



# Previsão da produção de fontes renováveis e não renováveis selecionadas da matriz energética brasileira

## *Forecasting the production of renewable and non-renewable sources selected from the Brazilian energy matrix*

Maria Beatriz Cunha Pinheiro\* | José de Jesus Sousa Lemos\*\*  
Vitor Hugo Miro Couto Silva\*\*\* | Kilmer Coelho Campos\*\*\*\*

<http://dx.doi.org/10.51861/ded.dmvu.2.013>

Recebido em 29 de dezembro de 2020. Aceito em 4 de junho de 2021.

### Resumo

O estudo avaliou a evolução das produções relativas de fontes renováveis e não renováveis da Matriz Energética Brasileira entre os anos de 1970 e 2019. Foram estimados modelos de previsão para cada fonte energética e avaliaram-se os possíveis impactos dos preços do barril de petróleo sobre a previsão da produção dessas fontes. Os dados foram extraídos da *International Energy Agency* (IEA) e Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Elaboraram-se previsões para o período de 2021 a 2030 e optou-se pelo modelo Box-Jenkins. Para tanto utilizaram-se três cenários de oscilação dos preços do petróleo. Os ajustamentos obtidos foram robustos, de um ponto de vista estatístico, e os resultados da pesquisa mostraram que, com exceção da lenha, as produções de todas as fontes energéticas avaliadas se mostraram sensíveis às alterações nos níveis de preços do barril de petróleo. Desta forma, foram feitas as projeções com base nos cenários criados no estudo.

**Palavras-chave:** Energias renováveis e não renováveis; Sustentabilidade energética; Cenários de Preços de Petróleo; Instabilidade energética.

### Abstract

*The study evaluated the relative production evolution of renewable and non-renewable sources composing the Brazilian Energy Matrix production from 1970 to 2019. There were estimated forecast models for each energy sources and evaluated the possible impacts of oil barrel prices over the forecast of their production. The data used come from the International Energy Agency (IEA) and Empresa de Pesquisa Energética (EPE). It was chosen the Box-Jenkins model to build the forecasts for the period 2021 to 2030. In order to do this, we used three scenarios to evaluate the oscillations of oil prices. The adjustments obtained were robust, from a statistical point of view, and the results of the research showed that, with the exception of firewood, the production of all evaluated energy sources was sensitive to changes in oil barrel price levels. In this way, projections were made based on the scenarios created in the study.*

**Keywords:** Renewable and non-renewable energies; Sustainable energy; Oil Prices Scenarios; Energy instability.

\* Maria Beatriz Cunha Pinheiro

Economista. Mestre em Economia Rural pelo Programa de Pós Graduação em Economia Rural da Universidade Federal do Ceará (PPGER/UFC). Departamento de Economia Agrícola (DEA).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0440-4128>. E-mail: [mrbeatrizpinheiro@gmail.com](mailto:mrbeatrizpinheiro@gmail.com)

\*\* José de Jesus Sousa Lemos

Engenheiro Agrônomo. Pós-doutor em Economia Rural, dos Recursos Naturais e do Meio Ambiente. Professor Titular do DEA (UFC). Coordenador do Laboratório do Semiárido (LabSar).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2169-1360>. E-mail: [lemos@ufc.br](mailto:lemos@ufc.br)

\*\*\* Vitor Hugo Miro Couto Silva

Professor do Departamento de Economia Agrícola e do Programa de Pós-Graduação em Economia Rural da Universidade Federal do Ceará (UFC) e doutor em Economia (CAEN/UFC).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5392-8764>. E-mail: [vitmirmiro@ufc.br](mailto:vitmirmiro@ufc.br)

\*\*\*\* Kilmer Coelho Campos

Professor Associado II do Departamento de Economia Agrícola da Universidade Federal do Ceará e Doutor em Economia Aplicada pela Universidade Federal de Viçosa.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7752-2542>. E-mail: [kilmer@ufc.br](mailto:kilmer@ufc.br)

Universidade Federal do Ceará (UFC), Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Economia Agrícola, Av. Mister Hull, 2977 - Campus do Pici, Bloco 826, Pici, Fortaleza, Ceará.

## INTRODUÇÃO

O fornecimento energético é de grande relevância nas relações econômicas por ser considerado insumo produtivo, fator de desenvolvimento das cidades e um condicionante para o incremento do Produto Interno Bruto (PIB) de um país, ainda que o abastecimento de energia tenha pequeno percentual de participação direta no PIB. Este entendimento é uniforme na literatura, visto que a precariedade na produção e na distribuição de energia inviabiliza as atividades econômicas de um país (KENNEDY & BACHMANN, 2016).

Para qualquer economia moderna, incluindo a brasileira, o suprimento energético se constitui em um dos mais relevantes direcionadores do crescimento econômico. A privação de uma adequada infraestrutura, na qual inclui o fornecimento de energia, resulta em um aumento das importações de petróleo bem como dos seus derivados e, conseqüentemente, afeta a balança comercial do país (MATTOS *et al.*, 2008).

As duas crises do petróleo de 1973 e 1979 provocaram um estado de alerta no Brasil na década de 1970. Naquela ocasião, houve uma redução na produção e na oferta de petróleo por parte dos principais países produtores, que haviam se cartelizado na Organização dos Países Exportadores do Petróleo (OPEP), tendo como um dos objetivos controlar a oferta do produto bruto e, por essa via, elevar os seus preços o que, de fato, aconteceu no início daquela década. Conseqüentemente, verificou-se um aumento generalizado nos preços desta *commodity*. Com uma pequena fração de autonomia na produção de petróleo, o Brasil buscou, pela primeira vez, diversificar a sua matriz energética, principalmente no direcionamento de investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), com o objetivo de criar fontes de energias alternativas. Com efeito, em 1975, inaugurou-se o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), que tinha como principal propósito diminuir o uso de combustíveis fósseis e produzir combustíveis a partir da biomassa, sobretudo a cana-de-açúcar em veículos automotores (MORAES & BACCHI, 2014).

Entre os anos de 1970 e 1990, a lenha, que até então era uma das principais fontes energéticas, experimentou redução em seu consumo de 2,9% ao ano. Após as crises dos anos de 1970, o Brasil passou a investir em fontes de energias hidráulicas e oriundas da cana-de-açúcar, cujas taxas de crescimento atingiram 6,6% ao ano no período de 1970 a 2005 (BRONZATTI & NETO, 2008).

Em 2001, o país encarou mais um desafio no setor energético. Desta vez a crise ocorreu no setor de energia elétrica, que forçou, por diversas vezes, o governo de então a adotar programas de racionamento. Pires *et al.* (2002) destacam que a crise no setor elétrico foi uma junção de fatores ocorridos nesse período, determinada por uma crise financeira e a ausência de um

modelo regulatório adequado ao setor. Desde então foram criadas diversas ações visando garantir um abastecimento padrão de energia, dentre as quais, cabe destaque as criações de planos decenais que buscavam a ampliação do fornecimento. Além disso, as ações deveriam contar com a previsão de consumo interno.

A expansão da demanda por recursos energéticos é um cenário observado em todo o mundo. Uma vez que combustíveis fósseis ainda detêm a primazia no consumo e, por ser um recurso finito, tornou-se uma preocupação em discussões sobre eficiência e conservação de energia. Isto significa que há uma necessidade de diversificação e viabilização da produção por outras fontes energéticas (BEZERRA, 2016).

De acordo com a Resenha Energética Brasileira (BRASIL, 2018a) houve um esforço para reduzir a participação do petróleo e seus derivados nas matrizes energéticas de países desenvolvidos. Nos países que compõem o bloco da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) a redução foi de 16,7 pontos percentuais da participação do petróleo e dos seus derivados entre os anos de 1973 e 2017. No Brasil, esta mesma fonte, a retração foi de 9,4%, esse contexto evidenciou que o país seguia a tendência mundial. Dentre as causas da redução do uso de combustíveis fósseis destaca-se os choques nos preços do petróleo ocorridos na década de 1970, já discutidas neste texto. Entretanto, o cenário mudou a partir de 2016, com a redução nos preços do barril de petróleo, desde então tem-se observado uma reversão nesta tendência.

Outro destaque dado pela Resenha Energética Brasileira (BRASIL, 2018a) diz respeito aos déficits líquidos na demanda total por derivados de petróleo que reduziu de 339 mil bep/dia para 160 mil bep/dia, observados em 2013 e 2014, respectivamente. Em decorrência desses déficits, a matriz energética brasileira passou a se utilizar de recursos hídricos e fósseis, uma vez que a geração de energia elétrica é quase que totalmente gerada pela força das águas e, somente recentemente passaram a ser usadas outras fontes de energias como a eólica e a energia solar.

Mujiyanto e Tiess (2013), Guerra *et al.* (2014) e Silveira (2017), concordam que para qualquer país, são necessários investimentos em políticas de conscientização do consumo e em desenvolvimento tecnológico que visem a eficiência e o barateamento da energia, além de priorizar a diversificação da sua matriz energética, não somente devido às preocupações ambientais, mas também pela manutenção das atividades econômicas.

A partir desta explanação, e visto que a produção de petróleo é oligopolizada em que decisões de produção possuem influência direta na definição dos preços, conclui-se que há instabilidade no fornecimento de energia que,

consequentemente, compromete o planejamento energético para um futuro próximo. Por essa sinergia de fatores surgiu o seguinte questionamento: mudanças nos preços do barril de petróleo influenciarão a composição da matriz energética do Brasil a ponto de mudar o seu perfil de produção, tendo em vista o abastecimento da demanda interna como meta de longo prazo?

A indagação anterior está fundamentada nos interesses de um suprimento energético para uma crescente demanda interna de energia, além de buscar respostas que se adéquem a um projeto de crescimento econômico sustentável. Um projeto assim dependerá fortemente do abastecimento energético. Desta forma, faz-se necessário testar, como hipótese se oscilações imprevisíveis nos preços do barril irão comprometer a produção interna das principais fontes de energia.

Assim, o presente estudo tem como objetivos: a) avaliar a participação relativa de cada uma das fontes estudadas na produção total delas em cada ano; b) estimar modelos de previsão de produção no Brasil para período de 2021 a 2030 dessas fontes de energias renováveis e não renováveis ancoradas em cenários propostos para as variações internacionais dos preços do barril de petróleo.

Guerra *et al.* (2014) enfatizam que um crescente número de pesquisadores concorda com o final da era de utilização de energia fossilizada e do barateamento do petróleo e, por conseguinte, há a necessidade de substituí-lo por energias renováveis, mesmo que os esforços políticos ainda sejam insignificantes diante das responsabilidades sociais e ecológicas. Ademais, a crescente escassez dos recursos e os aumentos nos preços do petróleo tendem a forçar essas mudanças.

O estudo da previsão de produção de energia advinda de fontes diferentes pode ser de grande relevância para subsidiar o planejamento energético e ajudar na elaboração de políticas que garantam segurança nesse fundamental setor estratégico para um País. Ademais, por meio de estudos dessa natureza, torna-se possível estimar os investimentos necessários em infraestrutura e em pesquisa e desenvolvimento (BRASIL, 2018b).

Há vários estudos desenvolvidos no tocante ao Brasil que visam, principalmente, analisar o consumo de energia elétrica. Por exemplo, Silveira (2017) que por meio de pesquisa bibliográfica verificou dificuldades de manutenção em longo prazo da Matriz Energética Brasileira por ainda depender bastante de fontes não renováveis como maiores provedoras das suas fontes primárias. Neste mesmo sentido, Bondarik, Pilatti e Horst (2018) concluíram que é necessário para o país fortalecer programas de geração de energia elétrica a partir de fontes alternativas, como a produção de energia a partir da biomassa. Enquanto isso, na literatura internacional, existe vários estudos que

buscam prever o consumo e a oferta de energia por meio de estimações econométricas para determinadas regiões. Nesta perspectiva, este estudo poderá contribuir para fazer previsões de produções de fontes renováveis (hídrica, lenha e cana de açúcar) e não renováveis (petróleo e gás natural) de energia para o Brasil.

Além dessa seção introdutória, o estudo é composto por mais quatro seções. Na segunda seção, apresenta-se o contexto histórico, evolução e composição da Matriz Energética Brasileira, e as evidências empíricas relativas aos modelos de previsões de produção de fontes energéticas. Na terceira seção são apresentados as fontes de dados e os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa. Posteriormente, na quarta seção são mostrados os resultados para, finalmente, na quinta seção serem apresentadas as conclusões.

## REVISÃO DE LITERATURA

O fornecimento de energia é condição fundamental para fomentar um crescimento econômico sustentável, por ser um insumo primordial à indústria, ao comércio, aos serviços, e demais setores, além de proporcionar bem-estar social (PAIXÃO & MIRANDA, 2018).

Dranka e Ferreira (2018) acrescentam que o consumo de energia, em geral, é uma característica comum às nações em desenvolvimento, é o caso do Brasil. Desta forma, a temática energética é frequentemente debatida e analisada na literatura sob diferentes abordagens.

### Contexto histórico e evolução da Matriz Energética Brasileira

O Brasil, peculiarmente, dispõe de diferentes matérias-primas que podem ser utilizadas na geração de energia. Ainda que essa disponibilidade ocorra em quantidades e localidades heterogêneas, isto não foi uma dificuldade para que houvesse o suprimento da demanda interna, tampouco para a dependência externa do petróleo.

Diante do cenário biofísico heterogêneo do Brasil, a Matriz Energética Brasileira foi inicialmente explorada a partir da necessidade de desenvolvimento do sistema de transportes e da indústria. Logo nos primórdios da industrialização brasileira, utilizou-se a queima da lenha, em que o consumo chegou a atingir mais de 75% do consumo energético (EPE, 2007).

Desde então foram surgindo necessidades de diversificação da matriz brasileira que fossem capazes de suprir as demandas energéticas do país no contexto de um acentuado crescimento urbano e industrial, no qual se destacam o uso da eletricidade para a indústria, para as famílias e para o transporte. Além disso, eram requeridos suprimentos de gás e petróleo (CEMIG, 2012; EPE, 2007).

No período compreendido entre as décadas de 1940 e 1960 a produção energética brasileira era predominantemente estatal, sendo o abastecimento interno garantido pela criação de grandes empresas como Petrobrás e a Eletrobrás. O monopólio energético brasileiro, juntamente com as regulamentações de custos de serviços operou de forma eficiente por longos anos, proporcionando a expansão da capacidade energética do país (GUERRA *et al.*, 2014).

A partir dos anos de 1960, durante o governo militar, ocorreram aumentos consideráveis no consumo energético, impulsionados pelas grandes construções nos setores de transportes e civil, cujo objetivo era o progresso nacional. Nesse mesmo período, a expansão da Matriz Energética Brasileira foi ampliada por meio das edificações de usinas hidroelétricas e investimentos iniciais na produção de energia nuclear. Entre essas, se destacam as usinas da Ilha Solteira, de Tucuruí e a Usina de Itaipu, além da construção das usinas nucleares de Angra 1 e Angra 2 (SILVEIRA, 2017).

Nos anos de 1970, em que ocorreram crises de abastecimentos e choques nos preços do petróleo, os investimentos em pesquisas e desenvolvimento nessa área energética, foram direcionados para a produção de álcool que, até então, era subproduto da indústria açucareira. Essa estratégia foi desenhada com intuito de transformar o álcool em mais uma forma de combustível. Dessa forma, foi criado, em 14 de novembro de 1975, o Programa Nacional do Álcool ou *Proálcool*, por meio do decreto n° 76.593, com o objetivo de estimular a produção do álcool brasileiro. O decreto previa que a produção do álcool seria oriunda da cana-de-açúcar, da mandioca ou de qualquer outro insumo e, além do mais, deveria ser incentivada por meio da expansão da oferta de matérias-primas, com especial ênfase no aumento da produção agrícola, da modernização e ampliação das destilarias existentes bem como da instalação de novas unidades produtoras, anexas a usinas ou autônomas, e de unidades armazenadoras (BRASIL, 1975).

O propósito inicial do programa era de promover a substituição, quase que total, dos derivados de petróleo por álcool. Mais tarde, o Proálcool receberia maiores investimentos devido ao segundo choque nos preços do barril de petróleo. Concomitantemente, a indústria automobilística brasileira foi estimulada a produzir carros que tinham como combustível aquela nova fonte de energia renovável (MORAES & BACCHI, 2014).

Ainda nos anos 1970, a crise do petróleo obrigou o governo a impor regulamentações na venda de combustíveis. Uma dessas regulamentações era a mistura de 10% do álcool anidro na gasolina. Entretanto, em 1979 surgiram problemas relativos a qualidade do etanol e a tecnologia dos carros da época, estimulando as inovações nas indústrias açucareiras e automobilísticas que

passaram a adaptar seus veículos ao novo tipo de combustível (STATTMAN, HOSPES & MOL, 2013).

A consequência desse investimento foi um desenvolvimento no setor açucareiro que, a partir da produção de etanol, atingiu um crescimento superior à 280% em 20 anos, além de um aumento na frota de veículos abastecidos por álcool que alcançou a marca de 4,6 milhões. Finalmente, o setor da produção de cana-de-açúcar passou a incorporar a Matriz Energética Brasileira em 10% do total de energia por ela produzida (OLIVEIRA, 2002).

Com um vigoroso crescimento econômico e demográfico, a demanda brasileira por energia no século XX também acompanhou esse mesmo ritmo. Por um lado, de acordo os dados da época, em 1970 o consumo interno foi estimado em 68,01 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (*tep*), em uma população de 93 milhões de habitantes. Por outro lado, na virada do século a demanda por energia mais que dobrou, atingindo 197,06 milhões de *tep* com uma população aproximada de 170 milhões de pessoas (TOLMASQUIM, GUERREIRO & GORINI, 2007).

Na década de 1990 houve um crescimento de 49% no consumo energético, incluindo a demanda de combustível por veículos automotores e eletricidade pelos domicílios e indústrias. Contudo, a capacidade instalada expandiu em apenas 35%. Diante de uma possível crise no abastecimento, o sistema termelétrico do Brasil foi acionado, adiando o racionamento de energia. O uso das reservas de água também foi um meio encontrado para suprir este descompasso entre consumo e oferta de energia. O uso destas fontes gerou riscos de déficits energéticos cada vez mais crescentes (TOLMASQUIM, 2000).

Essa conjunção de fatos fez com que, em 2 de julho de 2003, fosse assinado um decreto da Presidência da República que instituiu um grupo de trabalho encarregado de fazer estudos a respeito da viabilidade de acrescentar o biodiesel como uma fonte de energia alternativa. Assim, foi elaborado um relatório que serviu para estabelecer o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). Juntamente com esses estudos, foi estabelecido um marco regulatório para o setor de bicomcombustíveis que considerou a diversidade de oleaginosas disponibilizadas no Brasil como garantia de suprimento e qualidade frente aos combustíveis existentes no País (CASTRO, 2011).

O Brasil se tornou autossuficiente na produção de petróleo em 2006 quando foi anunciado pela Petrobrás extensas reservas dessa fonte e de gás nas camadas de pré-sal nos litorais do Espírito Santo e de São Paulo. Neste mesmo período também se observou um crescimento da demanda por bio-combustíveis. Com isso, além da preocupação com questões ambientais, o interesse brasileiro em diversificar a sua matriz energética concentrara-se,

principalmente, na inserção de fontes alternativas à gasolina, seja no mercado interno ou no mercado externo (KOHLHEPP, 2010).

Nas últimas décadas o setor energético brasileiro tem passado por diversas mudanças na composição de sua matriz. Cabe destacar que a produção e o consumo de gás natural aumentaram e, por esta razão, foram desenvolvidas maiores infraestruturas para o transporte e importação do produto. Ademais, foram descobertas novas reservas de gás natural no assoalho marítimo que ainda precisam de instalações próprias para o seu armazenamento e, conseqüentemente, um fomento para essa indústria (CONFORT & MOTHE, 2014).

### Composição da Matriz Energética Brasileira

Em termos de energia primária *per capita*, o Brasil pode ser considerado eficiente energeticamente, pois obtém resultados econômicos iguais à média *per capita* mundial. Contudo, para garantir maior progresso econômico é preciso aumentar a disponibilidade de energia visando sempre ganhos na qualidade de vida da população (GOLDEMBERG & MOREIRA, 2005).

De acordo com o Balanço Energético Nacional, em 2017, o total de energia disponibilizada no Brasil alcançou 291Mtep (*Megateps*) que se comparando ao ano observa-se um aumento de 1,3%. Este crescimento foi motivado pelo incremento nas ofertas de gás natural e energia eólica, isso também contribuiu para a retomada da atividade econômica em 2017, após anos recessivos em 2015 e 2016 e tendo um crescimento de 1% no PIB brasileiro em relação ao ano anterior. Outro destaque de 2017 foi a elevação da participação de energias alternativas na Matriz Energética Brasileira que manteve o Brasil como um dos maiores produtores de energias renováveis (EPE, 2018a).

Para Goldemberg e Lucon (2007), o Brasil se tornou uma referência mundial no estudo e desenvolvimento petrolífero. Isso garantiu ao país autossuficiência na produção de petróleo com o descobrimento da camada de pré-sal.

Os primeiros indícios de reserva de petróleo da camada de pré-sal datam de 2005, na cidade de Santos/São Paulo. Isso motivou explorações adicionais e prosseguimento dos estudos, que resultaram na descoberta de um segundo poço contendo volumes equivalentes entre cinco e oito bilhões de barris de petróleo e gás natural (SCHIAVI & HOFFMANN, 2015).

Na Matriz Energética Brasileira também cabe destaque para o gás natural, cuja oferta poderá crescer até 2050 com a descoberta das reservas do pré-sal. A referida fonte energética pode ter condições de competir com o gás natural

importado, principalmente o vindo da Bolívia, fato que influenciará diretamente nas definições de preços dos insumos no Brasil (EPE, 2018b).

O sistema de geração de energia brasileiro tem evoluído na busca por incrementos alternativos para geração de energia, mesmo havendo um crescimento discreto, existem incentivos governamentais para o desenvolvimento de bicomcombustíveis (LAMAS & GIACAGLIA, 2013). De acordo com a Resolução CNPE n° 16, de 29 de outubro de 2018, deve haver um aumento de 1% no percentual da participação de biodiesel no diesel a partir de 2019, isto acarretará um crescimento de 15% em volume até 2023 (BRASIL, 2018c).

Entre as fontes de energia alternativas produzidas no Brasil, cabe destacar a produção de bicomcombustíveis, tendo a cana-de-açúcar como um dos principais insumos para a produção de etanol, e as áreas produtoras de soja e mamona, que são matérias primas utilizadas na extração de biodiesel. As plantações dessas lavouras têm se expandido anualmente, com quantidades recorde de colheita (KOHLHEPP, 2010).

No Brasil, o etanol tem a tecnologia mais avançada para ser produzido, o que a produtividade da cana-de-açúcar na geração de etanol aproximadamente, o dobro da produtividade do milho para se produzir etanol nos Estados Unidos. Portanto, o advento do etanol possibilitou o surgimento de uma produção alternativa de energia limpa e mais econômica (CARVALHO; BORTOLINI; BARCELLOS, 2014).

Os bicomcombustíveis são considerados menos poluentes, além de esboçarem uma produção mais limpa e podem ser substitutos dos derivados de petróleo. Entretanto, existem estudos que indicam danos causados em veículos e contaminação do solo com o uso frequente dessa fonte de energia, isto pode significar o comprometimento da produção das matérias-primas dos bicomcombustíveis no futuro em caso de uso intensivo (CARVALHO, BORTOLINI & BARCELLOS, 2014).

Os bicomcombustíveis se derivam de biomassa renovável que substituem total ou parcialmente os combustíveis fósseis em motores de combustão ou em outra forma de geração de energia. No Brasil, os bicomcombustíveis mais utilizados são o etanol, extraído da cana-de-açúcar, e o biodiesel, oriundo de óleos vegetais ou de gordura animal, adicionados ao diesel oriundo do petróleo. A queima desses bicomcombustíveis emite menos agentes poluidores na atmosfera, se comparados aos combustíveis fósseis tradicionais. Ademais, as emissões de gás carbônico, geradas pelo etanol, são reabsorvidas pelas plantações de cana-de-açúcar, gerando uma parcial compensação. O biodiesel também oferece vantagens ambientais, tais como emitir, em média, 48% menos monóxido de carbono, 47% menos material particulado, que pode provocar danos aos pulmões, e 67% menos hidrocarbonetos (BRASIL, 2017).

Farina e Rodrigues (2018) concluíram que o uso dos bicombustíveis é uma realidade na substituição dos combustíveis fossilizados por ser economicamente viáveis e também serem capazes de suprir a demanda crescente do mercado brasileiro de forma sustentável.

A produção de energia proveniente do setor agrícola no Brasil representa aproximadamente 32% do total de energia ofertada, isto torna o país líder mundial na produção de agro-energias. Os fatores que contribuem para esta liderança são decorrentes da grande extensão territorial brasileira e pela dotação de uma série de recursos naturais que tornam possíveis a produção de insumos necessários à geração de biomassa, tornando o Brasil um país modelo para outras nações na produção de energias alternativas renováveis (BRASIL, 2017).

Cabe destacar também o uso da lenha no meio rural como fonte de energia. De acordo com a série temporal do Balanço Energético Brasileiro, a lenha inicia a série histórica em 1970, como a principal fonte energética com representação de 46% do consumo final do país ao final daquela década, isso se deve ao fato que maior parte da população residia no campo naquele período. Em 2004, o consumo da lenha deixou de ser a fonte energética mais utilizada, passando a representar apenas 8% do consumo final e, a partir disso observado a substituição da primazia da lenha na geração de energia. Tal substituição tomou força, principalmente, na Revolução industrial, pois os derivados do petróleo apresentaram vantagens no transporte, manuseio e consumo em relação à utilização da madeira (MANTOVANI, NEUMANN & EDLER, 2016).

O uso energético da lenha se dá de três diferentes formas: pelo desmatamento, pelo reflorestamento, ou pelo manejo sustentável de matas nativas. Desta forma, para utilização da madeira como produtora de energia pode ser feita diretamente pela queima da madeira, ou ainda pela queima de resíduos aproveitados da exploração florestal e na produção de carvão vegetal. No Brasil, o uso da lenha como fonte energética é demandada pelo setor agropecuário e pelas indústrias siderúrgicas que utilizam o carvão vegetal como fonte de energia, isto significa que 40% da lenha é convertida em carvão vegetal, sendo a maior parte deste percentual consumido pelas residências (MANTOVANI, NEUMANN & EDLER, 2016).

Conforme Mantovani, Neumann e Edler (2016), os produtores de lenha argumentam que essa fonte de energia também apresenta vantagens ambientais semelhantes às apresentadas pela cana-de-açúcar, a saber: a liberação de dióxido de carbono é absorvida durante o crescimento das árvores em lugares que haja reflorestamento, através da fotossíntese. Outro fator importante é que a liberação do dióxido de carbono é ocasionada, em cada etapa da produ-

ção da lenha, diferentemente do que ocorre nas queimadas realizadas depois da derrubada de árvores das florestas para fins de cultivo e criação de animais que acontecem de forma contínua num determinado período do ano.

Dentre todas as fontes de energia renováveis, a energia hidroelétrica é, atualmente, a fonte geradora mais expressiva no Brasil, com capacidade total de aproximadamente, dois terços da capacidade total instalada. A geração de energia gerada pela força gerada na queda de águas é considerada limpa, além de deter muitas outras vantagens. Contudo, há uma dependência de condições meteorológicas sazonais para o acúmulo e posterior uso desta fonte, cuja constatação se dá, de uma forma mais expressiva, depois da ocorrência de dificuldades pluviométricas nas principais áreas de acúmulo de águas que se situam, principalmente no Sudeste do País. Esse fato incentivou a busca de meios para diversificar a geração de energia elétrica, com a necessidade de expandir o fornecimento de energia por meio de inserção de fontes renováveis, e também de otimizar a geração de energia intermitente, que é o caso da energia hidráulica, além de analisar o papel da energia fossilizada diante do contexto mundial (SILVA, MARCHI NETO & SEIFERT, 2016).

Para Tolmasquim (2012), a Matriz Energética Brasileira é, e continuará sendo, um exemplo para os demais países, por possuir uma parcela considerável de componentes renováveis, e isto será intensificado à medida que houver um incremento destas fontes de energias nos próximos anos. Nesse sentido, o Brasil já é destaque no setor de produção energética por possuir uma participação expressiva de energias renováveis. Em 2017, a composição das energias renováveis no quadro energético foi de 42,9%, ao passo que a matriz energética mundial exibiu apenas 13,7% de produção de energia renovável em 2015. Nesta condição, o Brasil se encontra diante de um grande desafio que é manter a boa participação de fontes de energias renováveis em sua matriz (EPE, 2018b).

Tolmasquim (2012) realça a importância que a energia gerada pelos ventos por estar apresentando reduções de custos na sua geração. Em 2005, era viável a produção de energia eólica a partir de R\$ 300/MWh, já em 2011, os preços se encontravam na faixa de R\$99/MWh a R\$105/MWh, ou seja, aproximadamente um terço do valor observado em 2005. Isto é consequência do aumento da capacidade instalada, que em 2004 apresentava apenas 30 MW de capacidade instalada, ao passo que no ano de 2016 o número saltou para 8000 MW.

Outro destaque é para a energia solar que apresentou, inicialmente, desenvolvimento nos painéis fotovoltaicos de 65% entre os anos de 1985 e 1995, com isso a previsão é alcançar um equilíbrio junto aos combustíveis fósseis em 2025. Este fato, portanto, tenderia a dobrar a taxa de crescimento da inserção desta energia no consumo interno (IEA, 2000).

## Modelos de previsões de produção de fontes energéticas

Em diversos países têm surgido estudos que buscam prever oferta e demanda por energia em diferentes aspectos: seja por interesse no desenvolvimento econômico, seja relacionado a objetivos ambientais ou, até mesmo, relacionado à preocupação com a escassez, dado o uso de energia originária de matéria-prima finita.

Shuyu Li e Rongrong Li (2017) desenvolveram um estudo sobre o consumo de energia para a província de Shandong, na China, onde a principal fonte de geração de energia é o carvão mineral, com base no forte crescimento econômico associado ao consumo de energia e, dada a preocupação de suprimento futuro, o modelo utilizado para responder aos questionamentos da pesquisa foi o ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*). De acordo com os resultados, a previsão é de um crescimento da demanda em 44% em relação a uma tonelada de carvão para o ano de 2020, no qual se conclui que, para essa província, é necessário haver diversificação da matriz energética para o suprimento interno e manutenção do crescimento econômico.

Enquanto isso, Wang *et al.* (2018) verificaram a dependência da China em relação ao petróleo estrangeiro para o ano de 2030, utilizando uma metodologia semelhante de predição, o modelo ARIMA. Os pesquisadores concluíram que o nível de dependência chinesa passará de 65% em 2016 para 80% em 2030, portanto, um alto nível de sujeição que traz preocupações e incertezas para um futuro próximo no fornecimento de energia desse populoso país.

A Índia é um país que obteve rápida industrialização, cuja principal fonte de energia também é o carvão mineral, no qual é o segundo maior país consumidor e importador desse insumo, além de se tornar o terceiro maior país emissor de gases do efeito estufa. Por estas razões Li, Yang e Li (2019) desenvolveram uma pesquisa de previsão do consumo do carvão mineral na Índia para o ano de 2030 que verificou um aumento em 150 milhões de toneladas equivalentes ao petróleo no consumo de carvão mineral para o ano 2030, se comparado ao ano de 2017. Entre o período de 2018-2030 a taxa anual de crescimento do consumo de carvão foi estimada em 2,5%.

Baseados no crescimento *per capita*, oferta de energia interna, infraestrutura instalada no país, políticas governamentais e disponibilidade de recursos, Mujiyanto e Tiess (2013) fizeram previsões para a demanda de energia para a Indonésia, país cuja economia é a maior do sudeste asiático e um dos membros do G-20 (vinte maiores economias do mundo). Os autores fizeram previsão para o ano de 2025 da oferta interna de energia e constataram que o consumo de energia naquele país deve aumentar em três vezes entre os anos de 2010 e 2030, enquanto a produção tradicional de energia não será

suficiente para acompanhar uma taxa de crescimento populacional de 1,9% ao ano.

Em outra perspectiva, Kennedy e Bachmann (2016) desenvolveram uma pesquisa sobre a oferta de energia como fator essencial para a produção em qualquer ativo físico da economia, estes autores se utilizaram de uma modelagem que distingue energia incorporada nos bens de capital em outros bens que consomem energia, do lado da demanda, ao passo que, do lado da oferta, a modelagem distinguiu energia utilizada na distribuição e na produção. Os resultados mostraram que o crescimento econômico é gerado a partir do uso da energia na construção de bens de capital, ao invés de utilizá-la para consumo final. A pesquisa, que foi feita entre os anos de 1990 e 2008, captou o cenário observado no período.

## METODOLOGIA

Os dados utilizados no estudo são de natureza secundária, coletados em nível de Brasil. As informações dos preços internacionais do barril de petróleo foram fornecidas pela *International Energy Agency* (IEA), abrangendo os anos de 1970 a 2018, também foram utilizados dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), no período compreendido de 1970 a 2019. As variáveis utilizadas estão apresentadas no Quadro 1:

Quadro 1. Variáveis utilizadas na pesquisa.

Classificação	Descrição
Variáveis endógenas Unidade: $10^3 \text{ tep}$ (Tonelada equivalente ao petróleo)	$y_{1t} = \text{PETR}_t$ : Produção brasileira de petróleo no período de 1970-2019; $y_{2t} = \text{GASN}_t$ : Produção brasileira de gás natural no período de 1970-2019; $y_{3t} = \text{HIDRO}_t$ : Produção brasileira energia hidráulica no período de 1970-2019; $y_{4t} = \text{LENHA}_t$ : Produção de lenha no período de 1970-2019; $y_{5t} = \text{CAN}_t$ : Produção de etanol (cana-de-açúcar como matéria prima) no período de 1970-2019.
Variável exógena Unidade: Dólar (US\$)	$P_{6t} = \text{PREC}_t$ : Preço do barril de petróleo no período de 1970-2019, corrigido para valores de 2018.

Fonte: Elaborado pelos autores.

## Estimação da participação relativa das fontes de energia na matriz energética

Para resolver a proposição estipulada no primeiro objetivo do estudo que é a aferição anual da participação relativa das cinco fontes de energia estudadas no total anual que elas representam, dividiu-se os montantes anuais de cada uma delas pelo total, isto resultou na obtenção das participações relativas anuais. Ao final, estimaram-se as médias dessas participações para o período de 1970 a 2019, bem como os respectivos coeficientes de variação (CV) que, por definição medem a relação percentual do desvio padrão em relação à média de uma variável aleatória. O CV afere a forma como os valores observados da variável se dispersam em torno da sua média. Maior o CV, mais heterogênea será a distribuição dos valores da variável em torno da sua média (SORENSEN, 2000).

Em seguida, foram estimadas as taxas geométricas de crescimento (TGC) das diferentes fontes de energia, para avaliar as respectivas evoluções no tempo. Para tanto utiliza-se a seguinte equação:

$$\log(x_t) = \rho_0 + \rho_1 T + \epsilon_t \quad (1)$$

Na equação (1),  $\epsilon_t$  é a variável aleatória que se busca estimar a TGC; T é o tempo que neste estudo se estende de 1970 a 2019, portanto, cinquenta anos ( $T = 0, 1, \dots, 49$ ). O coeficiente  $\rho_1$  que é a derivada de  $\log(x_t)$  em relação ao tempo (T) é a TGC, que afere a taxa média anual de variação de  $(x_t)$  entre 1970 e 2019. O coeficiente loglinear afere o valor médio de  $\log(x_t)$  caso  $\rho_1$  não seja estatisticamente diferente de zero. O ruído  $\epsilon_t$ , por hipótese tem média zero, variância constante e não é autorregressivo. Atendidas essas suposições os coeficientes  $\rho_0$  e  $\rho_1$  podem ser estimados pelo método dos mínimos quadrados ordinários (WOOLDRIDGE, 2012).

## Definições dos modelos utilizados para fazer as previsões

O segundo objetivo do estudo visa estimar os modelos que foram utilizados para fazer as previsões das fontes de produção primária de energias renováveis e não renováveis para o período de 2021 a 2030. Essa etapa se concretiza transformando as variáveis mostradas no Quadro 1 em logaritmos naturais.

As bases teóricas dos modelos matemáticos utilizados se ancoram na suposição mostrada na equação (1), que admite, por definição, que o valor esperado de uma variável aleatória  $y_t$ , diferirá do seu valor observado, em decorrência de ruídos brancos, definidos por  $\omega_t$  mostrados na equação (2)

$$E(y)_t = y_t + \omega_t \quad (2)$$

Desta forma, as variáveis endógenas de produção das diferentes fontes de energia (indexadas por  $i=1, \dots, 5$ ) podem ser representadas genericamente por  $y_{it}$ , cujo valor previsto ou esperado é  $E(y_{it})$ .

Para que seja possível fazer previsões associadas à equação (2) é necessário que a série da variável aleatória  $y_t$  seja estacionária e o termo  $\omega_t$  seja ruído branco. Isto significa que a série precisa ter média zero, variância constante e possuir autocorrelação nula. (BOX & JENKINS, 1976; WOOLDRIDGE, 2012; CLEMENT, 2014; CAMELO *et al.*, 2007; BOX *et al.*, 2015).

A previsão está ancorada na hipótese de que  $\omega_t$  é endogenamente aleatório, mas pode sofrer influência de variáveis exógenas. Neste estudo se supõe que a variável exógena que pode influenciar na previsão da produção das fontes de energia, afetando os ruídos, seja o preço anual observado ( $P_t$ ) do barril de petróleo. A produção de petróleo é oligopolizada e, portanto, o seu preço é definido em mercado não competitivo. Por esta razão, torna-se difícil fazer projeções dos seus valores. Nesta pesquisa se assume que:

$$\omega_t = f(P_t) \quad (3)$$

$$\omega_t = \acute{\alpha}_0 + \acute{\alpha}_1 P_t + v_t \quad (4)$$

Substituindo (4) em (2) e sabendo que  $\omega_t$  pode assumir valores positivos ou negativos, se obtém:

$$y_t = \acute{\alpha}_0 + E(y_t) + \acute{\alpha}_1 P_t + v_t \quad (5)$$

Uma hipótese alternativa é que os preços do barril de petróleo afetam a previsão da produção da fonte energética por meio do seu valor esperado. Neste caso, a hipótese a ser testada é:

$$E(y_t) = \alpha_0 + \alpha_1 P_t + \mu_t \quad (6)$$

Nas equações (5) e (6), por hipótese, os termos  $v_t$  e  $\mu_t$  também são considerados ruídos brancos. Para estimar os valores esperados de  $y_t$  utiliza-se de modelos ARIMA definidos por Box e Jenkins (1976). A seguir, apresenta-se uma síntese do modelo de Box-Jenkins no que se aplica a esta pesquisa.

#### Modelo de Box e Jenkins aplicado ao estudo

Neste trabalho utiliza-se o modelo autoregressivo, integrado e média móvel (*Auto Regressive Integrated Moving Average*) ARIMA(p,d,q), desenhado por Box e Jenkins (1976). Essa metodologia é amplamente referida como a

mais eficiente técnica para fazer previsão. Ela se desenvolve em quatro etapas: identificação do modelo; estimação; diagnóstico do modelo estimado e previsão.

Segundo Pankratz (1983) um modelo ARIMA (p,d,q) pode ser decomposto em duas partes. A primeira parte possui um componente integrado (d) que representa a ordem de diferenciação utilizada para estacionarizar uma série que, originalmente, não possui estacionariedade. Ao passo que a segunda parte consiste de um modelo ARMA (p,q) para a série que foi estacionarizada por meio de processo ou processos de diferenciação. Essa componente do modelo, por sua vez, é decomposta em duas outras: AR (auto regressiva) e MA (média móvel).

O componente auto regressivo (AR) capta a correlação entre o valor corrente de uma variável aleatória e alguns dos seus valores anteriores. Enquanto, o componente de média móvel (MA) captura a duração da influência de um choque aleatório. As funções de auto correlação (FAC) e auto correlação parcial (FACP) são utilizadas para estimarem os valores de p e q (CLEMENT, 2014).

### Identificação do modelo

Antes da aplicação do modelo ARIMA é necessário avaliar se a série que está sendo analisada é estacionária, isto é feito observando o gráfico da série e analisando as funções de autocorrelação e autocorrelação parcial (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998). Outra forma de verificação para estacionariedade é estimar o modelo AR em primeira ordem na série original e testar se o coeficiente  $\phi$  é menor do que um. O objetivo é identificar uma apropriada sub-classe de modelos geral da família ARIMA de tal sorte que:

$$\phi(B)\nabla^d y_t = \theta(B)a_t \tag{7}$$

A equação (7) pode ser usada para representar uma realização da série temporal estudada na tentativa de diferenciar a variável  $y_t$  tantas vezes quantas sejam necessárias para produzir a estacionariedade. Assim, pode-se escrever:

$$\phi(B)w_t = \theta(B)a_t \tag{8}$$

Da equação (7), tem-se a seguinte definição:

$$w_t = (1-B)\partial y_t = \nabla \partial y_t \tag{9}$$

Para tornar a série estacionária é necessário encontrar um definido grau de diferenciação (d). O grau de diferenciação (d) necessário para transformar

a série estacionária será encontrado quando a função de autocorrelação dos resíduos  $w_t$  for definida da seguinte forma:

$$w_t = \nabla \partial y_t \quad (9)$$

Sendo que o valor do lado esquerdo da equação (9) tende rapidamente para valores mais reduzidos, ou nulos (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998; WOOLDRIDGE, 2012; CLEMENT, 2014; BOX; JENKINS, 1976; GREENE, 2012; BOX *et al.*, 2015).

### Testes de qualidade dos ajustamentos

Na escolha dos modelos estatisticamente apropriados, um dos critérios é buscar modelos mais parcimoniosos, na perspectiva de que, quanto menor o número de regressores, melhor o modelo de ajustamento. Além deste critério, foram utilizados mais cinco (5) critérios para avaliar as adequações dos modelos ajustados aos objetivos que se buscam na pesquisa, sendo eles: coeficiente de determinação ( $R^2$ ); raiz quadrada do erro médio (RMSE); Porcentagem do erro absoluto médio (MAPE); o critério bayesiano de Schwartz (SBIC); o critério de Akaike (AIC); a variância da série ( $\sigma^2$ ); e a estatística Q de Ljung-Box. Todas as estimativas do trabalho foram realizadas usando o software *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) versão 20.0 e o software *Eviews* (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998; WOOLDRIDGE, 2012; CLEMENT, 2014; BOX & JENKINS, 1976; GREENE, 2012; BOX *et al.*, 2015).

### Previsões 2021-2030 das fontes energéticas não renováveis e renováveis

Buscando atender o objetivo específico de elaborar previsões, foram criados três cenários de preços do petróleo para serem utilizados na formatação das previsões da produção de energia em fontes cujos ajustamentos feitos neste estudo se mostraram sensíveis às variações dos preços. Para tanto, o estudo partiu da suposição de que a rentabilidade de se produzir etanol se inicia quando os níveis de preços do barril de petróleo se encontram acima de US\$ 40,00/barril (KOHLHEPP, 2010).

Para fazer as simulações hierarquizou-se a série dos preços do barril de petróleo observada entre 1970 e 2018, em ordem crescente. Em seguida dividiu-se a série em três partes iguais tomando o valor de US\$ 40,00/barril como mínimo (KOHLHEPP, 2010). Desta forma se definiram os cenários para os preços do petróleo expostos no Quadro 2.

Quadro 2. Cenários de previsão de produção de energia, na perspectiva do Brasil como Produtor das fontes.

Cenários	Descrição
Cenário 1: otimista	$76,70 < P_t < 119,24$
Cenário 2: intermediário	$53,86 < P_t < 82,79$
Cenário 3: pessimista	$40,12 < P_t < 64,22$

Fonte: Elaborado pelos autores.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicia-se a apresentação e a discussão dos resultados mostrando as estatísticas descritivas associadas às evoluções das produções das diferentes fontes de energia, renováveis e não renováveis, que foram utilizadas no estudo. Preliminarmente, se estimaram as participações relativas de cada fonte, cujas estimativas foram feitas dividindo-se o valor anual de cada fonte pelo total delas também em cada ano da série que cobre o período de 1970 a 2019. Calcularam-se as médias, os coeficientes de variação e valores mínimos e máximos observados ao longo do período investigado. Esses resultados estão expostos na Tabela 1.

Tabela 1 - Estatísticas das evoluções das participações relativas das fontes energéticas selecionadas na matriz de produção entre 1970 e 2019

Fontes	Média (tep)	CV (%)	Mínimo (tep)	Máximo (tep)	TGC (% a.a)
PETR <sub>t</sub>	0,34	36,81	0,14	0,48	2,7*
GASN <sub>t</sub>	0,07	47,61	0,02	0,15	3,6*
HIDO <sub>t</sub>	0,15	20,62	0,07	0,20	0,3*
LENA <sub>t</sub>	0,28	66,56	0,08	0,66	-4,6*
CANA <sub>t</sub>	0,16	23,55	0,07	0,21	1,4*

Fonte: Elaborado a partir dos dados do Balanço Energético 2019 (EPE, 2019).

Nota: \*significativamente diferente de zero com menos de 1% de erro

As evidências apresentadas na Tabela 1 mostram que a maior média de participação relativa foi observada na produção de petróleo (34%), enquanto a menor (7%) se observou na produção relativa de gás natural. As demais fontes apresentaram médias que variam de 28%, como no caso da lenha, 16% para cana-de-açúcar e 15% para fontes hídricas. Evidências que mostram a relevância quantitativa que a produção de petróleo ainda exerce sobre a produção de energia no Brasil no período investigado.

A maior instabilidade na participação relativa, aferida pelo Coeficiente de variação, foi observada na produção de lenha ( $CV = 66,6\%$ ), seguida pela produção de petróleo e de gás natural ( $CV=47,6\%$ ). A fonte energética com menor instabilidade na participação relativa da matriz energética brasileira dentro do período estudado foi a energia hidroelétrica, cujo CV foi igual a  $20,6\%$  (Tabela 1).

Observa-se também que a participação do gás natural entre as fontes de energia estudadas foi a que apresentou a maior taxa geométrica de crescimento ( $3,6\%$  ao ano), seguida do petróleo, cuja TGC foi de  $2,7\%$  ao ano. Consta-se também a ampla perda de importância da lenha na composição da Matriz Energética Brasileira, ao menos no que se refere àqueles cinco componentes. Entre 1970 e 2019 essa fonte decresceu a uma taxa média anual de  $4,6\%$ . A pesquisa também mostra que a energia provinda da cana-de-açúcar e de fontes hídricas tiveram crescimento menores, o que significa que tem amplo espectro para avançarem (Tabela 1).

#### Estimação e identificação dos modelos ARIMA

Os testes de raízes unitárias utilizados mostraram que os melhores ajustes foram feitos com modelos lineares na forma de logaritmos naturais. A estacionariedade das séries foi observada em primeira diferença. Os resultados encontrados para os modelos ajustados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Modelos ajustados para previsão das fontes de energias selecionadas

Coeficientes Estimados	Fontes de energia (modelo ajustado em logaritmo natural)				
	Ln(PETR.) [ARIMA(1,1,0)]	Ln(GASN.) [ARIMA(1,1,1)]	Ln(HIDRO.) [ARIMA(1,1,1)]	Ln(LENHA.) [ARIMA(2,2,0)]	Ln(CANA.) [ARIMA(1,1,1)]
Constante	0,059*	SEM CONSTANTE	SEM CONSTANTE	SEM CONSTANTE	SEM CONSTANTE
AR(1)	0,637*	0,924	0,986*	-0,578*	0,979*
AR(2)	-	-	-	-0,301*	-
MA(1)	-	0,565*	0,726*	-	0,869*

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa.

Nota: \*Significativo ao nível de 5%.

Na Tabela 2, apresentam-se a síntese dos modelos ARIMA que melhor se ajustaram para fazer a previsão de cada uma das fontes de energia estudadas no período de 1970 a 2019. Na Tabela 3, estão as estatísticas que asseguram a robustez dos estimadores obtidos na pesquisa, bem como os resultados dos testes realizados para avaliar a adequação desses modelos. Observa-se, pelas

evidências mostradas na Tabela 3, que todos os ajustamentos necessários para fazer as previsões das produções das cinco fontes de energia geraram ruídos brancos e estão ancorados nos demais testes, com resultados robustos, de um ponto de vista estatístico. Para reforçar essas assertivas, observa-se que os coeficientes de correlação que mede a aderência das projeções efetuadas com os valores observados, variaram de 0,928 para as projeções da produção de lenha a 0,997, valor estimado para o modelo usado para fazer as previsões da produção de petróleo e 0,998 para a previsão de gás natural. Em decorrência dessas constatações, pôde-se fazer as previsões estabelecidas no segundo objetivo deste estudo.

No que se refere às estimativas encontradas em cada um dos modelos, observa-se que, para fazer a previsão da produção de petróleo o modelo que mostrou o melhor ajustamento foi o ARIMA (1,1,0), com constante, autorregressivo de primeira ordem em que foi preciso fazer uma diferença para tornar a série estacionária (Tabela 2).

Para fazer as previsões das produções de energia provenientes de gás natural, hídrica e da cana-de-açúcar, os melhores ajustamentos foram modelos ARIMA (1,1,1), sem constantes. Como se observa, também nessas séries houve a necessidade de se fazer uma diferenciação para torná-las estacionárias e conseguir ajustar um modelo autorregressivo e média móvel, ambos de primeira ordem (Tabela 2).

No que concerne à previsão da produção de lenha o melhor ajustamento conquistado na pesquisa foi um ARIMA (2,2,0) sem a participação da constante. Portanto foram necessárias duas diferenciações para tornar essa série estacionária e ser possível ajustar um modelo autorregressivo de segunda ordem (Tabela 2).

Tabela 3 – Estatísticas relevantes para a aferição da capacidade preventiva dos modelos ajustados no estudo

Fontes	R <sup>2</sup> ajust.	AIC	σ <sup>2</sup>	SBIC	RMSE	MAPE	Ljung-Box(Q)			R**
							Est	GL	Sig	
Ln(PETR) <sub>t</sub>	1,00	-2,8*	0,003*	-2,7*	0,06	0,43	13,89	17	0,67	00,997*
Ln(GASN) <sub>t</sub>	1,00	-2,3*	0,004*	-2,2*	0,07	0,60	17,64	16	0,34	00,998*
Ln(HIDRO) <sub>t</sub>	0,99	-3,2*	0,001*	-3,1*	0,05	0,35	22,12	16	0,14	00,994*
Ln(LENHA) <sub>t</sub>	0,84	-2,5*	0,004*	-2,4*	0,06	0,43	13,13	16	0,66	00,928*
Ln(CANA) <sub>t</sub>	0,98	-1,7*	0,009*	-1,6*	0,10	0,80	15,60	16	0,48	00,989*

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa.

Nota: \*Significativo abaixo do nível de 5% de significância.

\*\*R é o coeficiente de correlação entre os valores projetados e os valores observados das variáveis estudadas.

## Verificação dos impactos dos preços do barril de petróleo sobre os modelos de previsão de produção de energias

Conforme estabelecido no segundo objetivo, o estudo avaliou os possíveis impactos do preço do barril de petróleo sobre os modelos de previsão de cada fonte de energia. Para tanto, foram testadas duas possibilidades para aferir se os preços impactaram as previsões da produção das fontes selecionadas. Primeiro, foi verificado se os preços influenciam a produção via ruídos brancos, conforme explicitado na Equação (2). Neste caso, os resultados não se mostraram significativos em níveis toleráveis de erro (ao menos 10%). Deste modo, não se pode inferir quaisquer conclusões acerca da influência dos preços do barril de petróleo sobre a produção energética brasileira por meio dos ruídos gerados em cada um dos modelos de previsão estimados.

Em seguida, foi testado se a influência do preço do barril de petróleo se dá diretamente na previsão da produção obtidas por meio de modelos gerados tal como a suposição mostrada na Equação (6). A Tabela 4 apresenta as sínteses dos resultados derivados dessas estimações.

Tabela 4 - Dependência linear dos valores previstos da produção em relação aos preços do barril de petróleo

Coeficientes Estimados	Variável Dependente (valores previsto da produção)				
	Ln(PETR.) ARIMA(1,1,0)	Ln(GASN.) ARIMA(1,1,1)	Ln(HIDRO.) ARIMA(1,1,1)	Ln(LENHA.) ARIMA(2,2,0)	Ln(CANA.) ARIMA(1,1,1)
Coefficiente Linear	26172,25*	-1649,14 <sup>NS</sup>	12200,79*	27938,65*	13264,21*
Coefficiente angular	500,04*	330,78*	180,75*	-15,30 <sup>NS</sup>	207,34*
R <sup>2</sup> Ajustado	0,13	0,38	0,32	0,02	0,15

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa.

Nota: \* Significativo ao nível de 5%; NS: Não significativo.

Observa-se que todos os coeficientes angulares, com exceção do estimado para a previsão da produção de lenha, são significativos ao menos ao nível de 5%. Assim, neste estudo se constata a influência dos preços internacionais do barril de petróleo sobre a produção das principais fontes energéticas produzidas no Brasil. Com este resultado foi possível elaborar a previsão da produção energética brasileira para os anos de 2021-2030.

## Previsões da produção de energia

Após verificar a relação entre os valores calculados nos modelos de previsão das fontes de energia em relação aos preços dados do barril de petróleo (exceção da produção de lenha), foram estabelecidas previsões da produção

para os anos de 2021 a 2030, a partir da divisão da série de preços do barril de petróleo em cenários e, assim, foi alcançado o segundo objetivo do trabalho.

Como demonstrado anteriormente, apenas a previsão de lenha como fonte de energia não mostrou, sob o ponto de vista estatístico, resposta às variações do preço do barril e petróleo. Desta forma, os valores previstos para produção de energia derivada da lenha foram previstos apenas para o modelo ARIMA (2,2,0). As projeções da produção dessa fonte, portanto, se mantém constante nos diferentes cenários desenhados para esta pesquisa. Esses resultados estão mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores previstos para produção de lenha como fonte renovável de energia para o período 2021- 2030

Ano	Cenário Otimista	Cenário Intermediário	Cenário Pessimista
2021	24.078,28	24.078,28	24.078,28
2022	24.037,05	24.037,05	24.037,05
2023	24107,63	24107,63	24107,63
2024	24.147,48	24.147,48	24.147,48
2025	24.166,80	24.166,80	24.166,80
2026	24.208,90	24.208,90	24.208,90
2027	24.244,83	24.244,83	24.244,83
2028	24.276,60	24.276,60	24.276,60
2029	24.313,04	24.313,04	24.313,04
2030	24.348,27	24.348,27	24.348,27

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa.

Como visto anteriormente, a previsão da produção de petróleo no Brasil é afetada diretamente pelos preços internacionais do barril de petróleo. A seguir, na Tabela 6 estão mostrados como se comportam as produções esperadas de petróleo para o período de 2021 a 2030 nos três cenários estabelecidos na pesquisa.

As previsões mostradas sugerem que a produção de energia no Brasil utilizando o petróleo como fonte, a partir do ano 2021, tem expectativas de aumento de forma expressiva caso os preços do barril de petróleo se encontrem em patamares elevados, isto é, acima do preço mínimo estabelecido de US\$ 40,00/barril. Observa-se que em todos os cenários desenhados no estudo para os preços do petróleo, a produção desta fonte seguirá se expandindo entre 2021 e 2030. Obviamente que a expansão será maior no cenário otimista e menor no cenário pessimista de preços do barril de petróleo (Tabela 6).

Tabela 6 – Valores previstos para produção de petróleo como fonte não renovável de energia para o período 2021- 2030

Ano	Cenário Otimista	Cenário Intermediário	Cenário Pessimista
2021	148.228,29	143.822,26	141.071,75
2022	157.076,11	151.051,53	147.125,85
2023	167.513,72	159.485,08	154.310,85
2024	179.559,94	169.195,95	162.526,11
2025	192.968,18	180.019,64	171.633,16
2026	208.054,03	192.007,94	181.660,79
2027	224.540,52	205.231,28	192.512,50
2028	242.699,37	219.573,42	204.282,87
2029	262.731,06	235.461,81	217.604,52
2030	284.526,85	252.589,87	231.898,29

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa.

Na Tabela 7 estão as previsões para a fonte de produção gás natural. As previsões mostraram os comportamentos desta produção em meio às oscilações de preços do barril de petróleo.

Tabela 7 – Valores previstos para produção de gás natural como fonte não renovável de energia para o período 2021- 2030

Ano	Cenário Otimista	Cenário Intermediário	Cenário Pessimista
2021	51.077,86	49.943,62	49.231,06
2022	55.620,73	54.025,21	52.976,80
2023	60.677,16	58.499,38	57.081,02
2024	66.309,09	63.439,29	61.568,65
2025	72.499,84	68.847,43	66.446,02
2026	79.384,21	74.781,42	71.761,23
2027	86.929,4	81.302,70	77.522,50
2028	95.257,03	88.416,39	83.792,25
2029	104.471,61	96.290,03	90.801,01
2030	114.588,50	104.872,26	98.409,56

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa.

A Tabela 8 expõem o comportamento da fonte hidroelétrica quando ocorrem oscilações nos preços internacionais do barril.

Tabela 8 – Valores previstos para produção de hidroelétrica como fonte renovável de energia para o período 2021- 2030

Ano	Cenário Otimista	Cenário Intermediário	Cenário Pessimista
2021	34.515,11	34.346,61	34.239,22
2022	34.905,17	34.684,47	34.536,66
2023	35.312,58	35.032,42	34.845,53
2024	35.740,65	35.397,69	35.167,55
2025	36.181,75	35.776,44	35.500,70
2026	36.644,67	36.170,75	35.847,24
2027	37.119,30	36.581,91	36.204,30
2028	37.611,03	37.005,14	36.574,46
2029	38.121,75	37.450,22	36.974,24
2030	38.645,63	37.906,56	37.384,74

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa.

A última previsão é da produção de energia proveniente da cana-de-açúcar que direciona parte da colheita para a produção de etanol no Brasil, na qual se mostrou estatisticamente significativa quando ocorrem mudanças nos níveis de preços do barril de petróleo. A seguir, na Tabela 9 estão apresentadas as previsões em cada cenário para a produção utilizando a cana.

Tabela 9 – Valores previstos para produção de cana-de-açúcar como fonte renovável de energia para o período 2021- 2030

Ano	Cenário Otimista	Cenário Intermediário	Cenário Pessimista
2021	60.717,10	59.704,60	59.065,57
2022	64.727,51	63.332,03	62.409,43
2023	69.088,93	67.223,55	65.999,27
2024	73.837,86	71.431,60	69.848,39
2025	78.941,58	75.944,25	73.951,79
2026	84.490,01	80.794,19	78.338,10
2027	90.434,00	86.014,00	83.001,37
2028	96.846,00	91.589,57	87.978,47
2029	103.779,10	97.631,12	93.432,91
2030	111.216,60	104.076,80	99.235,84

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa.

Na Tabela 10 apresentam-se as participações médias esperadas em cada fonte de energia entre os anos de 2021 e 2030. Observa-se que em todos os cenários a participação do petróleo é majoritária, mas com tendência de queda, passando de uma média de 0,48 em um cenário otimista para 0,46 no cenário pessimista. Observa-se que, quando se colocam os preços do barril de petróleo impactando as produções de petróleo, o cenário otimista fica com média de participação relativa ao observado no cenário otimista de preços.

Observa-se que as fontes de energia a partir da cana-de-açúcar e hídricas tendem a ter participação maior na matriz de energia estudada, em caso de cenários pessimistas de preços do petróleo. As fontes hídricas ascendem de uma participação de 9% no cenário otimista de preços do petróleo para 10% no cenário pessimista de preços de petróleo. O que mostra que havendo queda nos preços do petróleo ficará mais interessante para os produtores de cana produzir mais essa matéria prima. Em um cenário otimista de preços do petróleo, a participação relativa dessa fonte tende a ser a menor.

Também em um cenário pessimista do preço do petróleo, a produção de energia hídrica tende a se elevar porque a produção de petróleo desacelera abrindo espaço para as fontes alternativas. Quando os preços do petróleo se mantêm um patamar otimista para os produtores, haverá uma menor participação relativa das fontes hídricas na matriz estudada (Tabela 10).

Em relação à participação relativa da lenha, observa-se que há uma tendência de queda em todos os cenários projetados (Tabela 10).

Tabela 10 – Participações médias, mínimas, máximas observadas e projeções das produções das fontes estudadas nos dez anos sendo afetadas pelas oscilações dos preços do petróleo

Fontes	Participações Observadas			Participações Simuladas por Cenários		
	Média	Mínima	Máxima	Otimista	Intermediário	Pessimista
Petr.	0,34	0,14	0,48	0,48	0,47	0,46
Gás	0,07	0,02	0,15	0,18	0,18	0,18
Hidro	0,15	0,07	0,20	0,09	0,10	0,11
Cana	0,28	0,08	0,66	0,19	0,20	0,21
Lenha	0,16	0,07	0,21	0,06	0,05	0,04
Soma	1,00			1,00	1,00	1,00

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com todas as transformações ocorridas, a produção de energia no Brasil não apenas manteve o uso de fontes não renováveis predominante na sua matriz, mas também direcionou investimentos nessas fontes energéticas. Consequentemente, ocorreram descobertas de reservas de petróleo e gás natural na camada de pré-sal em águas oceânicas nacionais no ano de 2007, e isso contribuiu para incrementos das fontes não renováveis na produção interna e acentuou a diferença entre o uso de fontes não renováveis e renováveis na Matriz Energética Brasileira.

A pesquisa mostrou que a participação relativa do petróleo prevaleceu no período de 1970 a 2019. Contudo, observou-se no período uma participação relativamente elevada da produção de bicomcombustível, principalmente usando a cana-de-açúcar como matéria prima.

Os resultados confirmaram as expectativas da pesquisa, sobretudo para a produção de petróleo nacional, pois quando há aumento no nível dos preços internacionais do barril, a produção interna acelera. O contrário se verificou em caso de queda no nível de preços, em que o Brasil opta por produzir menos e importar mais essa fonte, ao mesmo tempo em que estimula as outras fontes.

Observa-se que em todos os cenários construídos neste estudo para os preços do petróleo há uma tendência de uma participação média maior do gás natural na Matriz Energética Brasileira, comparativamente à média observada entre 1970 e 2019. No caso projetado para essa fonte, cuja média estimada para todos os cenários foi de 0,18, será maior para o máximo observado entre 1970 e 2019 que foi de 0,15.

A fonte hídrica também apresentou aumento em sua produção em um cenário em que há quedas nos preços do barril de petróleo. A previsão da produção de energia utilizando a cana-de-açúcar mostrou tendência de crescimento em cenários dos preços do barril de petróleo em queda.

De modo geral, as produções advindas de fontes de energias não renováveis e renováveis da Matriz Energética Brasileira (com exceção da lenha) se mostraram sensíveis aos preços externos do barril de petróleo, e mesmo que possua possíveis substitutos, como afirmado na literatura e confirmado nas estimações deste trabalho, a matriz brasileira ainda possui forte dependência das fontes não renováveis, mas com tendência de avanço das fontes renováveis, com exceção da lenha. Neste caso também em decorrência de impactos ambientais, tendo em vistas que o uso mais intensivo da lenha implica em desmatamento e desflorestamento.

Assim, a pesquisa conseguiu atingir seus objetivos e mostrou o que aconteceu na produção de energia de fontes renováveis e não renováveis num período de 50 anos e o que provavelmente acontecerá nos próximos dez anos. Informações que parecem ser relevantes para o planejamento da produção e da diversificação da matriz energética do brasileira, com prioridade para as fontes renováveis que ainda correspondem a uma parcela minoritária na matriz.

## Referências

- BELO HORIZONTE. Companhia Energética de Minas Gerais. (CEMIG). *Alternativas energéticas: uma visão Cemig*. Belo Horizonte: Cemig, p. 369, 2012.
- BEZERRA, N. R. B. *Sustentabilidade da matriz energética brasileira*. 2016. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- BONDARIK, R.; PILATTI, L. A.; HORST, D. J. Uma visão geral sobre o potencial de geração de energias renováveis no Brasil. *Inter-ciência*, Santiago, v. 43, n. 10, out. 2018.
- BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M. *Time series analysis forecasting and control*. San Francisco: Holden-Day, 1976. Edição revisada.
- BOX, G.E. et al. *Time series analysis forecasting and control*. New Jersey, Wiley, Fifth Edition. 2015.
- BRONZATTI, F. L. & IAROSZINSKI NETO, A. I. Matrizes energéticas no Brasil: cenário 2010-2030. In: Encontro Nacional De Engenharia De Produção, 28., 2008, Rio de Janeiro. *Anais*. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <https://bit.ly/3y1TbCY>. Acesso em: 15 fev. 2021.
- BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). *Balanco energético nacional 2018: Ano base 2017*. Rio de Janeiro: EPE, 2018a.
- BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. *Relatório síntese 2018*. Rio de Janeiro: EPE, 2018b.
- BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. *Plano nacional de energia 2030*. Rio de Janeiro: EPE, p. 408, 2007.
- BRASIL. *Decreto legislativo nº 76.593, de 14 de novembro de 1975*. Brasília, DF: Congresso Nacional, 1975.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Brasil é líder mundial no setor de agroenergia*. Disponível em: <https://bit.ly/3rtg9k1>. Acesso em: 17 mai. 2020.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Conselho Nacional de Política Energética – CNPE: Resolução N° 16, de 29 de outubro de 2018. Brasília – DF. Diário Oficial da União, 2018c.
- Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=08/11/2018&jornal=515&pagina=2&totalArquivos=181> Acesso em: 15 mai. 2021.
- CAMELO, H. N. et al. Modeling Box - Jenkins applied a prediction of wind speed in the regions of the brazilian northeast for the fins of wind generation. *Ciência e natureza*, v. 40, 2018.
- CARVALHO, N. L.; BORTOLINI, J. G.; BARCELLOS, A. L. Biocombustíveis: uma opção para o desenvolvimento sustentável. *Revista GEDECON*, v. 2, n. 2, p. 32-50, 2014.
- CASTRO, C. N. *O Programa Nacional de Produção e uso do Biodiesel (PNPB) e a produção de Matéria-prima de óleo vegetal no Norte e no Nordeste*. Brasília: Ipea, 2011. (Texto para Discussão, n. 1613)

- CLEMENT, E. P. Using Normalized Bayesian Information Criterion (Bic) to Improve Box - Jenkins Model Building. *American Journal of Mathematics and Statistics*, 2014, v. 4, n. 5, pp. 214-221.
- CONFORT, M. J. F. & MOTHE, C. G. Estimating the required underground natural gas storage capacity in Brazil from the gas industry characteristics of countries with gas storage facilities. *J. Nat. GasSci. Eng.*, v. 18, pp.120-130, mai. 2014.
- DRANKA, G. G. & FERREIRA, P. Planning for a renewable future in the Brazilian power system. *Energy*, v. 164, n. 1, pp. 496-511, dez.2018.
- FRANÇA. International Energy Agency (IEA). *Energy policies and programmes of IEA countries*. AIE, Paris, 2000.
- GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. *Estudos Avançados*, v. 21, n. 59, 2007.
- GOLDEMBERG, J.; MOREIRA, J. R. Política energética no Brasil. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 19, n. 55, 2005.
- GUERRA, J. B. S. O. A. et al. Future scenarios and trends in energy generation in brazil: supply and demand and mitigation forecasts. *Journal of Cleaner Production*. Santa Catarina, vol. 103, p. 197-210, set. 2015.
- GREENE, W. H. *Econometric Analysis*. New York. Pearson. 2012
- KENNEDY, C.A; BACHMANN, C. The Energy Structure of the Canadian Economy. *Journal of Industrial Ecology*, v. 21, n. 5, pp. 1301-1311, 2016.
- KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 24, n. 68, 2010.
- LAMAS, W. Q. & GIACAGLIA, G. E. O. The Brazilian energy matrix: Evolution analysis and its impact on farming. *Energy Policy*, v. 63, pp. 321-327, dez. 2013.
- LI, S. & LI, R. Comparison of forecasting energy consumption in Shandong, China using the ARIMA Model, GM model, and ARIMA-GM model. *Sustainability*, v. 9, n. 7, jul. 2017.
- LI, S. & YANG, X.; LI, R. Forecasting coal consumption in India by 2030: Using linear modified linear (MGM-ARIMA) and linear modified nonlinear (BP-ARIMA) combined models. *Sustainability*, v. 11, n. 3, fev. 2019.
- LJUNG, G. M. & BOX, G. E. P. On a Measure of a Lack of Fit in Time Series Models. *Biometrika*, n.65, pp. 297-303, 1978.
- MAKRIDAKIS, S., WHEELWRIGHT, S. & HYNDMAN, R. J. *Forecasting methods and applications*. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- MANTOVANI, P. R. A.; NEUMANN, P. N. & EDLER, M. A. R. Matriz energética brasileira: em busca de uma nova alternativa. *Rev. Int. Ens. Pes. Ext.*, Rio Grande do Sul, v. 4, n. 1, 2016.
- MATTOS, R. S. et al. Integração de modelos econométrico e de insumo-produto para previsões de longo prazo da demanda de energia no Brasil. *Estudos Econômicos*. São Paulo, vol. 38 n. 4, Oct./Dec., 2008
- MORAES, M. L. & BACCHI, M. R. P. Etanol do início às fases atuais de produção. *Revista Política Agrícola*, Brasília, v. 23, n. 4, out./nov./dez. 2014.
- MUJIYANTO, S. & TIESS, G. Secure energy supply in 2025: Indonesia's need for an energy policy strategy. *Energy Policy*, v. 61, p. 31-41, out. 2013.
- OLIVEIRA, J. A. P. The policymaking process for creating competitive assets for the use of biomass energy: the Brazilian alcohol programme. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 6, pp. 129-140, 2002.
- PAIXÃO, M. A. S. & MIRANDA, S. H. G. Um comparativo entre a política de energia renovável no Brasil e na China. *Revista Pesquisa e Debate*, São Paulo, v. 29, n. 53, 2018.
- PANKRATZ, A. *Forecasting with Univariate Box - Jenkins Models: Concepts and Cases*. New York. Wiley & Sons, Inc. 1983
- PIRES, J. C. L., GIAMBIAGI, F. & SALES, A. F. As perspectivas do setor elétrico após o racionamento. *Revista do BNDDES*, v. 9, n. 18, pp. 163-204, 2002.

- SCHIAVI, M. T. & HOFFMANN, W. A. M. Cenário petrolífero: sua evolução, principais produtores e tecnologias. *Rev. Digit. de Bibliotecon. Cien Inf.*, Campinas, vol. 13, n. 2, pp. 259-270, mai./ago. 2015.
- SILVA, R. C., MARCHI NETO, I. & SEIFERT, S. S. Electricity supply security and the future role of renewable energy sources in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 58, pp. 238-241, jun.2016.
- SILVEIRA, P. G. Energia e mudanças climáticas: impactos socioambientais das hidrelétricas e diversificação da matriz energética brasileira. *Revista Opinião Jurídica*, Medellín, v. 17, n. 33, pp. 123-147, set. 2017.
- SORENSEN, A.T. Equilibrium Price Dispersion in Retail Markets for Prescription Drugs. *Journal of Political Economy*. Chicago. v. 108, pp.833-850, 2000.
- STATTMAN, S. L., HOSPES, O. & MOL, A. P. J.Governing biofuels in Brazil: A comparison of ethanol and biodiesel policies.*Energy Policy*, v. 61, p. 22-30, out. 2013.
- TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, Amílcar; GORINI, Ricardo. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. *Novos Estudos*. - CEBRAP, São Paulo, n. 79, pp. 47-69, nov. 2007.
- TOLMASQUIM, M. T. As origens da crise energética brasileira. *Ambiente e Sociedade*, Campinas, n. 6-7, jan./jun. 2000.
- TOMASQUIM, M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 26, n. 74, 2012.
- WANG, Q., LI, S., LI, R. & MA, M. Forecasting U.S. shale gas monthly production using a hybrid ARIMA and metabolic nonlinear grey model. *Energy*, v. 160, pp. 378-387, out. 2018.
- WOOLDRIDGE, J. F. *Introductory Econometrics: A modern approach*. Michigan, USA. South-Western. 2013. Fifth Edition.

