



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus Experimental de Rosana

DAYARA PEREIRA BASSO
THALITA BOTUEM HONORIO

**Análise e Predição da Produção de Etanol Hidratado da Região Sudeste e
Predição do Valor do Ativo CBio**

Rosana - SP
2022

**Dayara Pereira Basso
Thalita Botuem Honorio**

**Análise e Predição da Produção de Etanol Hidratado da Região Sudeste e Predição
do Valor do Ativo CBio**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenadoria de Curso de Engenharia de
Energia do Campus Experimental de Rosana,
Universidade Estadual Paulista, como parte
dos requisitos para obtenção do diploma de
Graduação em Engenharia de Energia.

Orientador(a): Prof. Dr. Wallace Correa de
Oliveira Casaca

Rosana - SP
2022

B322a	Basso, Dayara Pereira Análise e predição da produção de etanol hidratado da região Sudeste e predição do valor do ativo CBio. / Dayara Pereira Basso. -- Rosana, 2022 53 p. : il., tabs., fotos Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Energia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana Orientador: Wallace Correa de Oliveira Casaca Coorientadora: Marilaine Colnago 1. Honório, Thalita Botuem. 2. Etanol. 3. Previsão de Dados. 4. Créditos de Carbono. I. Título.
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências, Rosana. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus Experimental de Rosana

DAYARA PEREIRA BASSO
THALITA BOTUEM HONÓRIO

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“**GRADUADO EM ENGENHARIA DE ENERGIA**”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO
DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
ENERGIA

Prof. Dr. José Francisco Resende da Silva

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Wallace Correa de Oliveira Casaca
Orientador/UNESP-Rosana

Prof. Dr. Leandro Ferreira Pinto
UNESP-Rosana

Prof. Ms. Naiara Lima Costa
Membro Externo

Janeiro de 2022

Aos nossos pais e irmãos, dedicamos
este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Dayara

Em primeiro lugar gostaria de homenagear meu querido pai, que infelizmente me deixou antes que pudesse me ver engenheira, cujo crédito é todo dele. Seu desempenho inabalável ao acordar todos os dias cedo para trabalhar e sustentar a casa de comodidades, fez com que eu pudesse focar apenas nos meus estudos e dar meu melhor. Pai, obrigada por ter me ensinado a ser honesta e íntegra, por ensinar a dar valor às coisas e jamais abandonar minhas responsabilidades, obrigada por ter me amado do seu jeito. Espero um dia te orgulhar, te amarei incondicionalmente e não haverá um dia que não pensarei em você.

À minha mãe, por um cuidado incessante, amor infinito e todo o suporte ao longo dos anos de graduação, sua disposição para me ajudar sempre que precisei, e por me alimentar com a melhor comida do mundo. Irei cuidar de você e te amar até o fim da minha vida.

As minhas irmãs, por sempre ser meu refúgio, meu ponto de equilíbrio e sempre me apoiarem quando precisei. A minha irmã Daíse, por sempre ser meu suporte, me apoiar, me buscar na faculdade, pelos nossos intervalos de aula assistindo Fábrica de Casamentos, e por todos os lanches da tarde. A Dani, minha irmã mais doce e mais aventureira, cujo me submeteu a grandes diversões que foram necessárias durante o período. Ainda, agradeço a minha irmã mais velha, Daiane, por todos os conselhos sempre muito bem-vindos.

Agradeço ao meu namorado, Edilson, que sempre foi meu escape, um alento para meu coração, que me acolhe com amor e muita gentileza, sempre com muita paciência com nossas indiferenças e me fazendo olhar o lado bom da vida.

Ao meu professor e orientador, Wallace, que logo de início me acolheu como orientanda e também como amiga, cujo pude aprender muito, e sempre foi exemplo para meus esforços. Com seu auxílio e orientação, foi possível aproveitar todos os aprendizados e benefícios que a faculdade oferece.

A minha professora e orientadora, Marilaine, que foi uma amiga mais que especial neste momento, que me deu os melhores conselhos e as melhores diversões, por me direcionar a ser uma pessoa íntegra e servir de espelho para o que eu quero me tornar um dia.

Agradeço a minha amiga de faculdade Ana, por sempre estar comigo independente de nossas diferenças, por me apoiar e estar sempre feliz por mim, além de me proporcionar as melhores conversas. Sou grata a todos os desabafos e todas as festas que fomos juntas (apesar de poucas), sem dúvidas de que sem sua companhia o caminhar da faculdade não seria o mesmo.

À Thalita, por sempre me ajudar quando precisei e ser uma pessoa muito doce comigo. Sou grata também por aceitar e se dedicar a fazer este trabalho comigo. Agradeço também aos colegas de turma, que na maioria das vezes me ajudaram no decorrer da faculdade.

Ao VISER, nosso grupo de pesquisa que sempre rendeu bons aprendizados e boas risadas ao longo dos anos. Muito orgulho de fazer parte desse grupo de pesquisa destaque. Agradeço também ao GECET, por todo conhecimento e empoderamento que essas mulheres me deram.

Agradeço a todos os professores que me lecionaram durante o período da graduação, em particular, Letícia, Eduardo, Leonardo, Guilherme, Cláudia, Andreia, Lucas, José Francisco, Leandro, Kleber, John Fredy, Michael, Renivaldo, Claudio, Andrea, entre outros, que me ensinaram com propriedade e sempre postos disponíveis para tirar minhas dúvidas.

Por fim, agradeço aos funcionários da universidade, que com seu trabalho impecável fizeram do ambiente um lugar harmonioso de se estudar.

Thalita

Agradeço imensamente aos meus pais, Denise e Adriano, por todo apoio e incentivo e que em meio a tantas dificuldades sempre prezaram pela minha saúde física e emocional, sendo suporte e pilar durante todos esses anos, amo vocês. Aos meus irmãos, Matheus e Esther, que me aconselharam, me incentivaram e estavam de braços abertos para tudo que eu precisava, amo ao infinito e além.

Com extremo carinho, agradeço aos meus orientadores e, também, amigos, Mari e Wallace, obrigada por terem acreditado em mim, mesmo quando eu não acreditava. Vocês foram fundamentais para o meu aprendizado, não apenas na graduação, mas como modelo de profissional e como pessoa. Obrigada por se tornarem meus amigos, onde pudemos compartilhar muitas histórias, risadas e aprendizado, vou carregar vocês para sempre no meu coração.

Gostaria de agradecer a todos os projetos que eu tive oportunidade de participar durante a graduação, principalmente as pessoas que compartilharam esses momentos comigo. VISER, obrigada por toda troca de aprendizados em diversos temas e pelos melhores churrascos. Agradeço à Atlética e ao Centro Acadêmico por me proporcionarem um local colaborativo com muito trabalho em equipe. Em especial, ao GECET, por terem me conectado com mulheres incríveis, que me inspiram e que me incentivam tanto.

Por me incentivarem a realizar o meu sonho de graduação, agradeço a Amanda, Gabi e Rebeca, vocês estiveram comigo durante todos os meus surtos e inseguranças segurando a

minha mão. Micaella, obrigada por ter me tratado como irmã logo nos primeiros dias de graduação, a nossa amizade e conexão são de extrema importância para mim, agradeço também a toda sua família por terem me acolhido. Alice, Vitória e Vitinho, obrigada por transformar a Travessa das Laranjeiras em nossa casa, onde tínhamos um local seguro para compartilhar nossas histórias e medos. Thiago, Lord, Renan, obrigada, por todos os cafés e energéticos compartilhados para estudar durante a graduação, eu não teria conseguido sem vocês, obrigada por terem me cativado. Samantinha, você é uma mulher forte que me inspira e me encoraja, obrigada por todas as parcerias durante todos esses anos.

Day, obrigada por estar comigo em todas as etapas da faculdade, me ajudando e me encorajando, seu carinho na hora de me ensinar diversas coisas durante a faculdade foi essencial para que eu chegasse até aqui. Obrigada também por ter aceitado esse desafio de escrever o TCC junto comigo.

Também gostaria de agradecer a todo o corpo docente da UNESP - Campus de Rosana, é de suma importância os diversos conhecimentos que obtive com vocês durante essa trajetória. Agradeço também aos colaboradores e que sempre estiveram dispostos a me auxiliar e zelarão para o bom funcionamento do Campus.

“Levanto a minha voz, não para que eu possa gritar, mas
para que aqueles sem voz possam ser ouvidos...”
Malala Yousafzai

RESUMO

Este trabalho tem como objetivos estudar a previsão da produção de etanol hidratado, da Região Sudeste, para o último trimestre do ano de 2021, bem como estimar o valor dos créditos de descarbonização (CBios) para a última quinzena de 2021. Para cumprir com tais objetivos, os seguintes modelos estatísticos foram implementados e explorados: ARIMA e SARIMA. Como forma de analisar seus desempenhos, foi utilizado o Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE). Uma breve revisão de literatura acerca do cenário energético brasileiro e do etanol foi realizada, além de uma análise final do etanol com o ativo CBio. Os resultados previstos incluem os valores de produção de etanol hidratado, em metros cúbicos, para os meses de outubro, novembro e dezembro de 2021, com uma percentagem de desempenho de 82% de exatidão para o modelo ARIMA, e 92,5% para o modelo SARIMA, ou ainda, um MAPE de 18% e 7,5%, respectivamente. Ao calcular os valores, em reais, do ativo CBio com a mesma abordagem anterior, os modelos ARIMA e SARIMA apresentaram uma exatidão de 99,3% e 98,9% pela métrica MAPE, respectivamente. Em relação à produção de etanol hidratado, a previsão indica uma queda de cerca de 30% em relação ao ano anterior, o que pode ser reflexo da pandemia da COVID-19, que também impacta nas metas de descarbonização do país por meio do CBio.

PALAVRAS-CHAVE: Etanol hidratado. Previsão de dados. CBio. ARIMA. SARIMA.

ABSTRACT

This work presents the forecast of hydrous ethanol production in the Southeast Region for the last quarter of the year 2021 and prediction of the value of decarbonization credits (CBios) for the last fortnight of 2021, using time series forecasting approaches. The models discussed were the ARIMA and SARIMA, widely recognized in the literature, and the mean absolute percentage error (MAPE) was used as a way to analyze the performance. A brief literature review about the Brazilian energy scenario and ethanol biofuel was carried out, in addition to a final analysis of ethanol with the active CBio. The predicted results include the hydrous ethanol production values in cubic meters for the months of October, November and December 2021, with a performance percentage of 82% accuracy for the ARIMA model and 92.5% for the SARIMA model, or even a MAPE of 18% and 7.5%, respectively. When calculating the values in reais of the CBio asset with the same approach as before, the ARIMA and SARIMA models showed an accuracy of 99.3% and 98.9% by MAPE, respectively. In terms of hydrous ethanol production value, November showed a drop of around 30% compared to the previous year, which may be related to the COVID-19 pandemic, which also impacts the country's decarbonization targets through CBio.

KEYWORDS: Hydrous ethanol. Forecast. CBio. ARIMA. SARIMA.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Participação das fontes de energia renováveis na Oferta Interna de Energia do Brasil.	21
Figura 2 – Evolução da participação das renováveis na matriz energética brasileira entre 2011 e 2020.	22
Figura 3 – Repartição dos tipos de fontes da Oferta Interna de Energia em 2020.	23
Figura 4 – Consumo de energia por setores em 2020.	23
Figura 5 – Consumo de energia nos transportes em 2020.	24
Figura 6 – Emissões totais de CO ₂ em 2020, dados em milhões de toneladas equivalentes.	24
Figura 7 – Intensidade de carbono na economia em 2018, dado em kg CO ₂ /US\$ _{ppp} .	25
Figura 8 – Venda de etanol hidratado e de gasolina C no Brasil pelas distribuidoras (mil m ³).	26
Figura 9 – Processo de produção de etanol de 1ª e 2ª geração.	28
Figura 10 – Esquema de funcionamento do RenovaBio.	31
Figura 11 – Fórmula de Cálculo da Nota de Certificação RenovaBio.	32
Figura 12 – Recorte da base de dados.	34
Figura 13 – Base de dados após limpeza (esquerda) e após a indexação da data (direita).	35
Figura 14 – Início e fim da base de dados utilizada para a previsão do preço do CBio.	36
Figura 15 – Produção real de etanol hidratado x Previsão da produção de etanol hidratado com o modelo ARIMA.	40
Figura 16 – Produção real de etanol hidratado x Previsão da produção de etanol hidratado com o modelo SARIMA.	41
Figura 17 – Comparação da previsão da produção de etanol hidratado para os meses de agosto a dezembro de 2021 com os modelos ARIMA e SARIMA.	42
Figura 18 – Valor médio do CBio x Valor médio previsto pelo modelo ARIMA.	44
Figura 19 – Valor médio do CBio x Valor médio previsto pelo modelo SARIMA.	45
Figura 20 – Comparação modelo ARIMA e SARIMA x valor médio do CBio.	45
Figura 21 – Produção de etanol hidratado; Cotação média do CBio.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Metas do RenovaBio até 2031.	31
Tabela 2 – Cálculo para a Emissão de CBio.	33
Tabela 3 – Pipeline básico da metodologia proposta.	39
Tabela 4 – Comparação dos valores em m3 de produção de etanol hidratado do último trimestre dos anos de 2019, 2020 e previsto para 2021.	43
Tabela 5 – Comparação do MAPE para os modelos testados na previsão de produção de etanol hidratado.	44
Tabela 6 – Comparação do MAPE para os modelos testados na previsão do preço do CBio.	46

SUMÁRIO

1. Introdução	16
2. Objetivo Geral	18
2.1 Objetivos Específicos	18
3. Desenvolvimento	19
3.1 Referencial Teórico	19
3.1.1 Fontes Renováveis De Energia	19
3.1.2 Panorama Brasileiro	21
3.1.3 Etanol	25
3.1.4 Créditos De Descarbonização - Cbios	29
3.2 Metodologia	34
3.2.1 Coleta E Modelagem Dos Dados	34
3.2.2 Modelo Arima	36
3.2.3 Definição Do Modelo Sarima	37
3.2.4 Métricas De Desempenho	38
4. Resultados	40
4.1 Previsão Da Produção De Etanol Hidratado	40
4.2 Previsão Do Preço Do Cbio	44
4.3 Relação Entre A Produção De Etanol Com O Valor Do Cbio	46
5. Conclusão	48
Referências	50

1. INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico nas diversas áreas presentes no cotidiano da humanidade, tais como na medicina, agricultura, transporte, entre outras, elevou os índices de conforto e longevidade da população mundial. Com isso, a procura por recursos energéticos aumentaram significativamente, e os respectivos impactos ambientais se expandiram na mesma proporção, uma vez que os processos foram se tornando cada vez mais automatizados. Nesse sentido, manifesta-se uma preocupação ao redor do mundo acerca da busca por geração de energia para suprir essa crescente demanda, visando a conscientização das questões socioambientais (NASCIMENTO & ALVES, 2016).

Diante do atual cenário ambiental e de todas as consequências que o planeta vem sofrendo, como o aumento da temperatura média¹, derretimento das calotas polares, tempestades e enchentes, períodos mais secos, escassez de água, entre outros problemas climáticos que ocorrem, especialmente, devido ao uso dos combustíveis fósseis como principal fonte de energia, fontes renováveis e combustíveis mais limpos vem sendo cada vez mais empregados para integrar a matriz energética.

De uma forma geral, a expectativa atual é composta pelo desejo de garantir o desenvolvimento econômico com inclusão social, sem que ocorra uma agressão maior ao meio ambiente e à saúde humana. Uma alternativa para equilibrar este descompasso da utilização de fontes não renováveis, atrelada à questão ambiental, seria incentivar e fomentar a utilização da biomassa como fonte de energia primária e renovável (BORGES et al, 2017).

Mundialmente, a fonte mais utilizada para a produção de energia elétrica é proveniente de fontes fósseis e não renováveis, a saber: o petróleo, o carvão mineral e o gás natural. Essa grande dependência de fontes não renováveis de energia têm acarretado, além da preocupação permanente com o seu esgotamento, na emissão de gases tóxicos e poluentes e material particulado (NASCIMENTO & ALVES, 2016).

Dessa forma, as fontes renováveis de energia têm sido o foco de inúmeras pesquisas, impulsionadas por essas preocupações climáticas, especialmente em relação ao aquecimento global gerado pela utilização de combustíveis fósseis. Sendo assim, o emprego adequado das

¹ Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a temperatura média do planeta subiu 0,5°C nos últimos 100 anos, e estima-se que até o final do século ela suba mais 4°C.

fontes renováveis é um excelente modo de suplementar as fontes fósseis e evitar danos ao planeta (NASCIMENTO & ALVES, 2016).

Diante do exposto, o presente trabalho busca contribuir com a produção energética sustentável, trazendo como foco, uma análise da tendência de produção do etanol, biocombustível obtido através do cultivo de plantas como cana-de-açúcar e milho. Além disso, será apresentada uma breve análise dos valores monetários do Crédito de Descarbonização (CBio). Apesar das duas aplicações parecerem distintas em um primeiro momento, busca-se contribuir, de maneira significativa e entrelaçada, com a literatura científica acerca dos temas de energia renovável, sustentabilidade, etanol e previsão de séries temporais.

2. OBJETIVO GERAL

O presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem como objetivo geral realizar a previsão de dados da produção de etanol hidratado da região Sudeste, além de prever o valor dos créditos de descarbonização, analisando o panorama previsto e relacionando-o com o mercado atual.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

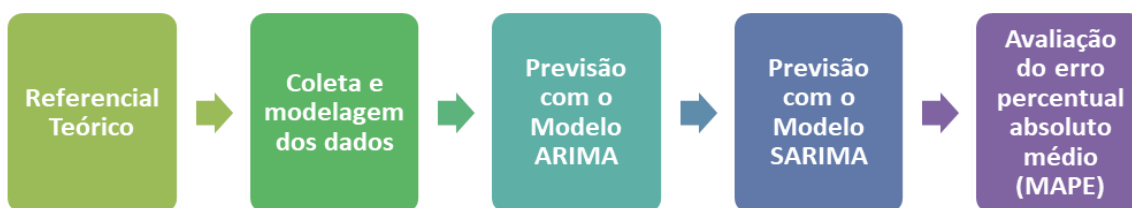
Como objetivos específicos, tem-se:

- Analisar a produção de etanol hidratado de anos anteriores e prever um período futuro, levando em consideração o cenário atual de produção;
- Analisar os chamados “créditos de descarbonização”, sabendo que cada unidade equivale a uma tonelada de CO₂ “evitada” na atmosfera;
- Prever os valores em moeda dos créditos de descarbonização para um período;
- Verificar o desempenho dos modelos de previsão utilizados;
- Contribuir para o portfólio da literatura brasileira de biocombustíveis.

3. DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo é destinado à apresentação de uma breve revisão teórica, além da metodologia adotada para o desenvolvimento deste trabalho, que se dividiu nas seguintes etapas, apresentadas no Fluxograma 1. A coleta, modelagem dos dados, previsão dos modelos e cálculo das métricas de desempenho, foram realizadas utilizando a ferramenta computacional *Colaboratory (Google Colab)*, que permite a escrita e execução de códigos em linguagem de programação *Python* no navegador, sem necessidade de instalação de *softwares*.

Fluxograma 1 – Etapas de desenvolvimento da proposta do trabalho.



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.1 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1.1 FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA

A definição de energia renovável pode ser exemplificada, segundo COSTA & PRATES (2005), como “uma expressão usada para descrever uma ampla gama de fontes de energia que são disponibilizadas na natureza de forma cíclica”. Essas fontes de energias renováveis têm a capacidade de gerar eletricidade, calor ou produzir combustíveis líquidos para o setor de transportes, por meio de processos de conversão. Por exercer um papel importante para a sustentabilidade do sistema energético, essas fontes devem estar, cada vez mais, inseridas nas políticas energéticas dos países (COSTA & PRATES, 2005).

Dentre as energias alternativas renováveis mais conhecidas atualmente, encontram-se a eólica, solar, hidráulica e de biomassa. A utilização dessas energias alternativas renováveis, em substituição aos combustíveis fósseis, têm se mostrado viável e vantajosa, pois além de serem praticamente inesgotáveis, as energias renováveis podem apresentar um impacto

ambiental muito baixo em comparação com as fontes fósseis, além de não afetar o balanço térmico ou a composição atmosférica do planeta.

Além disso, aliado ao fato de serem opções ambientalmente corretas, essas fontes ainda permitem, em vários casos, a geração distribuída de energia. Assim, as geradoras que utilizam essas fontes alternativas costumam se localizar próximas aos centros de consumo, para atender às demandas de localidades isoladas (COSTA & PRATES, 2005).

O avanço nas tecnologias para o aproveitamento das fontes renováveis beneficia comunidades rurais e regiões distantes, bem como a agricultura por meio da autonomia energética e consequente melhoria na qualidade de vida dos habitantes (NASCIMENTO & ALVES, 2016).

Dessa forma, diversos países têm investido na ampliação da participação das fontes renováveis de energia na matriz energética e gerado um crescimento notável ao longo dos últimos anos. Porém, apesar dos esforços, sua contribuição na geração de energia mundial ainda é reduzida. Hoje em dia, os países industrializados e maiores consumidores contam fundamentalmente com fontes não renováveis de energia, e o esgotamento desses recursos ao longo do tempo implica em custos crescentes de produção (COSTA & PRATES, 2005).

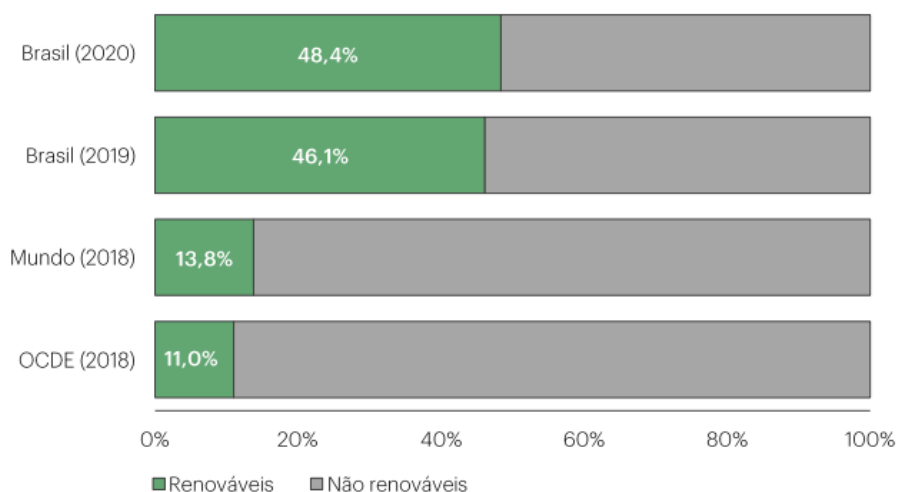
No Brasil, a presença de fontes renováveis na matriz energética é significativa, principalmente a hidroeletricidade e a biomassa para produção de biocombustíveis. Apesar da predominância de fontes renováveis, o Governo Brasileiro tem defendido, em negociações internacionais, a ampliação de novas fontes renováveis nas matrizes energéticas dos diversos países, como a eólica e a solar, de forma que os impactos futuros ao meio ambiente sejam atenuados (BONDARIK & PILATTI & HORST, 2018).

A implantação de fontes de energia renováveis é uma importante alavanca para descarbonizar o setor de energia e mitigar os efeitos das mudanças climáticas e, consequentemente, alcançar a segurança energética e a proteção ambiental, que são objetivos do avanço de uma economia com foco na sustentabilidade (SINSEL & RIEMKE & HOFFMANN, 2020). Dessa forma, para atender à proteção do clima e à eficiência dos recursos, é necessário o desenvolvimento de um mercado de bioenergia sustentável bem planejado (BÓRAWSKI et al, 2019).

3.1.2 PANORAMA BRASILEIRO

O desenvolvimento de fontes de energia renováveis é imprescindível no desenvolvimento da economia de um país, pois essas fontes garantem a segurança energética, além de ser um fator chave na descarbonização do setor de energia, como mencionado anteriormente. O panorama brasileiro na oferta interna de energia sofreu uma queda de 2,2% de energia em 2020 em relação a 2019, e fontes como a eólica, solar, biomassa da cana de açúcar e o biodiesel, contribuíram para que a matriz energética brasileira se mantivesse superiormente renovável em comparação com a média mundial, como pode ser visto na Figura 1. A redução das fontes não renováveis, como petróleo e gás natural, decorrentes de um ano atípico provocado pela pandemia do coronavírus, também contribuiu para o alto percentual renovável na matriz energética brasileira. A saber, a sigla OCDE remeta a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico.

Figura 1 – Participação das fontes de energia renováveis na Oferta Interna de Energia do Brasil.

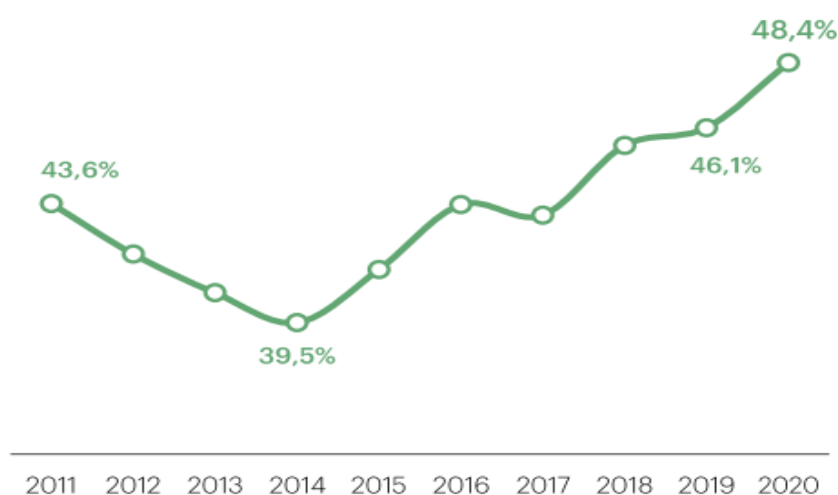


Fonte: Relatório Síntese BEN 2021.

Como pode ser observado na Figura 2, as fontes de energia renováveis cresceram 2,3% entre os anos de 2019 e 2020, fato que se deve, principalmente, em razão do aumento da oferta da biomassa da cana e do biodiesel (implantação de 12% de biodiesel no volume do diesel fóssil, conhecido como B12, em 2020), além do recuo do uso de combustíveis derivados do petróleo resultado pelas campanhas de proteção à COVID-19, incentivando as pessoas a permanecerem em casa, o que implicou na diminuição da circulação de veículos e, consequentemente, do uso de combustíveis. Além disso, houve uma queda da participação de

renováveis na matriz energética entre 2012 e 2014, dado principalmente pela dependência da geração hidrelétrica, visto que o ano de 2014 foi marcado pela pior crise hídrica no estado mais populoso do país, São Paulo, o que pode ter impulsionado o crescimento e diversificação de outras fontes renováveis.

Figura 2 – Evolução da participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira entre 2011 e 2020.



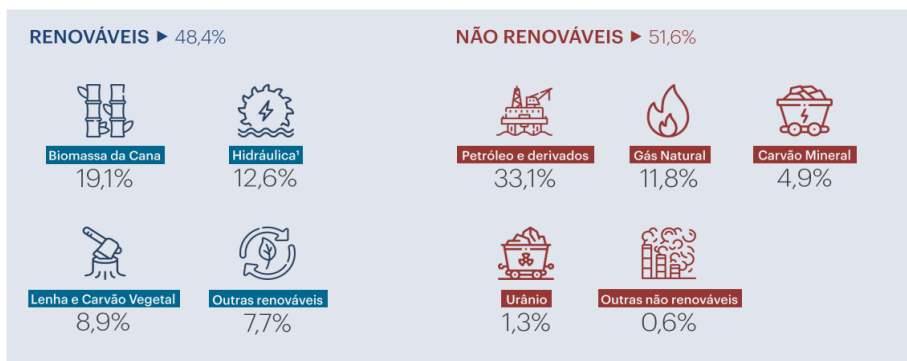
Fonte: Relatório Síntese BEN 2021.

Como pode ser visto na Figura 3, a maior contribuição das fontes renováveis vem da biomassa da cana, responsável por pouco menos da metade do total, com 19,1%, seguido da fonte hidráulica, com 12,6%, e das outras fontes renováveis com 7,7%.

Já em relação às não renováveis, a maior contribuição vem do petróleo e derivados, com 33,1%, seguido do gás natural e carvão mineral, com 11,8% e 4,9%, respectivamente. A elevada participação do gás natural na matriz energética brasileira se deve principalmente pelo uso como combustível das termelétricas em períodos de seca, além do seu uso no transporte, como o GNV - gás natural veicular.

Figura 3 – Repartição dos tipos de fontes da Oferta Interna de Energia em 2020.

Repartição da Oferta Interna de Energia (OIE) 2020



Fonte: Relatório Síntese BEN 2021.

Em relação ao uso de energia no Brasil em 2020, pode ser observado na Figura 4 que as indústrias predominam com 32,1%, seguidas dos transportes com 31,2% e do setor energético com 11,2%. As indústrias e as residências cresceram seu uso em 2020 em relação a 2019, enquanto o setor energético e de transportes decresceram, resultando em um cenário com uma redução de 2% de 2020 em relação de 2019.

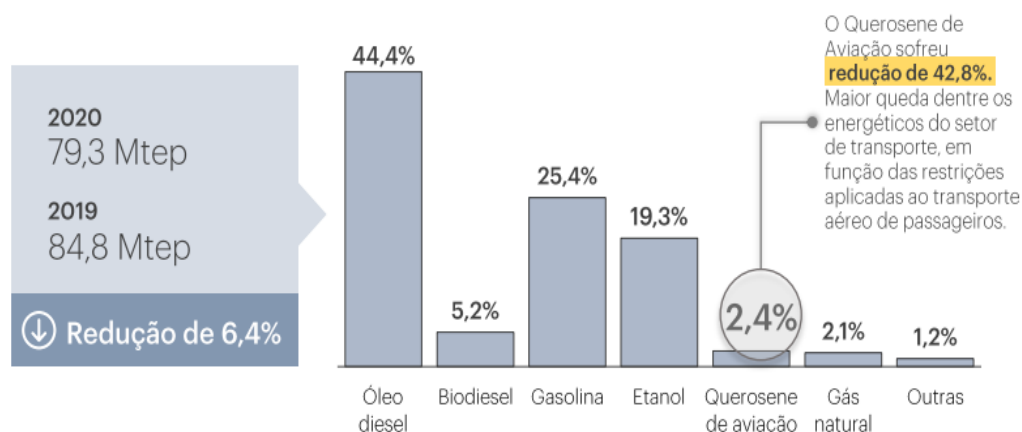
Figura 4 – Consumo de energia por setores em 2020.



Fonte: Relatório Síntese BEN 2021.

O consumo de energia nos transportes foi muito impactado pela pandemia da COVID-19 e sofreu redução de 6,4% em relação a 2019. O destaque, como pode ser visto na Figura 5, foi a queda de 42,8% do querosene de aviação e o aumento de 8,4% do biodiesel (como mencionado anteriormente, o uso do B12 é responsável por esse aumento). O consumo de etanol, gasolina e óleo diesel sofreram, respectivamente, uma queda de 12,3%, 6,1% e 1,1% em relação ao ano anterior.

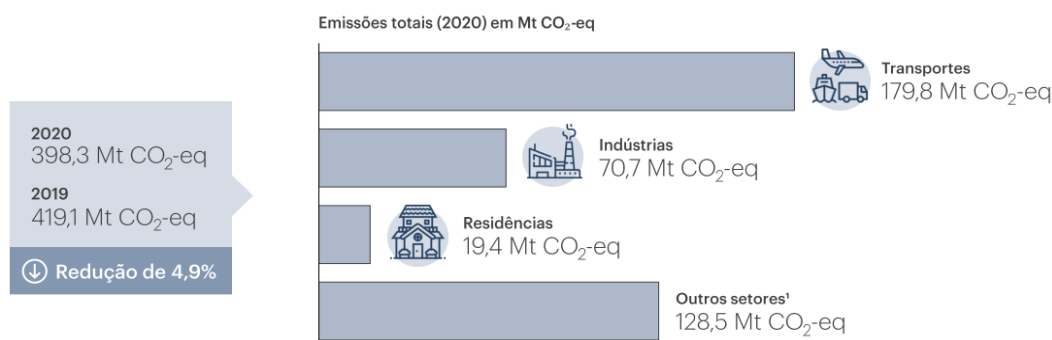
Figura 5 – Consumo de energia nos transportes em 2020.



Fonte: Relatório Síntese BEN 2021.

Relacionando a matriz energética brasileira (e seus consumos) com as emissões, foi contabilizado em 2020, quase 400 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_2\text{-eq}$), sendo quase 180 milhões de toneladas geradas no setor de transportes (ver Figura 6).. Em termos de emissões por habitantes, cada brasileiro emitiu, em 2020, uma média de 1,9 tonelada de dióxido de carbono equivalente, ou seja, cerca de 1/7 de total de um americano e 1/3 de um cidadão europeu ou chinês, com os dados relativos a 2018.

Figura 6 – Emissões totais de CO_2 em 2020, dados em milhões de toneladas equivalentes.

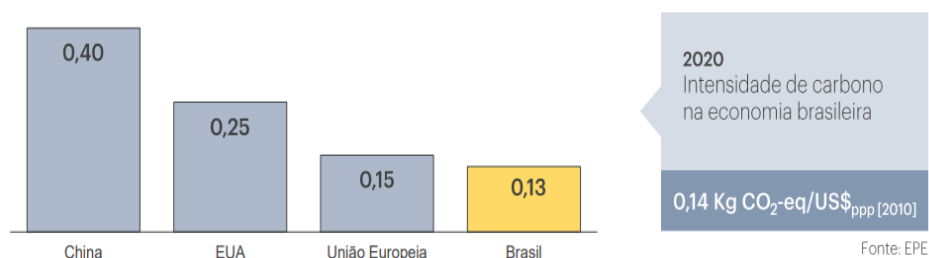


Fonte: Relatório Síntese BEN 2021.

Para cada tonelada equivalente de petróleo, o Brasil emite 72% do equivalente das emissões da União Européia, 64% dos EUA e 47% da China. Visto que o consumo energético no setor de transportes em 2020 diminuiu, era esperado que as emissões de CO_2 fossem menores que em 2019. Na Figura 7, vemos que a intensidade de carbono na economia do Brasil, em 2018, é de 0,14 Kg de dióxido de carbono equivalente por dólar americano, com

paridade de poder de compra. Isso significa que, para a geração de uma unidade de produto, a economia brasileira emite, na produção e consumo de energia, o equivalente a 33% da economia chinesa, 50% da economia americana e 85% da economia da União Europeia.

Figura 7 – Intensidade de carbono na economia em 2018, dado em kg CO₂/US\$_{ppp}.



Fonte: Relatório Síntese BEN 2021.

De uma maneira geral, o Brasil possui grande percentual de contribuição das energias renováveis em sua matriz energética, sendo mais do que o triplo do registrado pelo mundo em 2018. Entretanto, esse percentual ainda representa menos que o uso de energias não renováveis, de 51,6%. Além disso, o país ainda é muito dependente das hidrelétricas, o que é problema em cenários de pouca precipitação e crise hídrica, sendo necessário, nesses casos, acionar as termelétricas. A diversificação das fontes de energia renovável vem tomando espaço na matriz energética e novas tecnologias de geração estão sendo cada vez mais estudadas².

3.1.3. ETANOL

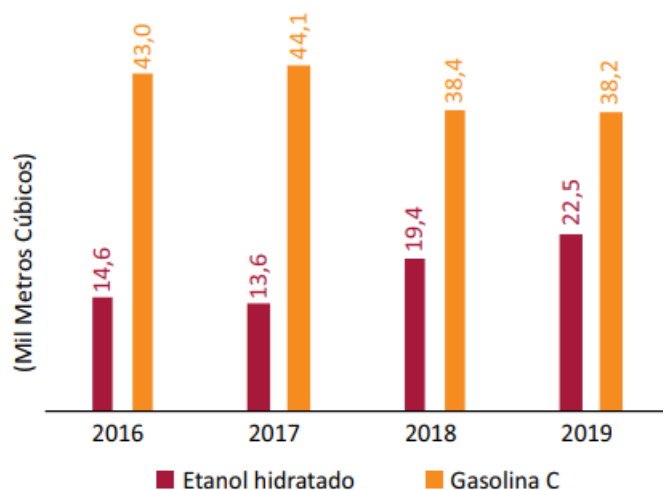
O etanol é uma substância química com fórmula molecular C₂H₆O, produzida especialmente via fermentação de açúcares, sendo um biocombustível utilizado em motores de combustão interna com ignição por centelha (Ciclo Otto), em alternativa à gasolina. Pode ser utilizado na forma de etanol anidro, como componente de mistura na formação da gasolina C ou como etanol hidratado, comercializado em todo o país como um combustível acabado. Na comercialização como combustível acabado, o etanol anidro recebe um corante laranja que só pode ser adquirido por agentes reguladores específicos, dificultando a fraude por meio de adição de água no produto e a venda do famoso “álcool molhado” (ANP, 2020).

² Todas as informações discutidas nesta seção foram retiradas do Relatório Síntese 2021 do Balanço Energético Nacional - BEN em relação ao ano base de 2020.

Em relação à produção deste biocombustível, o Brasil é o segundo maior país produtor do mundo, com 28% do volume total produzido, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, o qual tem a parcela de 58%. Além desses dois países principais, a Europa ocupa a 3ª posição, produzindo 5% do volume total mundial, a China segue com 3% e Canadá com 2%, e por fim outras regiões, que juntas, completam os 4% restantes.

A produção de etanol no Brasil está concentrada no Sudeste e Centro-Oeste, que juntos responderam por 90% da produção na safra 2019/20 (etanol de cana-de-açúcar e de milho). Nas últimas safras, as usinas com destilarias anexas tenderam a priorizar a produção de etanol, pois o fim da política de manutenção da estabilidade do preço da gasolina aumentou a competitividade do biocombustível nesse período. Assim, de 2017 a 2019, o consumo interno do etanol hidratado, utilizado nos veículos de combustível duplo (flex), saltou de uma média de 13 bilhões para aproximadamente 20 bilhões de litros, conforme pode ser visto na Figura 8 (VIDAL, 2020).

Figura 8 – Venda de etanol hidratado e de gasolina C no Brasil pelas distribuidoras (mil m³).



Fonte: Vidal (2020).

Os impactos da pandemia sobre a atividade têm se mostrado mais intensos do que o esperado, e ainda há muita incerteza em relação ao ritmo de retomada, já que se estima uma recuperação lenta dos mercados mundiais, fazendo com que a demanda por combustíveis siga pressionada.

Os Estados Unidos produzem etanol predominantemente a partir do milho, com um rendimento médio de 3.500 L por hectares de álcool de milho, isso devido às suas

ótimas condições climáticas para produção, enquanto o Brasil ainda concentra toda sua produção a partir da cana-de-açúcar, com rendimento médio de 7.000 L por hectare de álcool da cana-de-açúcar (ROSSETO et al, 2017). Recentemente, foi publicado na revista *Nature Climate Change*, que o etanol brasileiro pode substituir 13,7% do petróleo consumido no mundo (GIMENEZ et al, 2018; CORDELLINI, 2018).

Os EUA devem se manter como maior exportador de etanol baseado em milho e como importador de etanol de cana-de-açúcar, para atender ao programa LCFS (em português, Padrão de Combustível de Baixo Carbono da Califórnia) e o etanol brasileiro continuará com o mercado interno como principal comprador, visto que o etanol de cana produzido no Brasil não se mostrou competitivo no mercado externo, como era esperado.

Diante da retração da demanda por combustíveis e do câmbio favorável às exportações, o açúcar deverá continuar mais remunerador comparado ao etanol, assim, as expectativas são de que na próxima safra, maior percentual de cana-de-açúcar no Brasil seja direcionada para produção de açúcar em detrimento ao etanol (VIDAL, 2020).

A redução da produção será mais drástica para o etanol hidratado, enquanto o anidro acompanhará o volume de vendas da gasolina, aliado a um possível crescimento do uso do milho para produção de etanol no país. No Nordeste, o setor sucroenergético que vinha se recuperando lentamente da última crise, continuou apresentando queda no número de empregos formais e da área cultivada, no entanto, há expectativas de retomada da produção de açúcar, embora a produção de etanol tenha sofrido o impacto da elevação do preço do petróleo e da queda da demanda (VIDAL, 2020).

O processo produtivo do etanol inicia-se com a chegada da matéria-prima à indústria, onde amostras de cana são colhidas e levadas para análise. A cana é então lavada para a eliminação de terra e impurezas e conduzida para a realização do preparo básico. A extração do caldo pode ser realizada por difusão ou por moendas, sendo este último mais utilizado. O bagaço remanescente é levado para a planta de energia da indústria para ser utilizado para a cogeração de combustível através de sua queima. O caldo proveniente das moendas ou dos difusores deve ser submetido a um peneiramento, a fim de eliminar impurezas grosseiras (MANOCHIO, 2014).

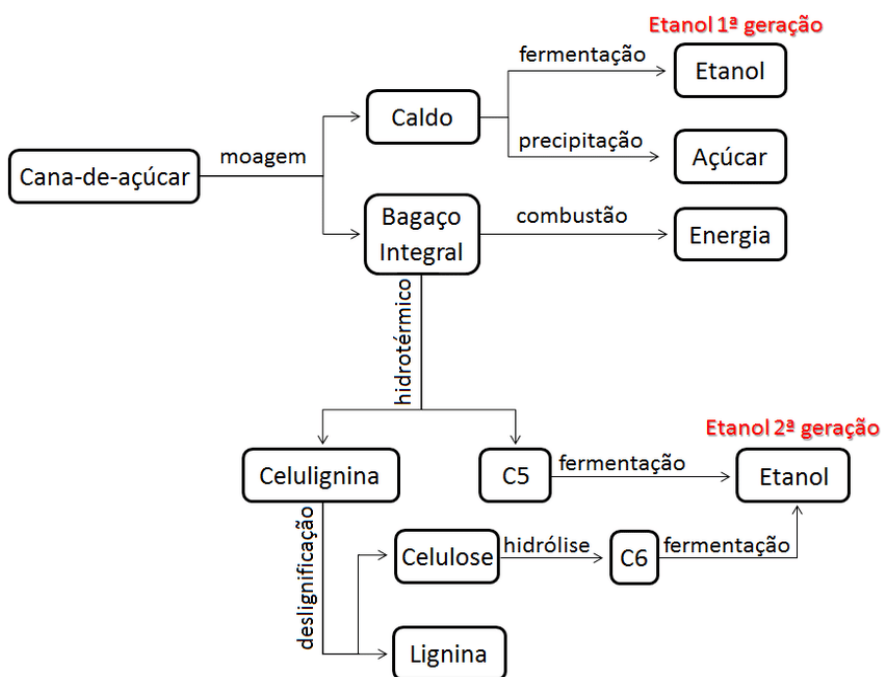
A produção de etanol utilizando cana-de-açúcar como matéria-prima, pode dar-se através da fermentação do caldo da cana de forma direta ou de misturas de caldo e melaço, este proveniente da produção do açúcar. O mosto, antes de chegar à fermentação, deve ser aquecido à temperatura de até 105°C para a eliminação de alguns microrganismos

contaminantes. Em seguida, deve passar por resfriamento para que sua temperatura esteja a aproximadamente 30°C para então ser enviado às dornas de fermentação. Nas dornas, são adicionados microrganismos (a levedura *Saccharomyces Cerevisiae*), chamados de “levedo”, “pé-de-cuba” ou “fermento”, de maneira que a fermentação dura cerca de 8 a 12 horas, período em que o caldo é transformado em vinho, que possui de 7% a 10% de álcool (MANOCHIO, 2014).

O biocombustível resultante da destilação do vinho encontra-se na forma hidratada, uma mistura binária de álcool-água (teor de 96° GL, etanol hidratado). Também com o caldo, após a precipitação, é produzido o açúcar, e o bagaço restante é queimado para geração de energia (ver Figura 9). O etanol anidro possui pelo menos 99,6°GL e é obtido por processo de desidratação do etanol hidratado (CORDELLINI, 2018).

Já o etanol de 2ª geração, ou etanol lignocelulósico, é obtido do bagaço da cana quando este não é queimado para outros fins, ou provenientes de palha de milho, sorgo, madeira, entre outras matérias primas. Este processo é feito por meio da separação da celulose e da lignina da matéria prima, feita hidrólise e fermentação, produzindo o etanol de segunda geração.

Figura 9 – Processo de produção de etanol de 1ª e 2ª geração.



Fonte: Novo (2016).

3.1.4 CRÉDITOS DE DESCARBONIZAÇÃO - CBios

Dentre as principais pautas de discussões mundiais, encontra-se a mudança climática e as concentrações de Gases do Efeito Estufa (GEE), devido ao seu impacto climático em razão do aumento da temperatura média do planeta, causando assim diversos desequilíbrios no ecossistema. A Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (Convenção do Clima), realizada em 1992, foi a primeira iniciativa mundial com o objetivo de estudar mais sobre os impactos de GEE e buscar alternativas para que as principais potências econômicas estabilizassem suas emissões. Outro evento de grande destaque nesse sentido, foi o terceiro encontro realizado na cidade de Kyoto, onde foi firmado o Protocolo de Kyoto, tratado internacional com compromissos para a redução dos GEE, propondo reduzir em média 5,2% das emissões de GEE para os anos de 2008 - 2012, em países industrializados (HORST & JUNIOR, 2020).

Como diversos países industrializados teriam relatado dificuldades de manter o acordo de redução de CO₂ emitido, foi desenvolvido o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), definido pelo artigo 12 do Protocolo de Kyoto. Por meio do MDL, os países em desenvolvimento poderiam vender créditos de carbono para abater nas emissões de países desenvolvidos que excederem a emissão de gases, incentivando o mercado sustentável e gerando as Reduções Certificadas de Emissões (RECs), conhecidas como créditos de carbono.

Outro acordo importante firmado foi o Acordo de Paris, que surgiu com o objetivo de substituir o Protocolo de Kyoto a partir de 2020. O acordo conta com 195 países (REI & GONÇALVES & SOUZA, 2017), e tem como principal objetivo fazer com que a temperatura média do planeta não suba mais que 2°C em relação ao período pré-industrial (BRASIL, 2017).

Um ponto relevante do acordo de Paris foi a definição das regras do Mercado do Carbono. Descrita pelo Artigo 6, essa regra definiu que os países que se dispuserem a contribuir para o Mercado de Carbono, o devem fazer de maneira sustentável, de forma a garantir a integridade ambiental e a transparência e governança neste processo, garantindo que não haja uma dupla contagem, respeitando as Orientações da Conferência das Partes (BRASIL, 2017). Para garantir essa estabilidade, no Brasil essa certificação está dentro das responsabilidades do Ministério de Ciência e Tecnologia, mais especificamente na Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima - CIM, a qual possui a responsabilidade de avaliar os projetos de RECs, além de propor uma atualização de Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC (FERNANDES, 2021; REI & GONÇALVES & SOUZA, 2017).

O Crédito de Descarbonização por Biocombustíveis - CBio, regulamentada pelo RenovaBio, é um ativo financeiro adquirido pelo produtor de biocombustíveis, que é negociado livremente na bolsa de valores, de maneira que uma unidade de CBio representa uma tonelada de Dióxido de Carbono, ou equivalente, evitado na atmosfera com base de referência o petróleo. O CBio é comprado principalmente por distribuidoras de combustíveis que precisam atender às metas de descarbonização estipuladas pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE).

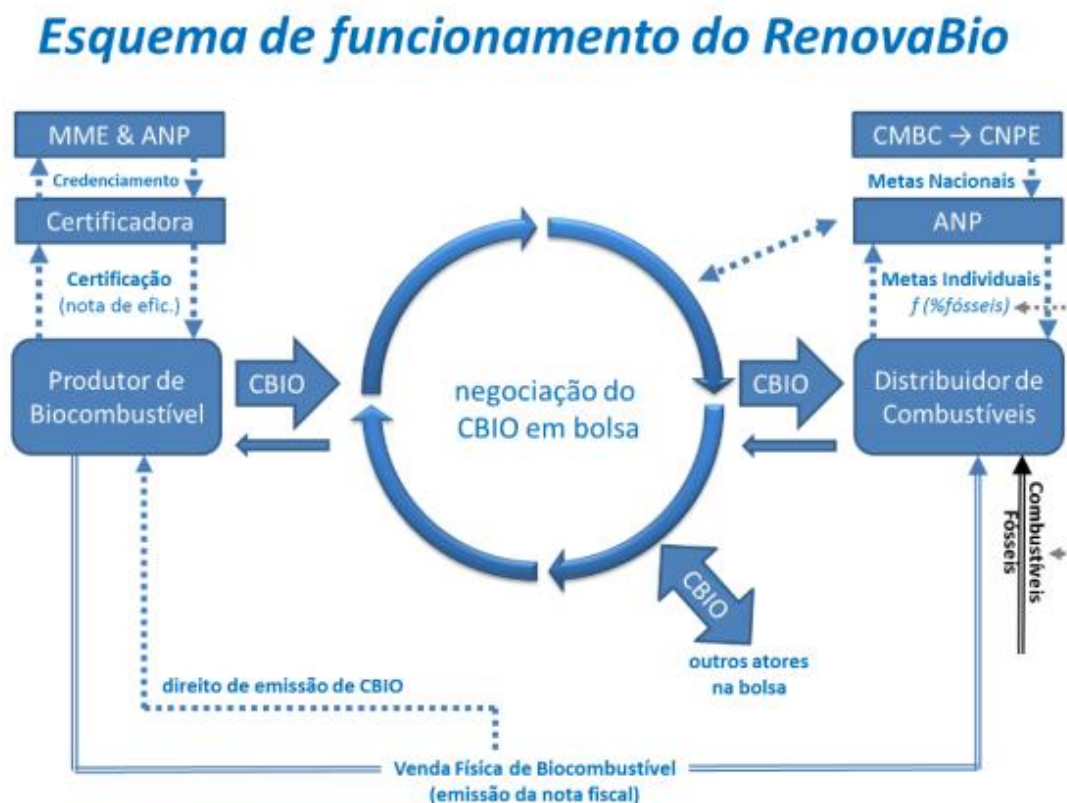
RenovaBio

O RenovaBio tem por objetivo cumprir com as metas estipuladas pelo Acordo de Paris, assim como integrar a política energética nacional no setor de combustíveis. Publicada por meio da Lei 13.576 de 2017, o programa tem um importante papel para a descarbonização no setor de transporte, além de aumentar a segurança de abastecimento de biocombustíveis, fortalecer e fomentar o setor de bioenergia no mercado nacional, e é balizado por seis valores base para o funcionamento do programa, sendo eles:

- **Credibilidade:** Garantir que tanto setores públicos quanto privados possam expressar suas visões, de forma transparente e com segurança e confiança;
- **Discussão:** Ampliar a discussão e difusão acerca dos biocombustíveis, reconhecendo a importância da comunicação eficiente entre os órgãos governamentais e os agentes privados;
- **Eficiência:** Estimular e beneficiar processos produtivos de produção de biocombustíveis mais eficientes, tanto no segmento agrícola, como no industrial, com o objetivo de obter um menor impacto juntamente com menor preço e entrega mais rápida;
- **Previsibilidade:** Seguir regras e parâmetros bem definidos por meios legislativos que tragam segurança jurídica para que haja interesse em investimentos de produção de biocombustíveis;
- **Sustentabilidade:** Estímulo à sustentabilidade econômica, social e ambiental, para uma geração de biocombustíveis no presente e no futuro.

A Figura 10 apresenta resumidamente o funcionamento do RenovaBio e do ciclo do CBio (MME, 2017).

Figura 10 – Esquema de funcionamento do RenovaBio.



Fonte: MME, 2017

As metas de descarbonização pelos biocombustíveis foram publicadas pela Resolução CNPE nº 15/2019, que define as metas compulsórias para o Programa RenovaBio, assim como suas tolerâncias. Infelizmente a meta foi flexibilizada no ano de 2020 devido a Pandemia da COVID - 19, adotando os valores do despacho da Presidência da República Nº 37, de 20 de agosto de 2020. A projeção das metas de emissões de CBios até 2031 está representada pela Tabela 1.

Tabela 1 – Metas do RenovaBio até 2031.

ANO	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Meta Anual (Milhões de CBIOs)	35,98	42,35	50,81	58,91	66,49	72,93	79,29	85,51	90,67	95,67
Intervalos de Tolerância (Limites Superior e Inferior)	-	50,85	59,31	67,41	74,99	81,43	87,79	94,01	99,17	104,17
	-	33,85	42,31	50,41	57,99	64,43	70,79	77,01	82,17	87,17

Fonte: BRASIL, 2021.

A demanda de carbono evitada é definida pelo combustível a ser substituído, por exemplo no caso do etanol hidratado, a referência é a gasolina, assim como o biodiesel é o óleo diesel e na bioquerosene é a querosene. Essas equivalências são entregues pela calculadora RenovaCalc que, com os padrões adotados pela ANP, determina a quantidade de CO₂ evitado com a mesma quantidade de energia entregue, sendo como padrão de referência o gCO₂e/MJ.

A nota explicativa sobre a Proposta de Criação da Política Nacional de Biocombustíveis apresenta uma comparação de diferentes configurações de usinas de etanol e seus respectivos ganhos, quando há maior recuperação energética. Pela Figura 11, podemos ver que a gasolina (combustível de referência) emite 96gCO₂/MJ, já uma usina de etanol hidratado sem recuperação energética emite 46gCO₂/MJ.

A nota atribuída pelo desempenho do combustível é dada pela variação entre o combustível de referência, no caso a gasolina, e o desempenho do biocombustível, segundo a referência da calculadora RenovaCalc.

Figura 11 – Fórmula de Cálculo da Nota de Certificação RenovaBio.



Fonte: MME, 2017.

Para ilustrar os cálculos, vamos considerar um exemplo hipotético, assumindo que a equivalência energética do etanol é de 21,35MJ/1 litro, e que cada usina tenha uma produção de 30 mil litros. Sendo assim, cada usina produziu 640.500 MJ de energia. O próximo passo no cálculo é multiplicar a energia obtida em cada usina pela nota obtida. A Tabela 2 apresenta os CBIOs emitidos em cada um dos exemplos.

Tabela 2 – Cálculo para a Emissão de CBio.

Usina	Nota de Certificação (gCO ₂ e/MJ)	Volume Vendido (litro)	Fator de conversão (MJ/litro)	Energia Vendida (MJ)	Direito de emissão de CBio
	[a]	[b]	[c]	[d]=[b] x [c]	[e] = [a] x [d]
4	86	30.000	21,35	640.500	55
3	76	30.000	21,35	640.500	49
2	60	30.000	21,35	640.500	38
1	50	30.000	21,35	640.500	32

Fonte: MME, 2017.

Sendo assim, o CBio é uma espécie de moeda que pode ser muito valorizada no mercado secundário, como as moedas virtuais, mas com a vantagem de ter um lastro virtuoso, que é a mitigação de gases de efeito estufa na atmosfera. Assim, a valorização dessa moeda aumentará o valor do biocombustível, que agora seria calculado somando o produto físico mais esse produto financeiro, e isso será um grande fator de incentivo para produzir maiores volumes de biocombustíveis (GRASSI & PEREIRA, 2019).

No entanto, esse mecanismo pode levar a um incentivo para o uso excessivo dos recursos naturais e para o desmatamento. Portanto, para evitar os impactos ambientais, a lei deixa claro que somente os produtores que estiverem em conformidade com a legislação ambiental podem receber o CBios. Além disso, como o CBio estará no mercado internacional, que está atento às questões ambientais, o produtor terá um incentivo tanto para cumprir a legislação quanto para que outros produtores a cumpram, mantendo assim a credibilidade do título. Desse modo, a RenovaBio, além de criar um importante mecanismo para aumentar a previsibilidade do preço dos biocombustíveis e sua atratividade econômica, gera uma poderosa ferramenta para mitigar as mudanças climáticas no planeta e preservar o meio ambiente em nível nacional (GRASSI & PEREIRA, 2019).

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 COLETA E MODELAGEM DOS DADOS

Dentro da metodologia proposta, além da discussão aprofundada apresentada nas subseções anteriores, foram investigados e levantados os dados de produção de etanol entre os anos de 2012 e 2021, disponíveis pelo site oficial da ANP: [Produção de biocombustíveis — Português \(Brasil\) \(www.gov.br\)](http://www.gov.br). A base de dados fornece a produção mensal de etanol anidro e hidratado por estado brasileiro em metros cúbicos (ver Figura 12).

Figura 12 – Recorte da base de dados.

ANO	MÊS	GRANDE REGIÃO	UNIDADE DA FEDERAÇÃO	PRODUTO	PRODUÇÃO
2012	JAN	REGIÃO NORTE	RONDONIA	ANIDRO	0
2012	FEV	REGIÃO NORTE	RONDONIA	ANIDRO	0
2012	MAR	REGIÃO NORTE	RONDONIA	ANIDRO	0
2012	ABR	REGIÃO NORTE	RONDONIA	ANIDRO	0
2012	MAI	REGIÃO NORTE	RONDONIA	ANIDRO	0
2012	JUN	REGIÃO NORTE	RONDONIA	ANIDRO	0
2012	JUL	REGIÃO NORTE	RONDONIA	ANIDRO	0
2012	AGO	REGIÃO NORTE	RONDONIA	ANIDRO	0
2012	SET	REGIÃO NORTE	RONDONIA	ANIDRO	0
2012	OUT	REGIÃO NORTE	RONDONIA	ANIDRO	0
2012	NOV	REGIÃO NORTE	RONDONIA	ANIDRO	0
2012	DEZ	REGIÃO NORTE	RONDONIA	ANIDRO	0
2012	JAN	REGIÃO NORTE	ACRE	ANIDRO	0
2012	FEV	REGIÃO NORTE	ACRE	ANIDRO	0
2012	MAR	REGIÃO NORTE	ACRE	ANIDRO	0
2012	ABR	REGIÃO NORTE	ACRE	ANIDRO	0
2012	MAI	REGIÃO NORTE	ACRE	ANIDRO	0

Fonte: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP.

Como o interesse desse trabalho é o de realizar uma análise do etanol utilizado como biocombustível, aliado a uma análise com os CBios equivalentes e toneladas de carbono evitadas, decidiu-se por focar apenas nos dados de produção de etanol hidratado.

Dessa forma, o primeiro passo do trabalho consistiu em um refinamento dos dados excluindo os dados do etanol anidro, e mantendo os dados de apenas uma região para análise: a região sudeste, que concentra o estado com maior produção de etanol do Brasil: São Paulo. Sendo assim, no fim, obteve-se uma base de dados contendo apenas a produção mensal de etanol hidratado na região Sudeste entre os anos de 2012 e 2021.

Para prosseguir com os próximos passos, indexou-se a coluna de meses na base de dados, para facilitar a manipulação dos dados na hora da previsão. Além disso, realizou-se a análise de sazonalidade da produção de etanol, para que a previsão fosse adequada.

Conforme apresentado na Figura 12, a base de dados disponibilizada pela ANP fornece os dados separados mensalmente por região e estado, com informações de produção

do etanol anidro seguido de informações de produção de etanol hidratado. No recorte demonstrado, observa-se que a produção da região norte em 2012 não existiu.

Após o refinamento e modelagem dos dados de acordo com especificações descritas anteriormente, apresentamos um recorte na Figura 13, que mostra apenas a produção da região sudeste (soma da produção mensal de todos os estados da região) no lado esquerdo, e na direita observa-se a base de dados com a data indexada.

Figura 13 – Base de dados após refinamento (esquerda) e após a indexação da data (direita).

mês	producao	producao	
01-2012	39480,81	mês	
02-2012	19914,123	2012-01-01	39480.810
03-2012	14083,04	2012-02-01	19914.123
04-2012	258003,4	2012-03-01	14083.040
05-2012	892017,9	2012-04-01	258003.400
06-2012	769848,32	2012-05-01	892017.900
07-2012	1178224,145	...	...
08-2012	1267847,27	2021-05-01	1372959.170
09-2012	1112256,08	2021-06-01	1234524.601
10-2012	1052825,3	2021-07-01	1423389.363
11-2012	792273,9	2021-08-01	1452572.652
12-2012	389152,7	2021-09-01	1339376.061
01-2013	33687,338	117 rows x 1 columns	
02-2013	8371,872		
03-2013	58562,126		
04-2013	751661,721		

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para a previsão do preço médio do CBio foi utilizada como base de dados a série histórica disponibilizada pela B3³, principal bolsa de valores do Brasil, disponível em [Base por Ativos](#), buscando apenas pelas negociações definidas Ativo com o CBio - Crédito de Descarbonização. A base de dados disponível apresenta o dia da negociação, a quantidade de negociações firmadas no dia e os preços máximo, mínimo e médio do dia.

A base utilizada apresenta os preços somente em dias que ocorreram negociações, deste modo, havia dias sem negociação deste ativo na bolsa, entre eles, dias não úteis. Para que fosse possível trabalhar com o intervalo contínuo, foram adicionados à base todos os dias do ano, até mesmo os sem negociação. Os dias sem negociação receberam o mesmo valor do último dia de negociação realizada, por exemplo os sábados e domingos receberam os valores da sexta-feira. Com a base já atualizada, foram utilizados os dias e seus respectivos preços médios para a previsão dos últimos 15 dias de dezembro.

³ O nome B3 é abreviação para Brasil, Bolsa, Balcão.

A primeira compra firmada de CBio, confirmada pela B3, foi dia 15 de junho de 2020, data fixada como o primeiro dia na base de dados e 15 de dezembro de 2021 como o último dia. Na Figura 14 são apresentados o início e o final da base de dados atualizada.

Figura 14 – Início e fim da base de dados utilizada para a previsão do preço do CBio.

Dia	Valor do CBIO em R\$		
15/jun/20	50.50	29/nov/21	48.95
16/jun/20	50.50	30/nov/21	49.13
17/jun/20	50.50	01/dez/21	49.18
18/jun/20	50.50	02/dez/21	49.26
19/jun/20	50.50	03/dez/21	49.24
20/jun/20	50.50	04/dez/21	49.24
21/jun/20	50.50	05/dez/21	49.24
22/jun/20	50.50	06/dez/21	49.72
23/jun/20	50.50	07/dez/21	50.72
24/jun/20	50.50	08/dez/21	53.86
25/jun/20	15.00	09/dez/21	54.86
26/jun/20	15.00	10/dez/21	59.53
27/jun/20	15.00	11/dez/21	59.53
28/jun/20	15.00	12/dez/21	59.53
29/jun/20	15.00	13/dez/21	62.04
30/jun/20	15.00	14/dez/21	62.46
01/jul/20	18.00	15/dez/21	59.90

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2.2 MODELO ARIMA

Para a realização das análises temporais, utilizou-se o modelo de previsão de demanda Box-Jenkins, também conhecido como ARIMA (*Auto-Regressive Integrated Moving Average*). Esse modelo tem por finalidade compreender o comportamento da correlação seriada ou analisar a similaridade entre os valores de uma determinada série de tempo e, com base no comportamento desses valores, determinar previsões futuras. Os modelos de previsão baseados no ARIMA foram desenvolvidos para serem utilizados em análises de dados temporais com padrão forte de sazonalidade (BORSATO & CORSO, 2019).

O modelo ARIMA possui características flexíveis, permitindo ajustes e adaptações em seus parâmetros, contribuindo para que diferentes tipos de séries temporais sejam representados, assumindo assim, uma estrutura de correlação linear entre os valores das séries temporais. Estes processos são descritos pelos modelos Integrados Auto Regressivos de

Médias Móveis de ordens p, d, e q, respectivamente (TORRES et al, 2020).

A fórmula do modelo ARIMA é dada por:

$$\varphi(B)(1 - B)^d Z_t = \theta(B)\varepsilon_t \quad (1)$$

em que $\varphi(B)$ é o polinômio autorregressivo, $\theta(B)$ é o polinômio de médias móveis, ε_t é um ruído com média zero e variância σ^2 e d é a ordem de integração, isto é, o número de diferenças aplicadas à série para que esta se torne estacionária.

A escolha de modelos mais simples pode apresentar maior vantagem em relação à modelos mais complexos principalmente por não necessitarem de um elevado esforço computacional, sendo o ARIMA um método de enorme valor para área de previsão. Esse modelo é muito utilizado para prever mudanças durante um processo, além de ser considerado a técnica de previsão mais eficiente em ciências sociais, sendo usado extensivamente para séries temporais, como é o caso deste trabalho (SAÚDE, 2018).

3.2.3 DEFINIÇÃO DO MODELO SARIMA

Os modelos ARIMA procuram avaliar a correlação existente entre as observações da série em um determinado instante do tempo e seus antecessores, porém, algumas séries temporais exibem comportamentos cíclicos ou periódicos, indicando sazonalidade. Os modelos que contemplam as séries com essa característica são conhecidos como SARIMA (*Seasonal Auto-Regressive Integrated Moving Average*). O modelo SARIMA nada mais é do que o modelo ARIMA com parâmetros (p, d, q) acrescido de uma parte sazonal, com parâmetros (P, D, Q), que resulta em um modelo multiplicativo desses parâmetros, denotado pela equação (SANCHES et al, 2019; ASSIS et al, 2019; CUNHA et al, 2019):

$$\Phi_P(B^S)\varphi(B)\nabla_S D \nabla_{x_t} dx_t = \alpha + \phi_Q(B^S)\theta(B)\varepsilon_t \quad (2)$$

onde x_t representa a série estacionária, S é a ordem do componente sazonal, $\varphi(B)$ é o componente auto regressivo de ordem p, $\theta(B)$ é o componente de média móvel de ordem q, $\Phi_P(B^S)$ é o componente sazonal auto regressivo de ordem P, $\phi_Q(B^S)$ é o componente sazonal de média móvel de ordem Q e componentes ordinal e sazonal diferenciais $\nabla^d = (1 - B)^d$ e $\nabla_S^D = (1 - B^S)^D$, sucessivamente.

Como vantagens, além de serem relativamente simples, os modelos do tipo SARIMA podem eliminar a influência da periodicidade no processo de previsão e serem amplamente aplicados na previsão de séries temporais (SAÚDE, 2018).

3.2.4 MÉTRICAS DE DESEMPENHO

Para analisar a assertividade dos modelos preditivos implementados, utilizou-se métricas estatísticas a fim de calcular o desempenho dos modelos a partir do erro de previsão.

O Erro Médio Absoluto (MAE) é dado pela média dos erros em valores absolutos, tendo como equação (PAULO et al, 2021):

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t| \quad (3)$$

Já a métrica MAPE (Porcentagem Média do Erro Absoluto) é uma medida de acurácia da previsão do modelo e mede o tamanho do erro em porcentagem (LEME et al, 2020). Essa medida não é afetada por valores extremos, utiliza percentuais do erro e não depende da unidade dos dados, de maneira que quanto menor o MAPE, melhor é o modelo. Sua equação é dada por:

$$MAPE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{|y_t - \hat{y}_t|}{y_t} \times 100\%, \quad (4)$$

onde t é o período de tempo, y_t é o valor observado no tempo t e $\hat{y}_t$ é o valor da previsão no tempo t .

Em resumo, a ideia de aplicar métricas de desempenho seria analisar um valor comparativo entre os modelos, e assim, deduzir qual modelo apresentou melhor performance dado pelo menor valor resultante da métrica calculada (PAULO et al, 2021).

Abaixo na Tabela 3 é mostrado o pipeline básico do algoritmo desenvolvido e as principais funções utilizadas para a metodologia anteriormente citada.

Tabela 3 – Pipeline básico da metodologia proposta.

Algoritmo Base Para Previsão de Dados.
1. Importar as bibliotecas;
2. Carregamento e leitura dos dados;
3. Indexação da data na base de dados;
4. Treinamento do modelo ARIMA a base de dados com a função <i>ARIMA</i> ;
5. Plotagem do gráfico de treinamento do modelo ARIMA;
6. Previsão de dados com a função <i>arima.forecast</i> ;
7. Treinamento do modelo SARIMA a base de dados com a função <i>SARIMAX</i> ;
8. Plotagem do gráfico de treinamento do modelo SARIMA;
9. Previsão de dados com a função <i>sarima.forecast</i> ;
10. Plotagem do gráfico de comparação dos dados previstos com os modelos;
11. Cálculo da métrica MAPE com a função <i>mean_absolute_error</i> .
Fonte: Elaborado pelos autores.

4. RESULTADOS

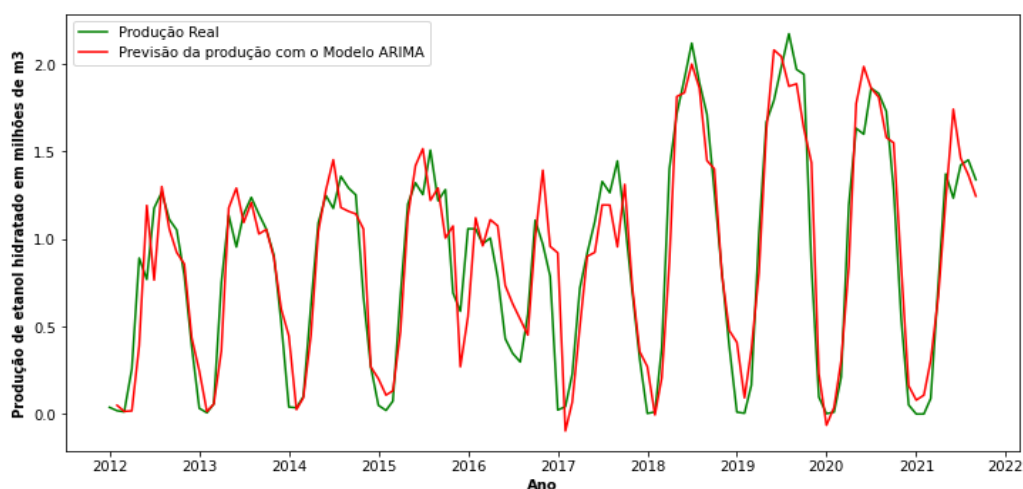
Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos com as previsões fazendo uso dos modelos ARIMA e SARIMA, para os dados da produção de etanol hidratado para o último trimestre do ano de 2021, e para o preço dos CBios para a última quinzena deste mesmo ano. Além disso, será apresentado o valor resultante do cálculo da métrica de qualidade MAPE e, por fim, a análise da relação desse biocombustível com o ativo CBio. A saber, como comumente estabelecido na literatura, foram utilizados dois terços do total da base de dados para treino dos modelos, e um terço restante para teste.

4.1 PREVISÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL HIDRATADO

A previsão da produção de etanol hidratado foi realizada para os meses de outubro, novembro e dezembro de 2021. Os modelos ARIMA e SARIMA foram utilizados para a predição, e a métrica do erro de porcentagem média absoluta (MAPE) foi utilizada para analisar o desempenho do resultado.

Na Figura 15, pode ser visto como o modelo ARIMA se adequou à base de dados no período selecionado para o treinamento. De uma maneira geral, o modelo se comportou de forma satisfatória, embora tenha apresentado pequenos desvios nos picos positivos e negativos da produção.

Figura 15 – Produção real de etanol hidratado x Previsão da produção de etanol hidratado com o modelo ARIMA.

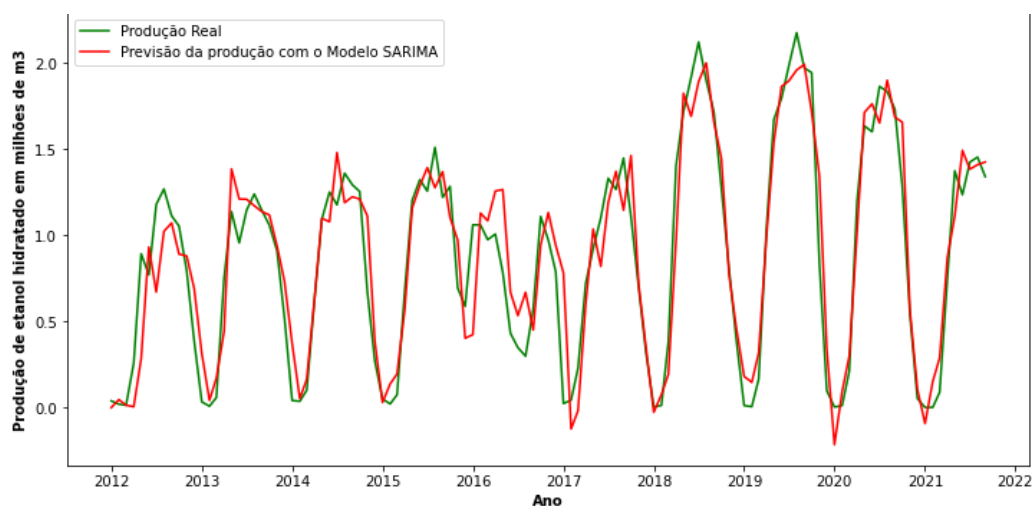


Fonte: Elaborado pelos autores.

Já o modelo SARIMA, que trabalha com quase os mesmos princípios do modelo ARIMA, mas com a adição de uma componente sazonal, apresentou o resultado ilustrado na Figura 16.

Como pode ser observado, apesar dos pequenos desvios, o modelo SARIMA se ajustou melhor à base de dados, devido à característica de sazonalidade presente na produção de etanol. Essa sazonalidade é relacionada com os períodos de colheita da cana-de-açúcar e com as características climáticas da área de cultivo, de maneira que os períodos de maior pico na produção ficam entre os meses de julho e outubro, e os de menor produção entre novembro e junho.

Figura 16 – Produção real de etanol hidratado x Previsão da produção de etanol hidratado com o modelo SARIMA.

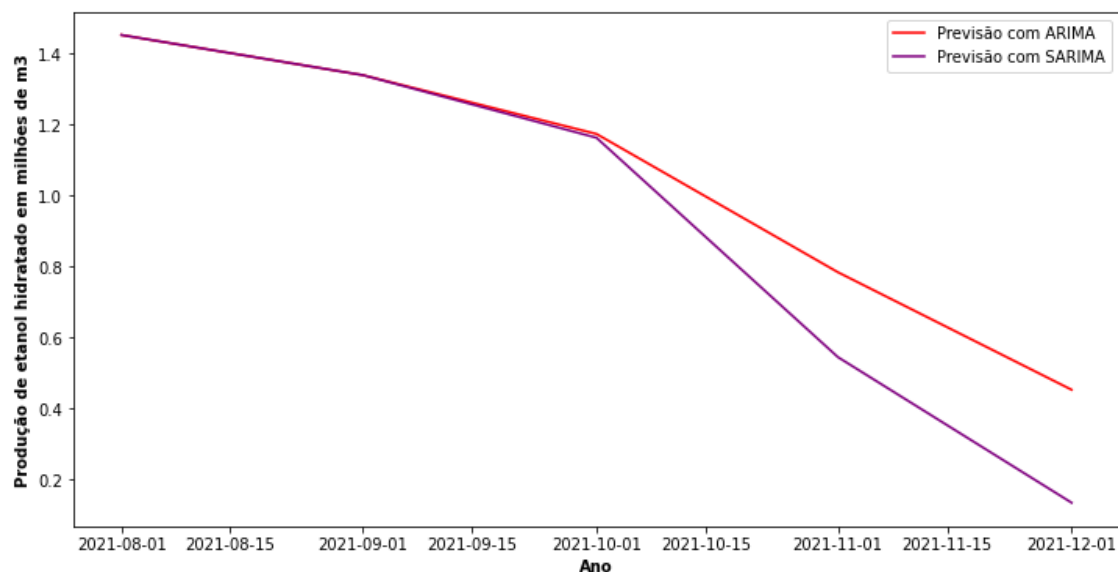


Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com a base de dados, a produção de etanol em setembro de 2019 foi de 1,96 milhões de m^3 , ou ainda, 1,96 bilhões de litros, enquanto a produção do mesmo mês em 2020 e 2021 foi de 1,73 bilhões de litros e 1,33 bilhões de litros, respectivamente. Isso demonstrou uma queda de 230 milhões de litros em 2020, o primeiro ano da pandemia, e de 630 milhões em 2021, ambos os resultados em relação a 2019.

Em termos de previsão dos dados futuros, a Figura 17 apresenta o gráfico da produção ajustada pelos modelos de agosto até outubro, e a previsão de produção de outubro até dezembro, comparando os modelos ARIMA e SARIMA. Enquanto o primeiro apresentou uma maior linearidade, o segundo previu os dados com maior flexibilidade.

Figura 17 – Comparação da previsão da produção de etanol hidratado para os meses de agosto a dezembro de 2021 com os modelos ARIMA e SARIMA.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Em outubro de 2021 foram previstos pelo modelo ARIMA 1,17 bilhão de litros de etanol hidratado, enquanto o modelo SARIMA previu 1,16 bilhões de litros, uma diferença de 10 milhões de litros entre as previsões. Comparando com a produção de 2020, a previsão foi de uma redução de 100 milhões de litros. Cabe aqui apontar que a produção do mesmo mês em 2020, comparando-se com 2019, registrou uma redução de 800 milhões de litros.

No mês de novembro, os dados reais de 2019 e 2020 foram de 841 e 538 milhões de litros de etanol hidratado produzido, respectivamente. O modelo ARIMA, para este mês, previu que 783 milhões de litros de etanol seriam produzidos, enquanto o modelo SARIMA, que considera uma componente sazonal, previu 544 milhões de litros para serem produzidos em novembro de 2021.

Por fim, para o último mês do ano foram registrados 98 e 53 milhões de litros em 2019 e 2020, e a queda prevista, segundo o modelo ARIMA, foi de 45 milhões de litros totais para 2021, e com modelo SARIMA, de apenas 13 milhões de litros (todos os dados apresentados encontram-se na Tabela 4).

Tabela 4 – Comparação dos valores em m^3 de produção de etanol hidratado do último trimestre dos anos de 2019, 2020 e previsto para 2021.

Ano/Mês	Outubro	Novembro	Dezembro	Total do trimestre
2019	1941911,48	841804,04	98149,99	2881865,52
2020	1283195,18	538560,52	53045,68	1874801,39
2021 (Previsão com ARIMA)	1173530,23	783444,97	45206,10	2002181,31
2021 (Previsão com SARIMA)	1162710,00	544029,80	13345,50	1720085,30

Fonte: Elaborado pelos autores.

O Observatório da Cana fez um levantamento da produção de açúcar e etanol anidro e hidratado para o mês de novembro de 2021, onde foi possível analisar parcialmente os dados previstos neste trabalho. A produção levantada para novembro, de etanol hidratado, alcançou 359,9 milhões de litros, registrando queda de 33% em relação ao ano anterior. O autor também visa que a dinâmica de mercado observada já era esperada, pois a perda de competitividade econômica do etanol hidratado tem promovido redução no consumo do renovável e já equacionou o equilíbrio de oferta e demanda. Essa condição, associada ao menor consumo de combustíveis leves, tem promovido quedas sucessivas no valor do hidratado.

Além disso, a queda de preço do etanol hidratado também tem promovido redução no valor do etanol anidro, pois os contratos de venda do produto vinculam o seu preço aqueles praticados para o hidratado. Essa condição indica que o aditivo pode contribuir para a redução do preço da gasolina (OBSERVATÓRIO DA CANA, 2021; G1, 2021).

Avaliando o desempenho dos modelos, confirma-se um melhor ajuste com o modelo SARIMA, visto que a métrica do Erro de Porcentagem Média Absoluta (MAPE) do modelo foi de um pouco menos do que a metade do valor do modelo ARIMA. Cabe aqui salientar que quanto menor o valor do MAPE, melhor para o modelo, visto que isso significa que o modelo está errando, em média, apenas esse valor de porcentagem na previsão. Assim, observa-se que o modelo SARIMA teve uma porcentagem de erro de pouco mais de 7,5%, ou seja, acertou 92,5% na previsão da produção, enquanto o modelo ARIMA teve uma porcentagem de erro de quase 18%, acertando cerca de 82% da previsão da produção de etanol (ver Tabela 5).

Tabela 5 – Comparação do MAPE para os modelos testados na previsão de produção de etanol hidratado.

Modelo	MAPE (%)
ARIMA	17,8
SARIMA	7,5

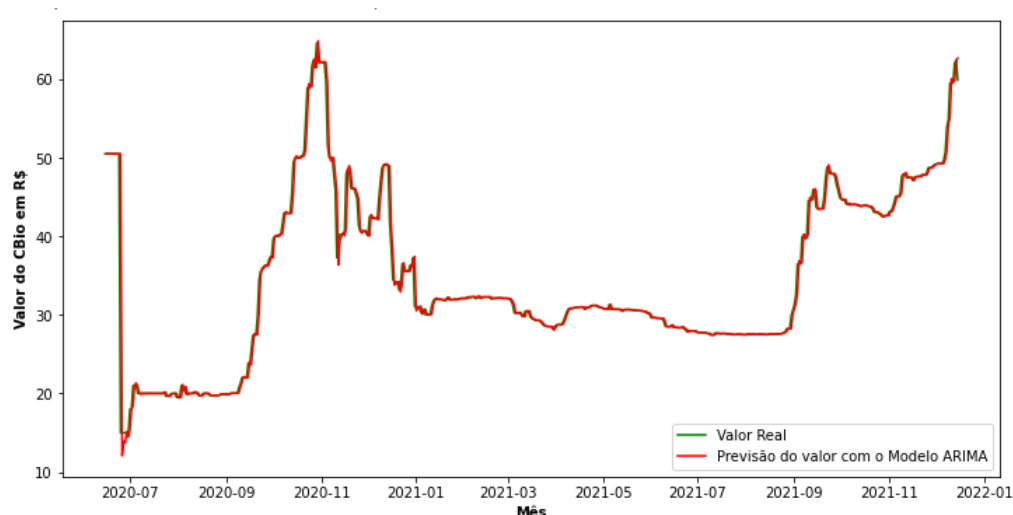
Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2 PREVISÃO DO PREÇO DO CBIO

Com a finalidade de prever o valor médio do CBio para os últimos dias de 2021, foi utilizado o valor médio de cada dia desde 15 de junho de 2020, quando foi comercializado o primeiro CBio pela B3. Os modelos ARIMA e SARIMA foram utilizados para prever os preços do final do ciclo de 2021, que é o período limite dado para as distribuidoras para que se cumpram as metas.

Na Figura 18, são apresentados os dados reais, obtidos na B3, e os dados ajustados pelo treinamento do modelo ARIMA. É possível observar que o modelo apresenta uma série de dados previstos muito próximo do executado.

Figura 18 – Valor médio do CBio x Valor médio treinado pelo modelo ARIMA.

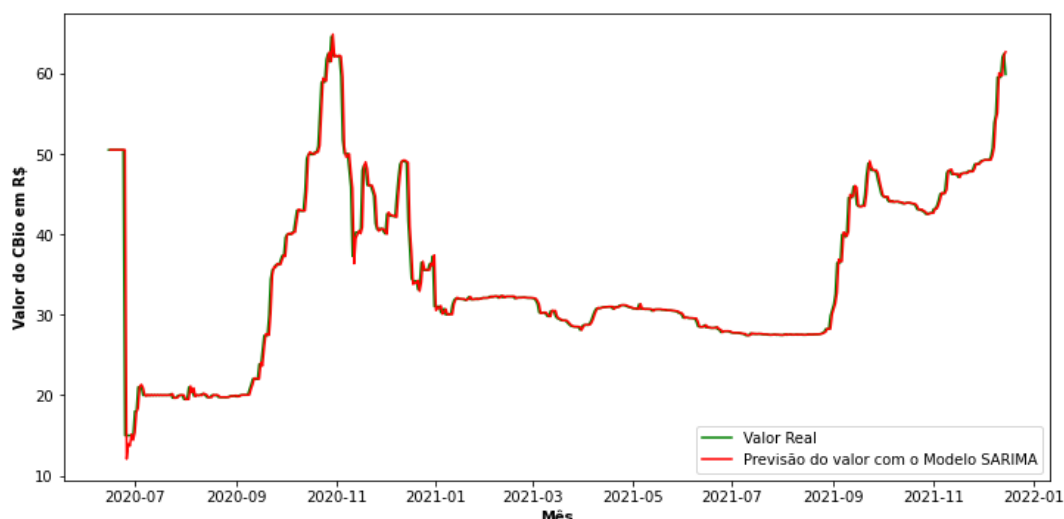


Fonte: Elaborado pelos autores.

Em relação ao método SARIMA, apresentado na Figura 19, a relação também apresentou um bom ajuste, mas com um pouco menos de precisão, possivelmente pelo fato de que os dados não apresentarem uma sazonalidade quando comparamos dados diários. É

provável que ao longo de alguns anos possa ser perceptível uma elevação dos preços no mês de setembro e uma queda em janeiro, já que o período de aposentadoria de CBios pelas distribuidoras ocorre até dia 31 de dezembro.

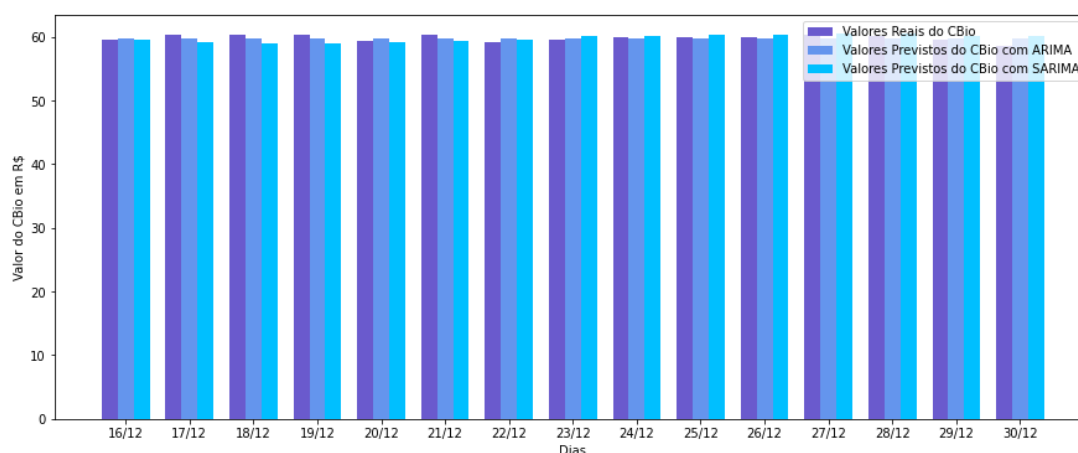
Figura 19 – Valor médio do CBio x Valor médio treinado pelo modelo SARIMA.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Pela Figura 20 podemos ver que o modelo realizou previsões coerentes com os valores reais, apresentando algumas pequenas divergências. Também podemos notar que o modelo ARIMA apresentou um erro menor se comparado com o SARIMA (ver Tabela 6), de modo que o ARIMA e SARIMA tiveram 99,27% e 98,9% de precisão, respectivamente.

Figura 20 – Comparação modelo ARIMA e SARIMA x valor médio do CBio.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 6 – Comparação do MAPE para os modelos testados na previsão do preço do CBio.

Modelo	MAPE (%)
ARIMA	0,73
SARIMA	1,11

Fonte: Elaborado pelos autores.

4.3 RELAÇÃO ENTRE A PRODUÇÃO DE ETANOL COM O VALOR DO CBIO

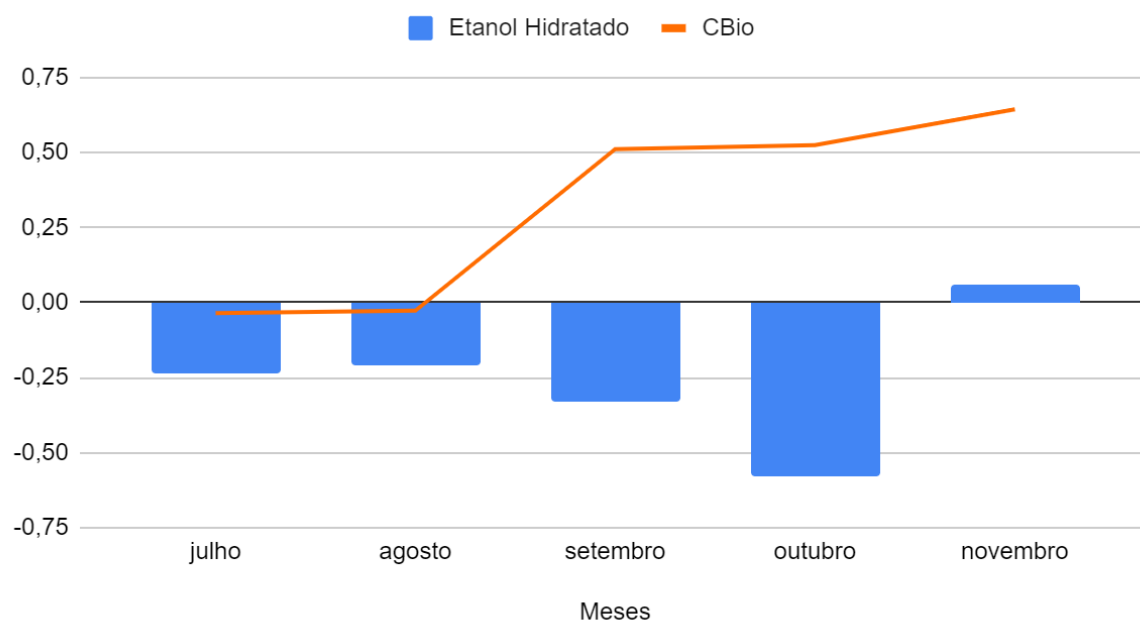
Atualmente, os principais biocombustíveis elegíveis para o programa do RenovaBio, são o etanol anidro, o etanol hidratado e o biodiesel. Dentre os biocombustíveis, o etanol hidratado é o que possui maior representatividade de produção, logo, a quantidade anual de CBio e o seu valor estão diretamente relacionados com a produção do mesmo.

A RenovaCalc é uma ferramenta desenvolvida com o objetivo de identificar os atributos ambientais de cada fonte e rota de produção para, deste modo, determinar a quantidade de carbono evitado. A cada tonelada de carbono evitada é gerada uma unidade de CBio, sendo que pela média nacional de produção, são necessários 1,12 m³ de etanol hidratado para a emissão de 1 CBio.

Com o modelo SARIMA foi prevista uma produção de 1,72 milhões de m³ de etanol hidratado para os meses de Outubro, Novembro e Dezembro de 2021, com isso poderiam ser emitidas aproximadamente 1,53 milhões de CBios, de modo que, no mesmo período, foram comprados 1,61 milhões de CBio. Como neste período o consumo foi maior que a demanda, o preço começou a aumentar gradativamente, obtendo os picos previstos para o final de dezembro.

Na Figura 21, apresentamos a variação da produção prevista, pelo método SARIMA, de etanol hidratado de julho até dezembro de 2021 com os dados de 2020 (em azul), juntamente com a valorização do CBio mês a mês (em laranja) tendo como valor base o mês de junho. É possível notar que no mesmo período em que o etanol tem grandes quedas na produção, o CBio apresenta cotações mais altas. Essa alta nos preços de CBio podem continuar elevadas devido à previsão de uma safra menor do que os anos anteriores.

Figura 21 – Produção de etanol hidratado; Cotação média do CBio.



Fonte: Elaborado pelos autores.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho de conclusão de curso foi apresentada uma discussão sobre fontes de energias renováveis e do ativo CBio, bem como a previsão da produção de etanol hidratado para o último trimestre do ano de 2021, para a região Sudeste, além de uma análise do biocombustível com o CBio.

Por meio dos modelos de previsão de dados ARIMA e SARIMA, foi possível verificar que a produção de etanol hidratado vem diminuindo desde o ano de 2020, devido à queda relacionada com a pandemia, principalmente em razão da recomendação do isolamento social, visando diminuir o fluxo de pessoas e mitigar a contaminação do novo coronavírus. Até 2019, a produção apresentava crescimento, e a partir de 2020 apresentou baixa em sua produção. Além da pandemia, isso se deve também pelo aumento do preço final observado, que leva os consumidores preferirem utilizar o combustível fóssil, a gasolina.

Como métrica de qualidade para analisar o desempenho dos modelos de previsão e a confiabilidade dos resultados, foi utilizado o MAPE. Para o modelo ARIMA, verificou-se um MAPE de 18%, enquanto o modelo SARIMA apresentou um valor de 7,5%. É desejável que este valor seja o menor possível, pois essa porcentagem representa, em média, o quanto o modelo errou na previsão.

A elevação (ou queda) da produção de etanol pode estar diretamente relacionada com os objetivos de descarbonização da matriz energética brasileira, assim como os benefícios provindos por programas de incentivo como o RenovaBio e o Combustível Verde. Esses programas garantem a estabilidade no setor de combustíveis, principalmente os biocombustíveis, mesmo com a tendência de outros países migrarem para veículos elétricos.

Na COP 26, o Brasil se comprometeu a reduzir em até 50% as suas emissões até 2018, em comparação com o ano de 2005. Com isso, o então Ministro do Meio Ambiente, Joaquim Leite, defendeu a produção de etanol, por ser um biocombustível que auxilia em uma economia circular e por sua disponibilidade descentralizada, além da possibilidade de produção de energia elétrica com seus resíduos, gerando uma cadeia com aproveitamento de 90%.

Mesmo com todos os incentivos e a relevância, tanto da cana de açúcar quanto do etanol, nesta safra houve uma queda na produtividade, mesmo apresentando viés de alta devido aos preços atrativos. Um dos impactos é devido foi elevada valorização da soja e do milho, que concorrem diretamente com a cana em seu espaço de cultivo. Outro fator são as

mudanças climáticas e a incidência de geadas em boa parte do país, comprometendo diversas plantações dentro do estado de São Paulo, o principal produtor do Brasil.

Por fim, é importante visar o contexto do etanol hidratado dentro da matriz energética brasileira, tanto como uma alternativa a combustíveis fósseis como contribuinte para a redução de emissões de gases de efeito estufa, por meio do ativo CBio.

REFERÊNCIAS

- Acompanhamento quinzenal da safra na região Centro-Sul. OBSERVATÓRIO DA CANA, Única, 2021. Disponível em: <<https://observatoriodacana.com.br/listagem.php?idMn=63>>. Acesso em: 30 nov. 2021.
- ANBIMA. Associação Brasileira de Entidades dos Mercados Financeiros e de Capitais. Guia de Operacionalização do CBIO. Disponível em: <<https://www.anbima.com.br/data/files/2B/23/E9/0F/FEF447101699D3471B2BA2A8/Guia%20de%20Operacionalizacao%20do%20CBIO.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2021.
- ANP. Ministério de Minas e Energia. Etanol, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/etanol>>. Acesso em: 01 out. 2021.
- ASSIS, Dhara Louise Campos de et al. Análise temporal preditiva de acidentes no trabalho: uma abordagem do modelo SARIMA. 2019.
- BEN, Balanço Energético Nacional. Análise da Conjuntura dos Biocombustíveis. Empresa de Pesquisa Energética, EPE. 2021.
- BONDARIK, Roberto; PILATTI, Luiz Alberto; HORST, Diogo José. Uma visão geral sobre o potencial de geração de energias renováveis no Brasil. Interciencia, v. 43, n. 10, p. 680-688, 2018.
- BÓRAWSKI, Piotr et al. Development of renewable energy sources market and biofuels in The European Union. Journal of cleaner production, v. 228, p. 467-484, 2019.
- BORGES, Ane Caroline Pereira et al. Energias renováveis: uma contextualização da biomassa como fonte de energia. REDE-Revista Eletrônica do Prodema, v. 10, n. 2, 2017.
- BORSATO, Renan; CORSO, Leandro Luís. Aplicação de Inteligência Artificial e ARIMA na Previsão de Demanda no setor metal mecânico. Scientia cum Industria, v. 7, n. 2, p. 165-176, 2019.

BRASIL, A resolução n.º 17, de 5 de outubro de 2021. Regulamenta a Lei Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. DOU Diário Oficial da União. Publicado no D.O.U. em 08 de novembro de 2021.

BRASIL, Agência Nacional de Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis. (2021). Orientações Gerais: Procedimentos para Certificação da Produção ou Importação Eficiente de Biocombustíveis.

CORDELLINI, Daniela Ferreira. O etanol na estrutura dos biocombustíveis no Brasil. Revista da FAE, v. 21, n. 1, p. 19-35, 2018.

COSTA, Ricardo Cunha da; PRATES, Cláudia Pimentel Trindade. O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado. 2005.

CUNHA, Karen Clara Leão da et al. Análise de radiação solar usando modelos Sarima e suavização exponencial de Holt Winters. 2019.

FERNANDES, Danilo Rangel et al. Análise dos fatores facilitadores e obstáculos para a implementação da gestão do risco empresarial no Brasil-Uma perspectiva de mudanças. Research, Society and Development, v. 10, n. 6, p. e10710615487-e10710615487, 2021.

GIMENEZ, Andres Rosello et al. O aumento da produtividade e a busca pela excelência na produção do etanol brasileiro: uma história de sucesso. Research, Society and Development, v. 7, n. 2, p. e1472195-e1472195, 2018.

GRASSI, M. C. B.; PEREIRA, G. A. G. Energy-cane and RenovaBio: Brazilian vectors to boost the development of Biofuels. Industrial crops and products, v. 129, p. 201-205, 2019.

HORST, Diogo José; JÚNIOR, Pedro Paulo de Andrade. Uma revisão sistemática sobre os mecanismos de monitoramento e captura, regulação de emissões e créditos de carbono. Energías Renovables y Medio Ambiente, v. 45, p. 51-62, 2020.

LEME, João Vitor et al. Towards assessing the electricity demand in Brazil: Data-driven analysis and ensemble learning models. Energies, v. 13, n. 6, p. 1407, 2020.

MANOCHIO, Carolina. Produção de bioetanol de cana de açúcar, milho e beterraba: uma comparação dos indicadores tecnológicos, ambientais e econômicos. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Química)–Universidade Federal de Alfenas. Poços de Caldas, MG, 2014.

MME, Ministério de Minas e Energia. RenovaBio. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveisrenovaveis/programas/renovabio/principal>>. Acesso em: 10 dez. 2021.

Mudanças Climáticas e Transição Energética, EPE. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdnenergia/clima-e-energia>>. Acesso em: 20 dez 2021.

NASCIMENTO, Raphael Santos; ALVES, Geziele Mucio. Fontes alternativas e renováveis de energia no Brasil: Métodos e benefícios ambientais. XX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VI Encontro de Iniciação à Docência. Universidade do Vale do Paraíba, 2016.

NOVO, Lísias Pereira. Novas perspectivas para uma biorrefinaria de cana-de-açúcar no Brasil. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PAULO, Juliana de Faria et al. Análise de incidentes de segurança usando séries temporais e modelos ARIMA. 2021.

Preço médio do etanol tem queda de 1,6% nos postos, segundo ANP. G1, 03 de dezembro de 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/12/03/preco-medio-do-etanol-tem-queda-de-16percent-nos-postos-segundo-anp.ghtml>>. Acesso em: 12 dez. 2021.

REI, Fernando Cardozo Fernandes; GONÇALVES, Alcindo Fernandes; SOUZA, Luciano Pereira de. Acordo de Paris: reflexões e desafios para o regime internacional de mudanças climáticas. Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável, v. 14, n. 29, p. 81-99, 2017.

ROSSETO, Ricielly Eloyze et al. Panorama do etanol brasileiro. Acta Iguazu, v. 6, n. 5, p. 13-22, 2017.

SANCHES, Camila Romão da Silva et al. Modelo Sarima Aplicado à Previsão de Demanda de Usuários de Transporte Público Entre Campos dos Goytacazes e São João Da

Barra. Revista Interdisciplinar Pensamento Científico, v. 5, n. 3, 2019.

SAÚDE, Lara Moura Silva. Análise comparativa entre os métodos auto-regressivo, integrado de médias móveis e rede neural artificial para previsão de séries temporais. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Itajubá.

SINSEL, Simon R.; RIEMKE, Rhea L.; HOFFMANN, Volker H. Challenges and solution technologies for the integration of variable renewable energy sources—a review. renewable energy, v. 145, p. 2271-2285, 2020.

TORRES, Eduardo Dabul et al. UTILIZAÇÃO DOS MODELOS ARIMA PARA PREVISÃO DA TAXA DE CHURN: ESTUDO DE CASO PARA UMA EMPRESA DE E-COMMERCE. Cadernos do IME-Série Estatística, v. 48, p. 36, 2020.

VIDAL, Maria de Fátima. Produção e uso de biocombustíveis no Brasil. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 4, n.79, maio 2019. (Caderno Setorial ETENE, n.79).