied Econometric Time Series*. John Wiley and Sons. 2004.

GASMIG – Composição do Gás Natural. *Acessado em Julho de 2018*.

GILBERT, A. Q.; SOVACOOOL, B.K., US Liquefied Natural Gas (LNG) Exports: Boom or Bust for the Global Climate?, *Energy*, 2017. doi: 10.1016/j.energy. 2017.11.098.

GOMES, I. *The vanishing LNG Market in Brazil*. University of Oxford, 2017.

GUJARATI, D. *Basic Econometrics*. 4 ed. The McGraw-Hill Companies, 2004.

HAKONEN, A., KARLSSON, A., LINDMAN, L., BÜKER, O., ARRHENIUS, K., Particles in fuel-grade Liquefied Natural Gas. *Journal of Natural Gas Science & Engineering*, 2018. doi: 10.1016/j.jngse.2018.05.005.

HALLACK, M. Os tempos e os desafios das escolhas atuais da indústria de gás natural no Brasil. *Blog Infopetro*, 2016. *Acessado em 15 de Agosto de 2017*.

Internacional Energy Agency – IEA. *Market Analysis and Forecasts to 2020. Gas Medium-Term Market Report*, 2015.

International Gas Union – IGU. *IGU World LNG Report*. 2017.

IPEA. *O que é mercado spot?*. *Acessado em Julho de 2018*.

JIN, J. KIM, J. Forecasting Natural Gas Prices Using Wavelets, Time Series, and Artificial Neural Networks. *PLOS ONE*, 2015. doi:10.1371/journal.pone.0142064.

- LIMA JUNIOR, A. V., Aplicação e Performance da Análise de Intervenção em Séries de Emissão de gases poluentes na cidade do México. Dissertação. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, RS, 2016.
- LOSEKANN, L. HALLACK, M. Novas energias renováveis no Brasil: desafios e oportunidades. Blog Infopetro, 2017. *Acessado em Junho de 2017.*
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. Acessado em Janeiro de 2018.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Plano Nacional de Energia 2030, 2007.
- MISUND, B; OGLEND, A., Supply and demand determinants of natural gas price volatility in the U.K.: A vector autoregression approach. *Energy*, 2016. [dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.124](https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.124).
- MORETTIN, P.A., TOLOI, C.M. Métodos Quantitativos: séries temporais. São Paulo. 1986.
- MORETTIN, P. A., TOLOI, C. M. Análise de Séries Temporais. São Paulo: Edgard Blucher. 2004.
- MORETTIN, P. A. Econometria financeira: um curso de séries temporais financeiras. São Paulo: Blucher, 2008.
- MSAKNI, M. K.; HAOUARI, M., Short-term planning of liquefied natural gas deliveries. *Transportation Research Part C*, 2018. doi.org/10.1016/j.trc.2018.03.013.
- NICHIFOROV, C. et al. Energy consumption forecasting using ARIMA and neural network models. In: *Electrical and Electronics Engineering (ISEEE), 2017 5th International Symposium on*. IEEE, 2017. p. 1-4.
- OGLEND, A.; KLEPPE, T. S.; OSMUNDSEN, P., Trade with Endogenous Transportation Costs: The Case of Liquefied Natural Gas, *Energy Economics*, 2016. [doi: 10.1016/j.eneco.2016.08.01](https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.08.01).
- PETROBRAS. “Petrobras inicia operação de seu terceiro Terminal de Regaseificação de GNL”, 2014.
- PETROBRAS. Discussão sobre o papel de Coordenação do Mercado de Gás Natural no Brasil. 1ª Oficina de Trabalho Gás para Crescer. 2016.
- PORTAL ACTION. Estatcamp- Consultoria em estatística e qualidade, São Carlos - SP, Brasil. Acessado em Março de 2018.
- PRADE, Y. C. Uma análise da demanda de gás natural no Brasil: uma perspectiva metodológica. Dissertação. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Economia. Programa de Pós-Graduação em Economia, RJ, 2014.

PRADE, Y. C. O mercado de GNL do futuro: risco ou oportunidade para o Brasil?. Blog Infopetro, 2015. Acessado em 20 de Fevereiro de 2018.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>, 2017.

RAMOS, M. A., Desenvolvimento de Metodologia Bayesiana de Análise Quantitativa de Risco para Terminais Offshore de GNL: Aplicação para o Porto de Suape. Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Tecnologia e Geociências. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. PE, 2012.

ROMEIRO, D. As indefinições da indústria do gás no Brasil. Blog Infopetro, 2016. *Acessado em Junho de 2018.*

ROMEIRO, D. Protagonismo da geração térmica a gás no Brasil – gás para crescer ou para se desenvolver?. Blog Infopetro, 2018. *Acessado em Junho de 2018.*

SHAHBAZ, M; KHRAIEF, N; MAHALIK, M. K.; ZAMAN, K. U., Are fluctuations in natural gas consumption per capita transitory? Evidence from time series and panel unit root tests. Energy, 2014. [dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.09.080](https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.09.080).

STRADIOTO, D. A., Análise energética e exergética da cadeia do gás natural líquido e a integração do processo de regaseificação com ciclos combinados de potência. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. RS, 2011.

ZHANG, X. N.; ZHONG, Q. Y.; QU, Y.; LI, H. L., Liquefied Natural Gas Importing Security Strategy Considering Multi-Factor A Multi-Objective Programming Approach, Expert Systems With Applications, 2017. doi: 10.1016/j.eswa.2017.05.077.

Apêndice A – Script do R

```
##### PACKAGES #####

# 01 - Inserindo pacotes

if (!require("dplyr")) install.packages("dplyr") ; library(dplyr)
if (!require("zoo")) install.packages("zoo") ; library(zoo)
if (!require("tseries")) install.packages("tseries") ; library(tseries)
if (!require("forecast")) install.packages("forecast") ; library(forecast)
if (!require("reshape2")) install.packages("reshape2") ; library("reshape2")
if (!require("scales")) install.packages("scales") ; library("scales")
if (!require("ggplot2")) install.packages("ggplot2") ; library("ggplot2")
if (!require("gridExtra")) install.packages("gridExtra") ; library("gridExtra")

# 02 - Carregando Dados #####

dados <- read.delim2(file = "gnv.txt") #read.delim2 <- carrega os dados
gnv <- dados %>%

  mutate(data = as.Date(as.yearmon(dados$data, "%b/%y"))) %>%

  as_tibble()

# 03 - Transformando em Série Temporal #####

gnv <- gnv %>%

  ts(frequency = 12) #transformar em série temporal

# Teste de Autocorrelação (ESTUDAR autocorrelação total e parcial)

# Para Oferta

a <- acf(diff(gnv1), main = "ACF")
b <- pacf(diff(gnv1), main = "ACF Parcial")

### Para Demanda
```

```

c <- acf(diff(gnv2), main = "ACF")
d <- pacf(diff((gnv2)), main = "ACF Parcial")

# Auto Arima

auto.arima(gnv1, max.order = 3, trace = TRUE, ic = c ("aicc"))

auto.arima(gnv2, max.order = 3, trace = TRUE, ic = c ("aicc"))

# Para os Resíduos

fit<-arima(gnv1,c(0,1,0))
lags<-c(seq(from = 1, to = 12, by = 1))
res1<-resid(fit)

fit<-arima(gnv2,c(0,1,0))
res2<-resid(fit)

l <- LjungBox(res1, lags, order=1) %>%
l1 <- LjungBox(res2, lags, order=1) %>%

```


Apêndice B - Lista de Publicações

MICHELENA, B. D. ; AVILA FILHO, S.; GAUDENCIO, F. . **Risk Analysis in the production chain of revaporization of liquefied natural gas (LNG):** a study involving the Bahia terminal. RioPipeline Conference and Exposition 2015. Rio de Janeiro. 2015.

MICHELENA, B. D.; ESQUERRE, KARLA; BARRETO, T. B.; AVILA FILHO, S.; **Modelo ARIMA para compreensão das variações de Oferta e Demanda do Gás Natural Liquefeito no Brasil.** III Seminário Internacional de Estatística com R – SER UFF. Rio de Janeiro. 2018.

UFBA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI

Rua Aristides Novis, 02, 6º andar, Federação, Salvador BA
CEP: 40.210-630
Telefone: (71) 3283-9800
E-mail: pei@ufba.br
Home page: <http://www.pei.ufba.br>

