

RAPHAEL ORSINI ARDENGH

ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO PARA UM PRODUTOR BRASILEIRO DE AÇÚCAR E
ETANOL

São Paulo

2018

RAPHAEL ORSINI ARDENGH

ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO PARA UM PRODUTOR BRASILEIRO DE AÇÚCAR E
ETANOL

Trabalho de Formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do Diploma de Engenheiro de
Produção

São Paulo

2018

RAPHAEL ORSINI ARDENGH

ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO PARA UM PRODUTOR BRASILEIRO DE AÇÚCAR E
ETANOL

Trabalho de Formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do Diploma de Engenheiro de
Produção

Área de Concentração:
Engenharia de Produção

Orientadora: Celma de Oliveira Ribeiro

São Paulo

2018

Catálogo-na-publicação

Ardengh, Raphael Orsini

Estratégias de proteção para um produtor brasileiro de açúcar e etanol /
R. O. Ardengh -- São Paulo, 2018.
92 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1.Açúcar 2.Etanol 3.Contratos Futuros 4.Hedge I.Universidade de São
Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II.t.

Dedico este trabalho aos meus pais

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, meus maiores exemplos, por me apoiarem incondicionalmente em todas as decisões que tomei e por tornarem todas as minhas conquistas possíveis.

Agradeço aos meus irmãos, que me ensinam todos os dias mesmo sendo mais novos.

Aos amigos da faculdade, por grandes momentos vividos ao longo desse percurso.

À Professora Celma de Oliveira Ribeiro, que aceitou me orientar neste trabalho.

Por fim ao meu avô Cesar Francisco Orsini, que mesmo não presente na minha vida há muito tempo, me influenciou de alguma maneira a me tornar engenheiro pela Escola Politécnica da USP como ele.

RESUMO

Atualmente, o Brasil está entre os maiores produtores e exportadores de açúcar e etanol do mundo. Essas atividades são de extrema importância para a economia do país e para a sua população.

Em 1975, houve a criação do programa Proálcool, na tentativa de estimular a produção de etanol no Brasil e diminuir a dependência do país em relação aos combustíveis derivados do petróleo. Desde então, os produtores de açúcar começaram a aumentar a quantidade produzida de etanol derivado da cana-de-açúcar em suas usinas, que cresceu significativamente ao longo das últimas décadas.

Devido aos grandes custos logísticos e ao fato de tanto a plantação quanto a colheita da cana-de-açúcar serem realizadas majoritariamente por máquinas agrícolas movidas a diesel, o preço dos produtos finais encontra-se ainda de certa maneira dependente dos preços dos derivados de petróleo.

Sendo assim, um produtor brasileiro de açúcar e etanol estaria exposto, não só a variação no preço de mercado dos seus produtos, mas também ao preço dos derivados de petróleo. Neste trabalho, são criadas e avaliadas possíveis estratégias para que esse produtor consiga se proteger da variação de preços desses ativos utilizando-se contratos futuros.

ABSTRACT

Brazil is one of the biggest producers and exporters of ethanol and sugar across the globe, and those markets are very important for the Brazilian economy and for its population.

In 1975, the Proálcool program was created as an attempt to stimulate the Brazilian ethanol production, in order to ease the dependency of the country for fuels derived from crude oil. Since then, sugar producers started to produce also ethanol derived from sugar cane, and production have been increasing over the past decades.

Given the significant logistic costs and due to the fact that planting and harvesting activities are majorly done by machines that use diesel as a fuel, the price of the final goods is still somehow dependent on the prices of oil-based fuels.

Having this in mind, a Brazilian producer of sugar and ethanol would be exposed not only to the oscillation on the market price of the final goods produced, but also to the oscillation of prices from oil-based fuels. In this work, possible strategies have been conceived and evaluated to help a Brazilian producer to hedge himself against the price volatility on those assets using future contracts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produção anual de cana-de-açúcar em milhões de toneladas.....	17
Figura 2 - Produção anual de açúcar em milhões de toneladas	18
Figura 3 - Produção anual de etanol em milhões de m ³	18
Figura 4 -- Exportação anual de açúcar em milhões de toneladas.....	20
Figura 5 - Exportação anual de etanol em milhões de litros	20
Figura 6- Venda anual de veículos leves em milhares de unidades	21
Figura 7 - Venda anual de motocicletas em milhares de unidades.....	22
Figura 8 – Esquema simplificado da produção de açúcar e etanol a partir da cana-de-açúcar	24
Figura 9 - Mapa de produção de cana-de-açúcar no Brasil	25
Figura 10- Evolução histórica da área plantada de cana-de-açúcar por região	26
Figura 11- Produção de açúcar por macrorregião safra 2017/2018.....	27
Figura 12- Produção de etanol por macrorregião safra 2017/2018	28
Figura 13 – Exportação de açúcar por local de embarque, safra 2017/2018.....	29
Figura 14– Exportação de açúcar por local de embarque, safra 2017/2018.....	30
Figura 15- Logística de distribuição de Etanol.....	31
Figura 16 – Preço futuro vs spot. (a) Futuro maior que spot e (b) Futuro menor que spot	38
Figura 17 – Representação da relação risco x retorno de um portfólio genérico	47
Figura 18– Fronteira de eficiência de um portfólio genérico	48
Figura 19 – Distribuição genérica e VaR de (100-X%)	50
Figura 20 – Distribuição genérica, VaR e CVaR de (100- α %).....	51
Figura 21 – Comparação entre dois portfólios com mesmo VaR e diferentes CVaRs	51
Figura 22 – Representação das estratégias em função de n e m	54
Figura 23 – Séries históricas cotação açúcar spot vs açúcar futuro em USD.....	57
Figura 24 – Séries históricas cotação etanol spot vs etanol futuro em USD/m ³	58
Figura 25 – Fronteiras de eficiência para estratégias com $n = 1$	61
Figura 26– Fronteiras de eficiência para estratégias com $n = 2$	62
Figura 27 - Fronteiras de eficiência para estratégias com $n = 3$	62
Figura 28- Fronteiras de eficiência para estratégias com $m = 1$	63
Figura 29 – Fronteira de eficiência para as estratégias combinadas com $n = 1, 2, 3$	66
Figura 30 – Pesos por ativo para as estratégias combinadas com $n = 1, 2, 3$	67
Figura 31 – Exemplo de contrato Futuro de açúcar cristal com liquidação financeira	73
Figura 32 – Fronteira de eficiência para $m = 1$ e $n = 1$	83

Figura 33 – Fronteira de eficiência para $m = 1$ e $n = 2$	83
Figura 34 – Fronteira de eficiência para $m = 1$ e $n = 3$	84
Figura 35 – Fronteira de eficiência para $m = 2$ e $n = 1$	84
Figura 36 – Fronteira de eficiência para $m = 2$ e $n = 2$	85
Figura 37 – Fronteira de eficiência para $m = 2$ e $n = 3$	85
Figura 38 – Fronteira de eficiência para $m = 3$ e $n = 1$	86
Figura 39 – Fronteira de eficiência para $m = 3$ e $n = 2$	86
Figura 40 – Fronteira de eficiência para $m = 3$ e $n = 3$	87
Figura 41 – Pesos em cada portfólio para $m = 1$ e $n = 1$	88
Figura 42 – Pesos em cada portfólio para $m = 1$ e $n = 2$	88
Figura 43 – Pesos em cada portfólio para $m = 1$ e $n = 3$	89
Figura 44 – Pesos em cada portfólio para $m = 2$ e $n = 1$	89
Figura 45 – Pesos em cada portfólio para $m = 2$ e $n = 2$	90
Figura 46 – Pesos em cada portfólio para $m = 2$ e $n = 3$	90
Figura 47 - Pesos em cada portfólio para $m = 3$ e $n = 1$	91
Figura 48 - Pesos em cada portfólio para $m = 3$ e $n = 2$	91
Figura 49 - Pesos em cada portfólio para $m = 3$ e $n = 3$	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Crescimento médio do PIB real vs Setor Sucroalcooleiro 1988-2017	19
Tabela 2- Produção de açúcar por Estado safra 2017/2018.....	27
Tabela 3 - Produção de etanol por Estado safra 2017/2018	28
Tabela 4- Comparação entre contratos futuros e a termo	35
Tabela 5 – Resumo dos dados coletados	56
Tabela 6- n ideal para diferentes níveis de retorno esperado e CVaR(r) 95%.....	64
Tabela 7 – Combinação das estratégias com $n = 1, 2, 3$	65
Tabela 8 – Resultados para $m = 1$ e $n = 1$	78
Tabela 9 – Resultados para $m = 1$ e $n = 2$	78
Tabela 10 – Resultados para $m = 1$ e $n = 3$	79
Tabela 11 – Resultados para $m = 2$ e $n = 1$	79
Tabela 12 – Resultados para $m = 2$ e $n = 2$	80
Tabela 13 – Resultados para $m = 2$ e $n = 3$	80
Tabela 14 – Resultados para $m = 3$ e $n = 1$	81
Tabela 15 – Resultados para $m = 3$ e $n = 2$	81
Tabela 16 – Resultados para $m = 3$ e $n = 3$	82

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Contexto.....	13
1.2. Objetivo	14
2. O MERCADO DE AÇÚCAR E ETANOL NO BRASIL	17
2.1. Relevância.....	17
2.2. Produção no Brasil.....	22
2.2.1. Processo de Produção	22
2.2.2. Distribuição Geográfica	25
2.2.3. Logística.....	29
3. MERCADO DE FUTUROS E ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO.....	33
3.1. Definição de contratos futuros e a termo	33
3.2. O papel da bolsa na negociação dos contratos futuros	35
3.3. Funcionamento dos contratos futuros	36
3.4. Estratégias de proteção com contratos futuros	39
4. MEDIDAS DE RISCO E OTIMIZAÇÃO DE PORTFÓLIOS	43
4.1. Risco x Retorno	43
4.1.1. Retorno esperado	43
4.1.2. Variância e covariância.....	45
4.1.3. Modelo de Markowitz e fronteira de eficiência.....	46
4.2. Outras medidas de risco	48
4.2.1. Value at Risk (VaR).....	48
4.2.2. Conditional Value at Risk (CVaR)	50
5. METODOLOGIA	53
5.1. Descrição das estratégias	53
5.2. Descrição dos dados.....	56
5.3. Tratamento dos dados	58

6. RESULTADOS	61
7. CONCLUSÕES.....	69
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contexto

O Brasil encontra-se entre os maiores produtores de açúcar e etanol do mundo. Com a chegada da cana-de-açúcar em solo nacional no século XVI, o país tornou-se gradativamente uma peça importante no mercado de açúcar, exportando seus produtos para o mundo todo ao longo dos séculos. De acordo com a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA, 2018), estima-se que em 2017 foram exportadas cerca de 28.7 milhões de toneladas de açúcar, o equivalente a aproximadamente 11 Bilhões de dólares americanos.

Após o primeiro choque do petróleo em 1973, o aumento drástico nos preços dos combustíveis fósseis e o desequilíbrio causado no seu comércio, foram responsáveis por causar alta pressão inflacionária e crises em diversos países. A partir desse ponto, tornou-se evidente a necessidade de se buscarem fontes alternativas de energia a serem utilizadas no lugar dos derivados de petróleo. Considerando esse cenário, a produção do etanol proveniente do processamento da cana foi impulsionada pelo programa do Proálcool, criado em 1975, para que servisse como alternativa ao consumo de combustíveis fósseis derivados do petróleo, na tentativa de diminuir os impactos causados pelas grandes variações de preço e a dependência do país em relação a estes produtos.

No cenário brasileiro atual, o etanol produzido a partir da cana-de-açúcar possui grande importância não só para economia do país, mas também para a vida da população. Estima-se que o total de veículos flex-fuel vendidos em 2017 representem aproximadamente 96% dos veículos vendidos no país para o ano (UNICA, 2018), número que vem crescendo de maneira consistente ao longo das últimas décadas. Com base nisso, é de se imaginar que a variação de preços do etanol possui um grande impacto na vida da população brasileira como um todo. E, de acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA, 2017), o etanol proveniente da cana representou cerca 38% do consumo total de combustíveis em 2016.

Na safra 2017/2018, estima-se que 93% da produção sucroalcooleira esteve concentrada na região Centro-Sul do país, isso levando em conta a cana produzida, o açúcar e etanol (UNICA, 2018). Nessa região, além dos caminhões utilizados no transporte para escoamento

dos produtos derivados da cana-de-açúcar, a plantação e colheita da safra é feita majoritariamente por máquinas.

Os custos logísticos decorrentes do uso desses veículos e máquinas impactam o custo total da produção do etanol e do açúcar. Sendo assim, uma vez que a maioria desses veículos e máquinas utilizam diesel como combustível, a variação nos preços desse insumo tem impacto direto nos custos de produção dos produtos finais. Portanto, uma usina produtora de etanol e açúcar não estaria exposta apenas à variação do preço dos seus produtos finais, mas também à variação de preços dos combustíveis utilizados no seu processo produtivo.

1.2. Objetivo

Dadas as incertezas nos preços de negociação, não só dos produtos provenientes da produção sucroalcooleira, mas também dos preços dos insumos utilizados na plantação, na colheita da cana e transporte dos produtos finais, um produtor sucroalcooleiro encontra-se desprotegido e exposto à essas variações de preços. Para proteger-se dessas incertezas normalmente são utilizados contratos futuros, negociados em bolsa local e globalmente.

Neste trabalho serão estudadas estratégias de proteção utilizando-se contratos futuros, não só dos produtos finais como normalmente é feito, mas também de um insumo importante, o diesel, para que um produtor de açúcar e álcool consiga otimizar sua alocação de recursos, de maneira a diminuir ao máximo as incertezas e perdas do seu portfólio.

Para tal fim, dados históricos dos preços spot e futuros dos produtos envolvidos serão utilizados e as estratégias serão simuladas e comparadas utilizando-se um software para calcular o C-Var (que será descrito em detalhes mais a diante) de cada portfólio ótimo. Além disso, será feita uma análise de quanto tempo antes essa proteção deveria ser implementada para ser o mais eficiente possível.

Ao final, a ideia é que um produtor de açúcar e etanol, ou um banco que negocia *commodities*, como o qual o aluno está realizando seu estágio supervisionado, possa utilizar os resultados gerados pelo trabalho para realizar sua proteção de maneira eficiente, dado o seu nível de tolerância de risco e seu retorno esperado.

O uso de contratos futuros para tal fim também será discutido em detalhes mais adiante nesse trabalho, para que seja possível entender os mecanismos sob os quais funcionam e como isso contribui para a diminuição das incertezas presentes no mercado sucroalcooleiro. Além disso, serão abordados os processos de produção de açúcar e álcool no Brasil, bem como a sua importância econômica, que são temas fundamentais para a motivação e relevância desse estudo.

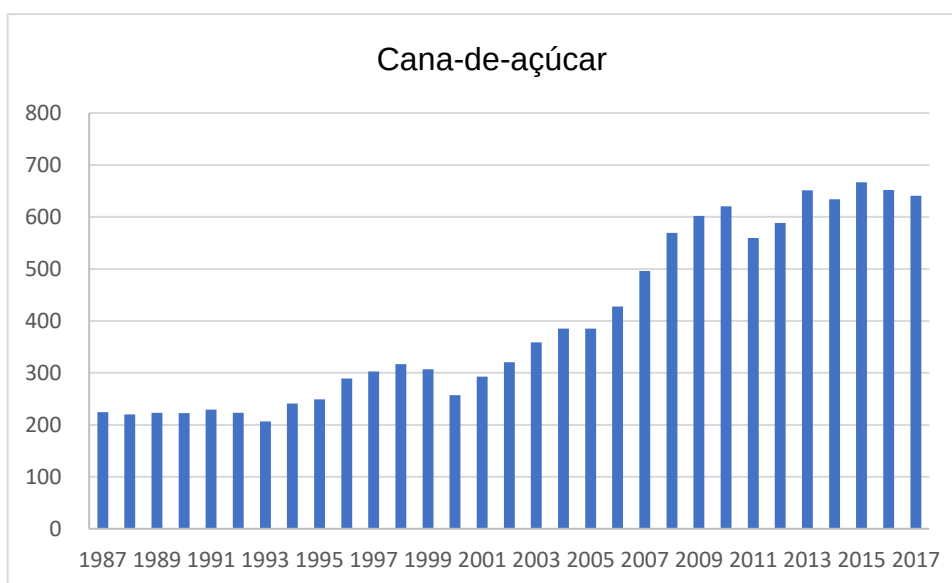
2. O MERCADO DE AÇÚCAR E ETANOL NO BRASIL

Nesta seção serão apresentados e analisados alguns dados que demonstram a importância do setor sucroalcooleiro para o Brasil. Em seguida, o processo de produção atual do açúcar e etanol será descrito, e, por fim, serão abordados aspectos logísticos de escoamento e transporte dos produtos.

2.1. Relevância

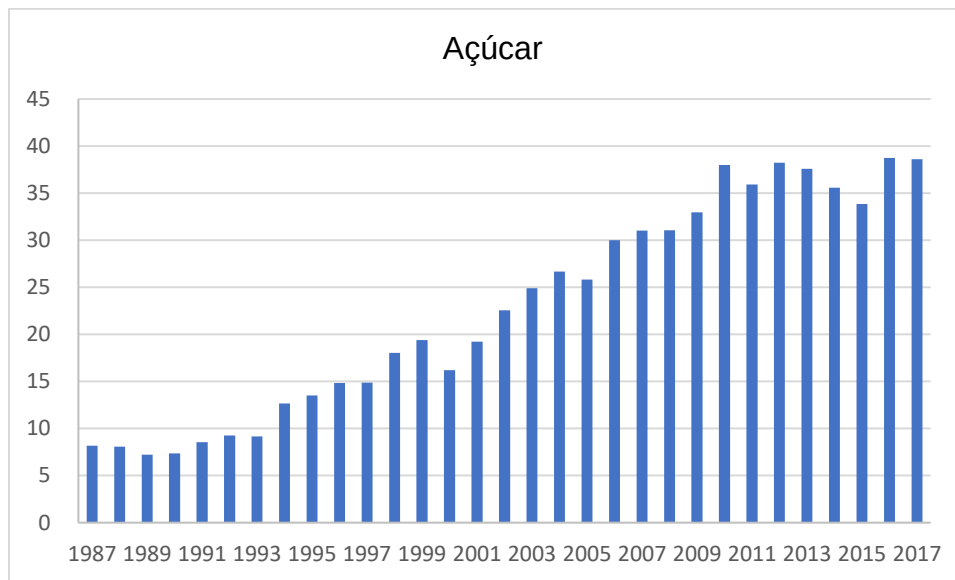
Conforme mencionado anteriormente, a atividade sucroalcooleira no Brasil é de suma importância não só para a economia do país, mas também para a vida dos brasileiros. Este mercado vem se expandindo de forma expressiva no Brasil, o que fica evidenciado nas figuras 1, 2 e 3 abaixo, onde é possível ver a evolução, ao longo das últimas duas décadas, das quantidades produzidas em território nacional para a cana-de-açúcar, açúcar e etanol, respectivamente.

Figura 1 – Produção anual de cana-de-açúcar em milhões de toneladas

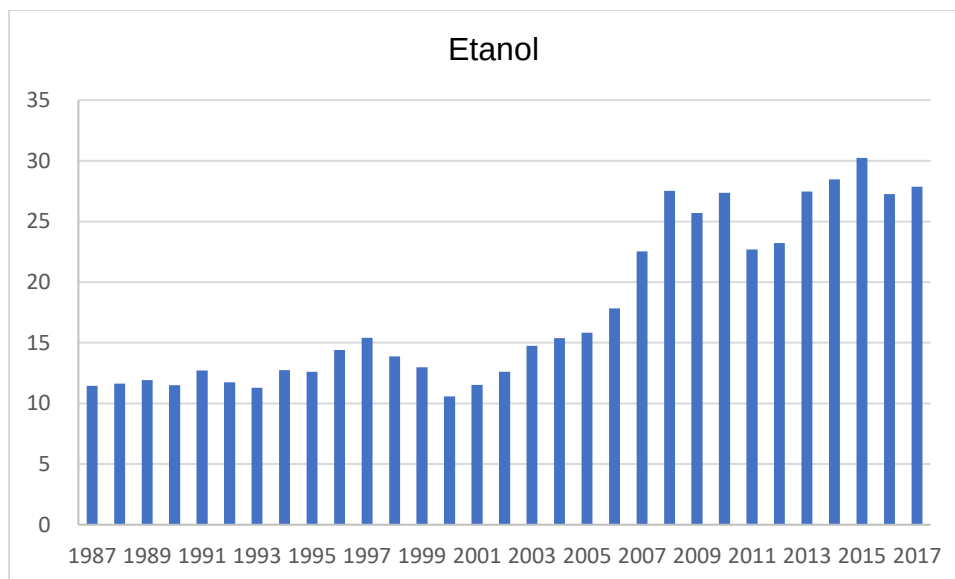


Fonte: Elaborado pelo autor, dados de (UNICA, 2018)

Figura 2 - Produção anual de açúcar em milhões de toneladas



Fonte: Elaborado pelo autor, dados de (UNICA, 2018)

Figura 3 - Produção anual de etanol em milhões de m³

Fonte: Elaborado pelo autor, dados de (UNICA, 2018)

A tabela a seguir mostra o crescimento médio da produção dos três produtos e a variação do PIB real Brasileiro para o mesmo período.

Tabela 1 – Crescimento médio do PIB real vs Setor Sucroalcooleiro 1988-2017

	Crescimento médio no período (%)
PIB real	2,2%
Cana-de-açúcar	3,9%
Açúcar	5.8%
Etanol	3.6%

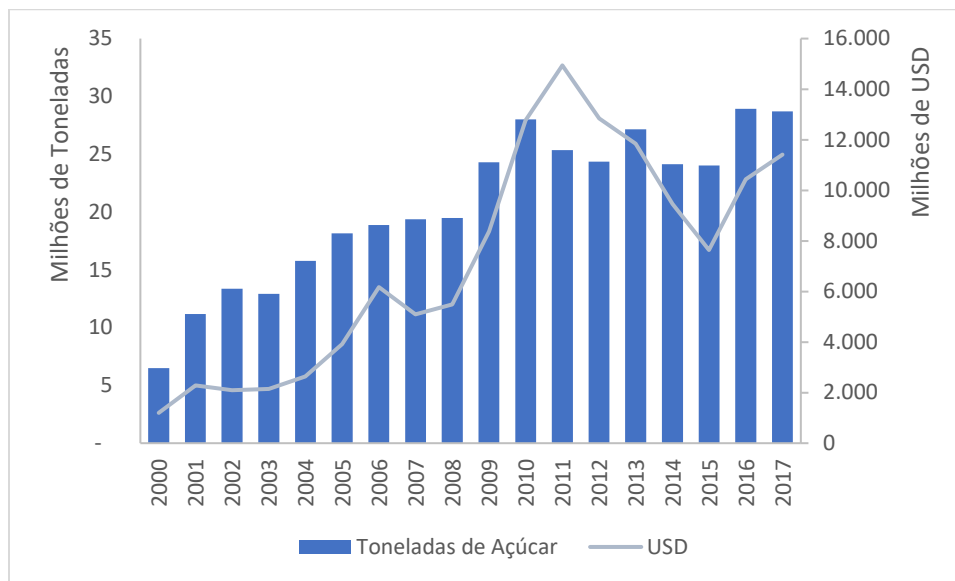
Fonte: Elaborado pelo autor, dados de (UNICA, 2018)

Analisando a tabela acima, e comparando o crescimento médio do período para a cana, açúcar e etanol contra o crescimento médio do PIB real para o mesmo período, é possível notar que em média o setor sucroalcooleiro vem crescendo em uma taxa maior do que a economia do país, tendo aumentado assim sua relevância dentro do cenário econômico nacional ao longo das últimas décadas. De acordo com (Marssal de Oliveira, Ribeiro, & Cicogna, 2018), no ano de 2015 o PIB do setor sucroenergético representava 1.9% do PIB brasileiro e de acordo com (UNICA, 2018), o PIB em 2017 foi equivalente a 43 bilhões de dólares, o equivalente a aproximadamente 2,1% do PIB brasileiro. Além disso, o Brasil é o maior produtor global de açúcar e segundo maior produtor de etanol de acordo com o departamento de agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2018).

Ao considerarmos exportações o Brasil encontra-se em primeiro lugar em ambos os produtos, tanto o açúcar (USDA, 2018), quanto o etanol (Nova Cana, 2018). Nas figuras a seguir, pode-se ver a evolução das exportações de açúcar e etanol ao longo dos últimos anos.

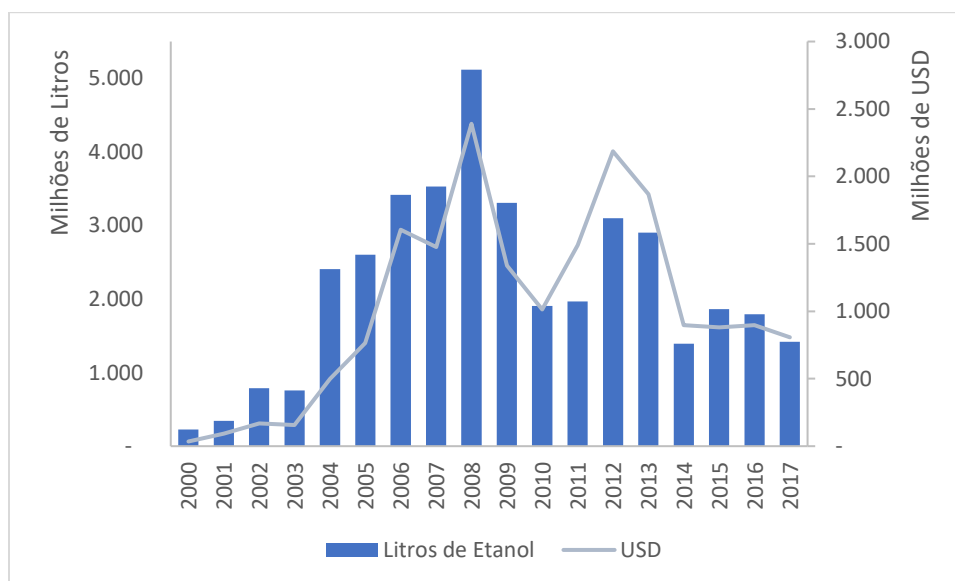
De acordo com o Jornal Globo Economia (GLOBO - G1, 2018), no ano passado as exportações brasileiras atingiram 217,74 bilhões de dólares, contra 150,75 bilhões de dólares em importações. Comparando-se os valores exportados em açúcar e etanol, o mercado sucroenergético teve participação de cerca de 5,6% nas exportações totais do Brasil no ano.

Figura 4 -- Exportação anual de açúcar em milhões de toneladas



Fonte: Elaborado pelo autor, dados de (UNICA, 2018)

Figura 5 - Exportação anual de etanol em milhões de litros



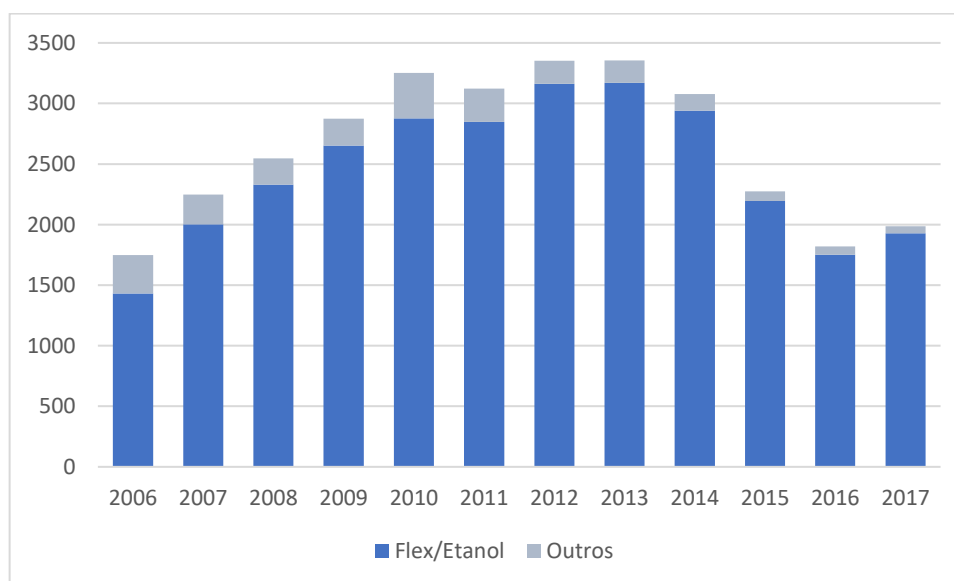
Fonte: Elaborado pelo autor, dados de (UNICA, 2018)

A maioria dos veículos leves produzidos e vendidos hoje em dia possuem motores que funcionam a álcool. No ano de 2017 estima-se que 75,7% da frota brasileira de veículos leves estejam nessa categoria. Por sua vez, o percentual para as motocicletas é menor, porém ainda assim expressivo. Em 2017 encontrava-se em cerca de 30,2% (UNICA, 2018). A seguir, podemos ver a evolução das vendas de veículos automotivos leves e motocicletas que possuem

essa tecnologia quando comparado aos seus pares que não funcionam utilizando etanol. Nos veículos leves é possível notar o aumento gradual da venda de carros “Flex” em relação aos “Não-Flex”, mesmo com a queda das vendas absolutas nos últimos anos. Ao analisar-se as motocicletas, percebe-se que antes de 2010, não foi vendida nenhuma unidade do tipo “Flex”, as quais tiveram um aumento considerável nos anos seguintes e caíram um pouco junto com a queda nas vendas absolutas. Em todo caso, as vendas de motocicletas *flex* ainda assim é expressiva, atingindo pouco mais de 200 mil unidades vendidas em 2017.

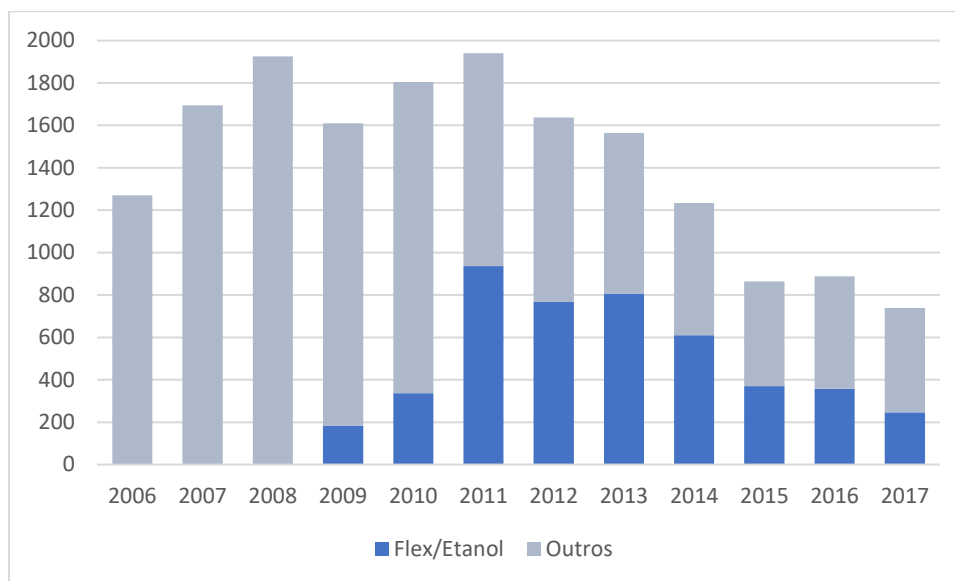
Ao observarem-se os gráficos abaixo, é possível notar que tanto veículos leves, quanto motocicletas movidas a álcool estão muito presentes na vida dos brasileiros e, é de se imaginar que o consumo desse combustível impacte diretamente o dia a dia da população e a economia do país. Na seção seguinte serão discutidos em mais detalhes os processos de produção de uma usina no Brasil, e serão abordados alguns aspectos geográficos da produção dentro do país.

Figura 6- Venda anual de veículos leves em milhares de unidades



Fonte: Elaborado pelo autor, dados de (UNICA, 2018)

Figura 7 - Venda anual de motocicletas em milhares de unidades



Fonte: Elaborado pelo autor, dados de (UNICA, 2018)

2.2. Produção no Brasil

Nesta seção do trabalho, serão descritos os processos de produção do etanol e do açúcar no Brasil, e serão apresentadas algumas informações sobre como essa produção é distribuída ao longo do território nacional.

2.2.1. Processo de Produção

De acordo com (Dias, et al., 2015) o modelo atual de produção no qual o etanol e o açúcar são produzidos de maneira integrada tornou-se importante após o início do Programa Proálcool em 1975, quando a grande necessidade de expandir a produção de etanol fez com que os produtores de açúcar passassem a produzir também o etanol. Em 1979, com o segundo choque do petróleo, o governo decidiu por aumentar ainda mais a produção de etanol no país, sendo desenvolvidas destilarias autônomas. Porém em 1986, com a queda dos preços de petróleo, o interesse pelo uso do etanol como substituto dos derivados de petróleo e sua produção diminuíram, uma vez que os preços do biocombustível já não se encontravam em uma situação tão competitiva quanto antes. Em 1990, o governo deu início à desregulamentação do

setor e as exportações foram liberadas, permitindo que o Brasil expandisse sua produção e exportação de açúcar (como ficou evidenciado nas figuras 2 e 4 da seção 2.1), tornando-se altamente competitivo no mercado internacional. Como consequência disso, fábricas de açúcar foram construídas em anexo às destilarias independentes, consolidando o modelo atual de produção de etanol e açúcar integrados. Em todo caso, desde 2004 deu-se início à uma nova fase de expansão, novas destilarias autônomas vêm sendo construídas para atender a futura demanda de etanol, tanto doméstica, para atender a crescente quantidade de veículos flex, quanto externa, para suprir a necessidade crescente por energias renováveis numa tentativa de atender às metas de emissão de gases causadores do efeito estufa.

Vale ressaltar também, que o setor se encontra em um processo de transição no que se refere ao processamento da cana (Dias, et al., 2015). Ao invés de queimar a cana e processá-la inteira, devido a razões ambientais a queima da cana-de-açúcar vem sendo extinta. Sendo assim, a colheita manual vem perdendo espaço e sendo substituída por máquinas agrícolas que conseguem colher a cana sem ter de queimá-la, principalmente na região Centro-Sul do país, que é responsável pela maioria da produção brasileira de cana, açúcar e etanol. No Estado de São Paulo por exemplo, que é um dos principais Estados produtores dessa região, as queimadas para a colheita da cana são proibidas.

Em (Dias, et al., 2015), a produção de etanol e açúcar são descritas em detalhe e as tecnologias utilizadas em cada processo são abordadas. De acordo com o artigo, elas apresentam certas fases que são comuns aos dois processos produtivos. Esses processos são: recepção da cana, preparação da cana e extração do caldo.

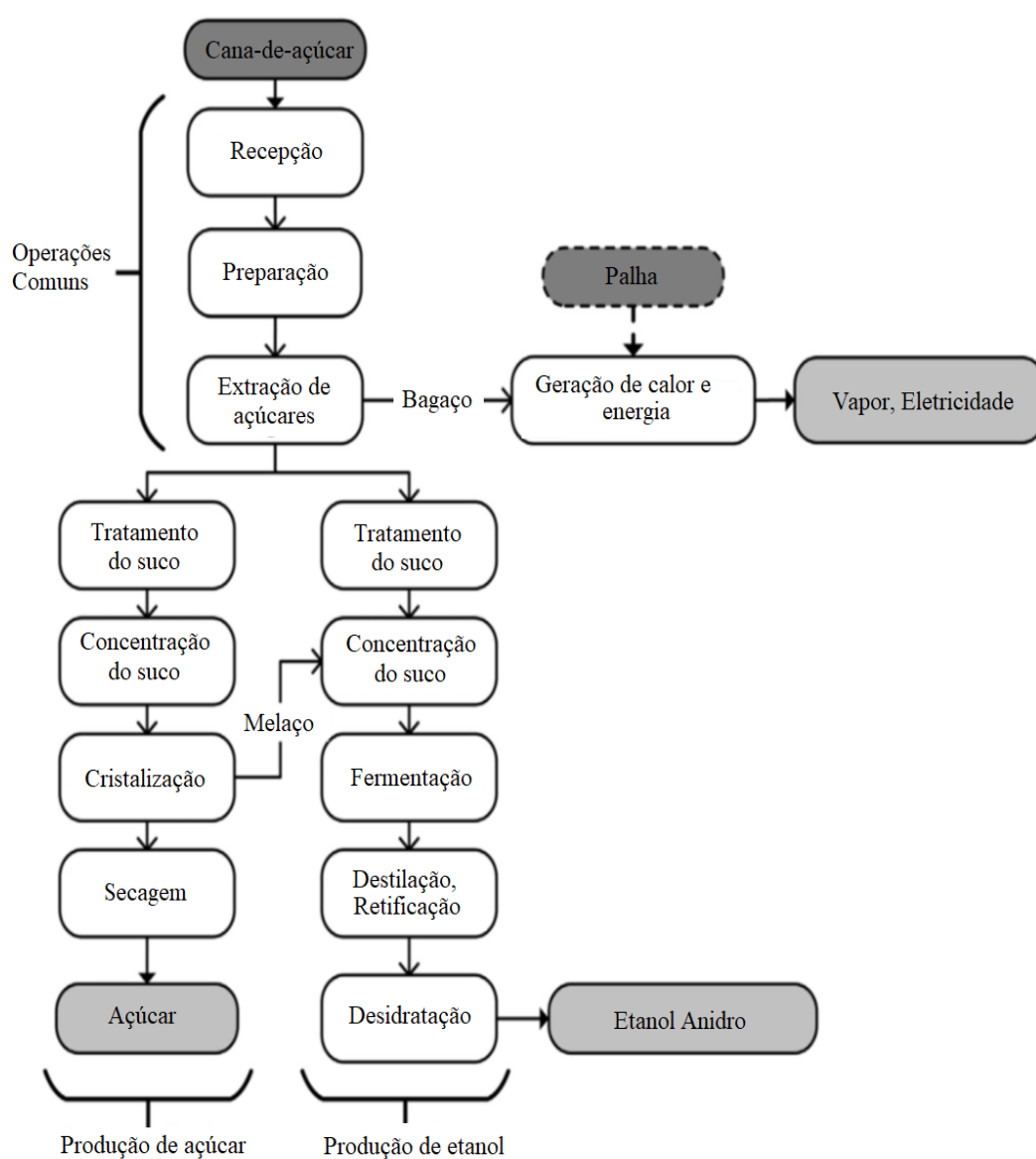
O suco extraído da cana-de-açúcar é enviado a um sistema de tratamento, aonde impurezas são removidas para que se tenha um material adequado para as etapas seguintes. Apesar de a maioria dos processos de tratamento do suco serem comuns para a produção de etanol e açúcar, cada um dos processos apresenta suas particularidades. Durante o processamento na fabricação do açúcar, uma solução residual concentrada é obtida após a fase de cristalização, o melaço. O suco de cana para a produção de etanol é misturado a esse melaço, em seguida é fermentado utilizando leveduras e o produto dessa fermentação contendo etanol é enviado para ser destilado e desidratado. Por sua vez, na produção de açúcar esse suco é concentrado, cristalizado, centrifugado e desidratado.

A energia necessária para esse processo, é produzida por uma usina próxima a fábrica, utilizando o bagaço da cana como combustível. Em diversos casos, a energia remanescente

gerada por esses moinhos é vendida para a rede de distribuição elétrica. Algumas das usinas também utilizam a palha de cana como combustível para a geração de energia, contudo, isso ainda não é uma prática comum no Brasil (Dias, et al., 2015).

Na figura a seguir estão esquematizadas de maneira simplificada as fases de produção dos dois processos:

Figura 8 – Esquema simplificado da produção de açúcar e etanol a partir da cana-de-açúcar

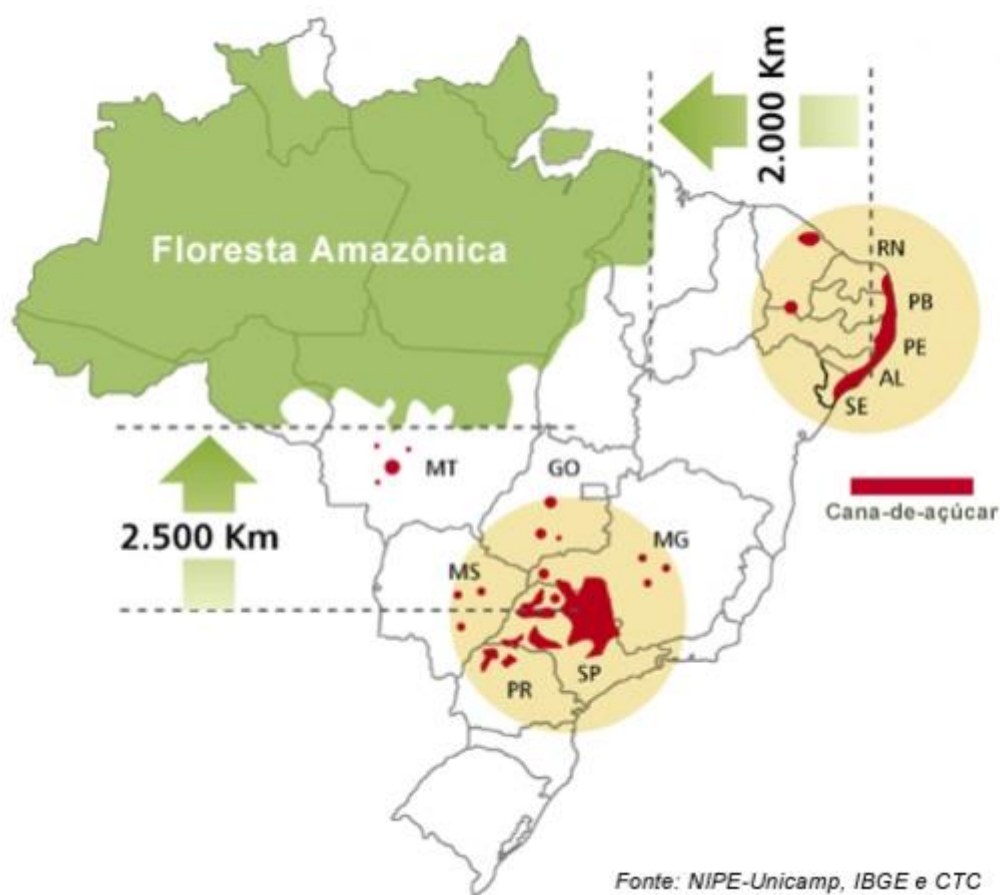


Fonte: Adaptado de (Dias, et al., 2015)

2.2.2. Distribuição Geográfica

A região Centro-Sul do país é responsável por grande parte da produção Sucroalcooleira do Brasil. A seguir, pode-se ver a distribuição geográfica das plantações de cana-de-açúcar no País.

Figura 9 - Mapa de produção de cana-de-açúcar no Brasil

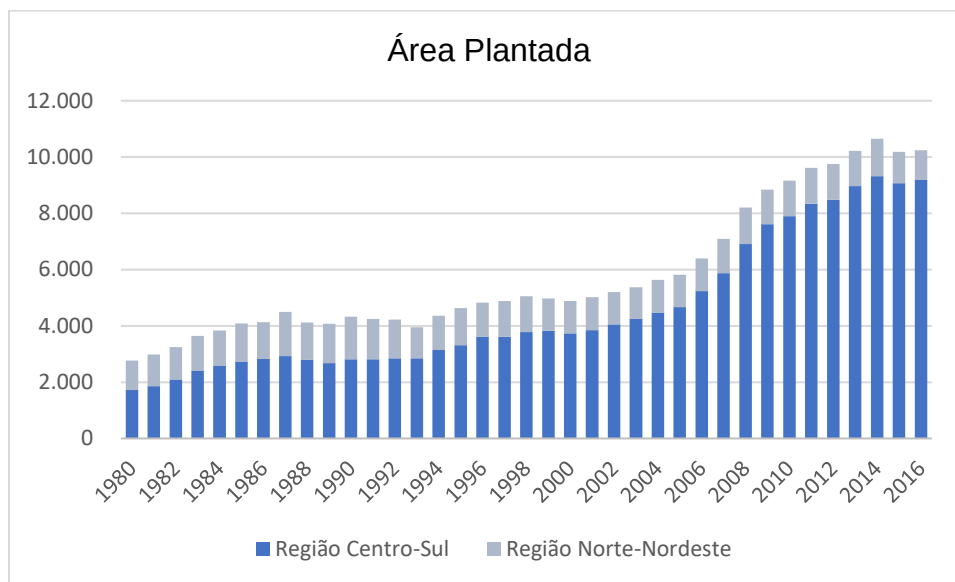


Fonte: (UNICA, 2018)

A grande maioria da produção de cana-de-açúcar e consequentemente de etanol e açúcar encontram-se na região Centro-Sul do país. Essa região também é a que mais vem crescendo em termos de área plantada ao longo das últimas décadas. Enquanto a região Centro-Sul expandiu suas plantações consideravelmente, a área Norte-Nordeste encontra-se

praticamente estagnada. Tudo isso fica evidente no gráfico a seguir, que mostra o crescimento da área planta em hectares desde 1980 até 2016 por região.

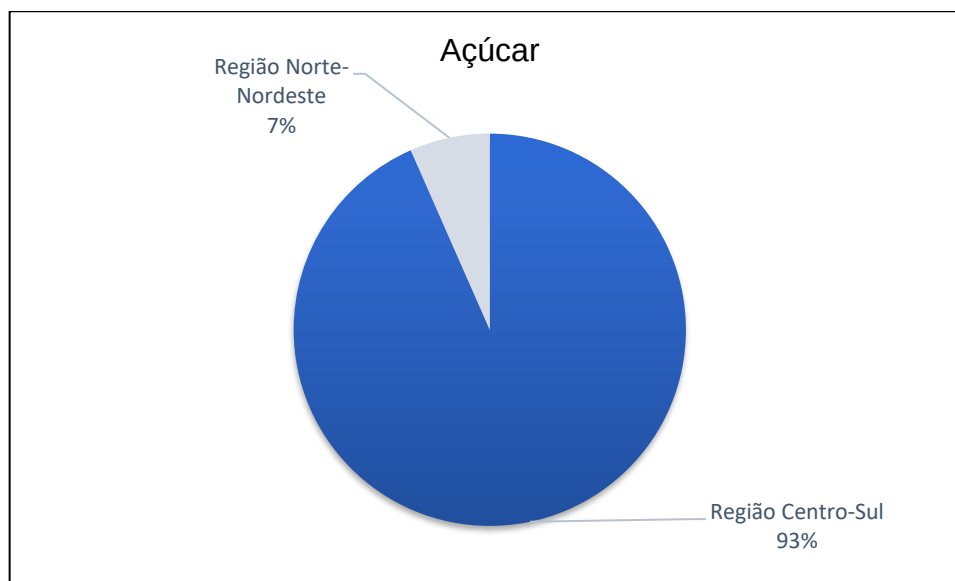
Figura 10- Evolução histórica da área plantada de cana-de-açúcar por região



Fonte: Elaborado pelo autor, dados de (UNICA, 2018)

Isso se reflete nas quantidades produzidas de etanol e açúcar por cada região. Nos gráficos e tabelas seguintes, é possível observar como ficaram subdividas as produções de açúcar e etanol por Estado da região Centro-Sul comparada a produção da região Norte-Nordeste na safra 2017/2018.

Figura 11- Produção de açúcar por macrorregião safra 2017/2018



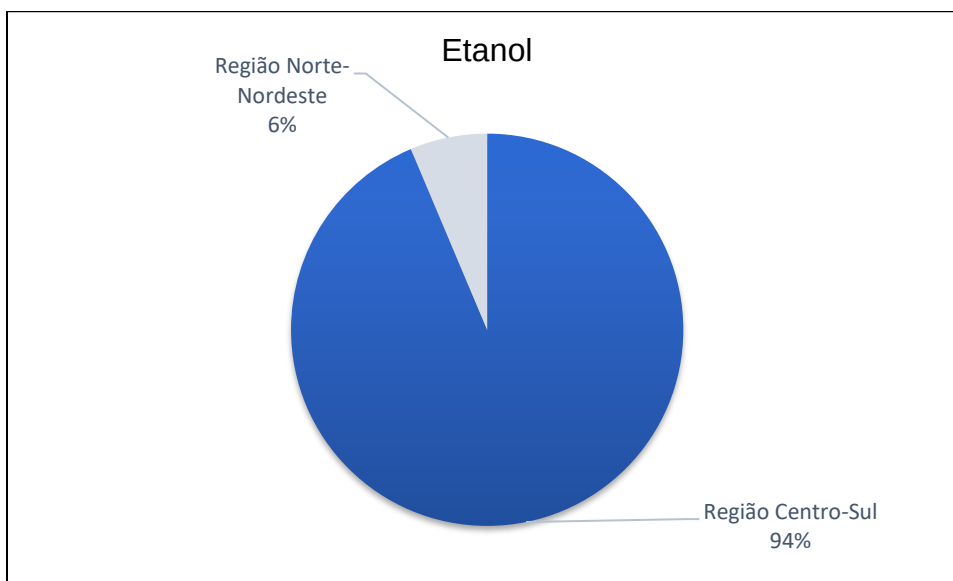
Fonte: Elaborado pelo autor, dados de (UNICA, 2018)

Tabela 2- Produção de açúcar por Estado safra 2017/2018

	Mil Toneladas	%
Espírito Santo	127	0,3%
Goiás	2.235	5,8%
Mato Grosso	411	1,1%
Mato Grosso do Sul	1.492	3,9%
Minas Gerais	4.237	11,0%
Paraná	2.921	7,6%
Rio de Janeiro	35	0,1%
São Paulo	24.591	63,7%
Região Norte-Nordeste	2.548	6,6%

Fonte: Elaborado pelo autor, dados de (UNICA, 2018)

Figura 12- Produção de etanol por macrorregião safra 2017/2018



Fonte: Elaborado pelo autor, dados de (UNICA, 2018)

Tabela 3 - Produção de etanol por Estado safra 2017/2018

	Mil m ³	%
Espírito Santo	90	0,3%
Goiás	4.618	16,6%
Mato Grosso	1.499	5,4%
Mato Grosso do Sul	2.632	9,4%
Minas Gerais	2.708	9,7%
Paraná	1.269	4,6%
Rio de Janeiro	46	0,2%
São Paulo	13.223	47,5%
Região Norte-Nordeste	1.771	6,4%

Fonte: Elaborado pelo autor, dados de (UNICA, 2018)

É possível notar que o Estado de São Paulo se destaca como maior Estado produtor da região Centro-Sul e do país, por ser responsável por mais da metade da produção de açúcar no Brasil e pouco menos da metade da produção de etanol.

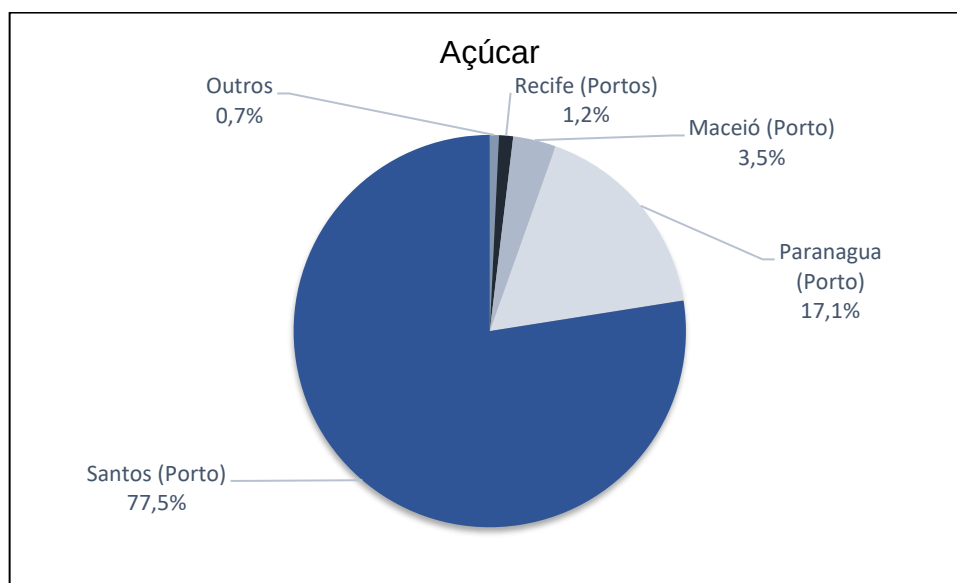
A plantação e colheita no Estado e nessa região é majoritariamente realizada utilizando-se máquinas e seu escoamento é realizado principalmente com o uso de caminhões até os portos, distribuidoras e postos de gasolina. Essas máquinas utilizam diesel como combustível, o que tem um impacto relevante nos custos logísticos de produção dos produtos finais. Alguns aspectos logísticos do setor sucroenergético serão abordados na próxima seção.

2.2.3. Logística

No que se refere à exportação do açúcar e álcool produzidos no Brasil, a região Centro-Sul é a maior exportadora de ambos os produtos. Na safra 2017/2018, foram exportados cerca de 1,45 milhões de metros cúbicos de etanol, sendo que destes, essa região foi responsável por 99,7% das exportações. Somente o estado de São Paulo foi responsável por 90% do total exportado. No caso do açúcar, foram exportadas 27,8 milhões de toneladas, sendo que 95,2% foram provenientes da região Centro-Sul, com São Paulo representando 67,2% do total (UNICA, 2018).

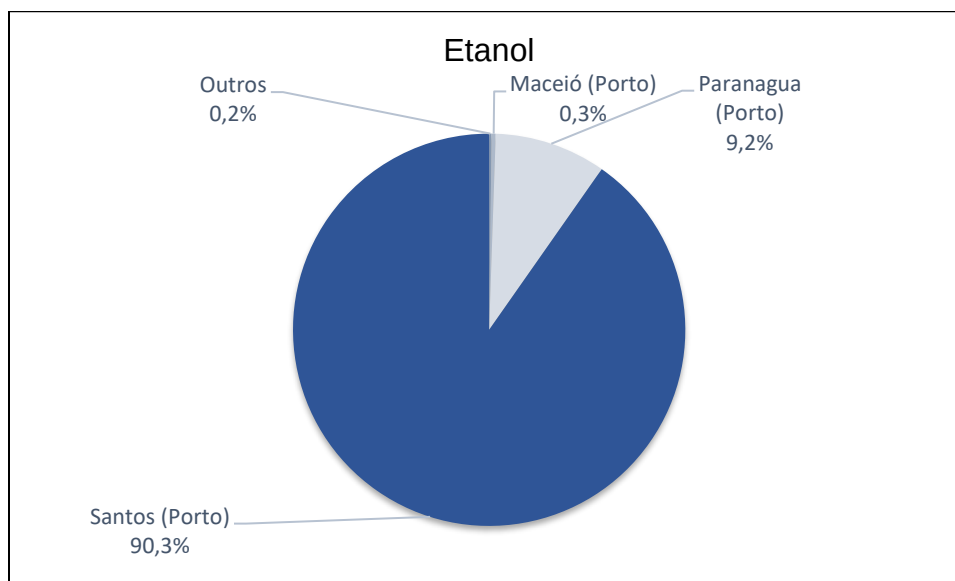
Nas figuras a seguir, é possível ver como foi a exportação de açúcar e etanol por local de embarque, para a safra 2017/2018.

Figura 13 – Exportação de açúcar por local de embarque, safra 2017/2018



Fonte: Elaborado pelo autor, dados de (UNICA, 2018)

Figura 14– Exportação de açúcar por local de embarque, safra 2017/2018



Fonte: Elaborado pelo autor, dados de (UNICA, 2018)

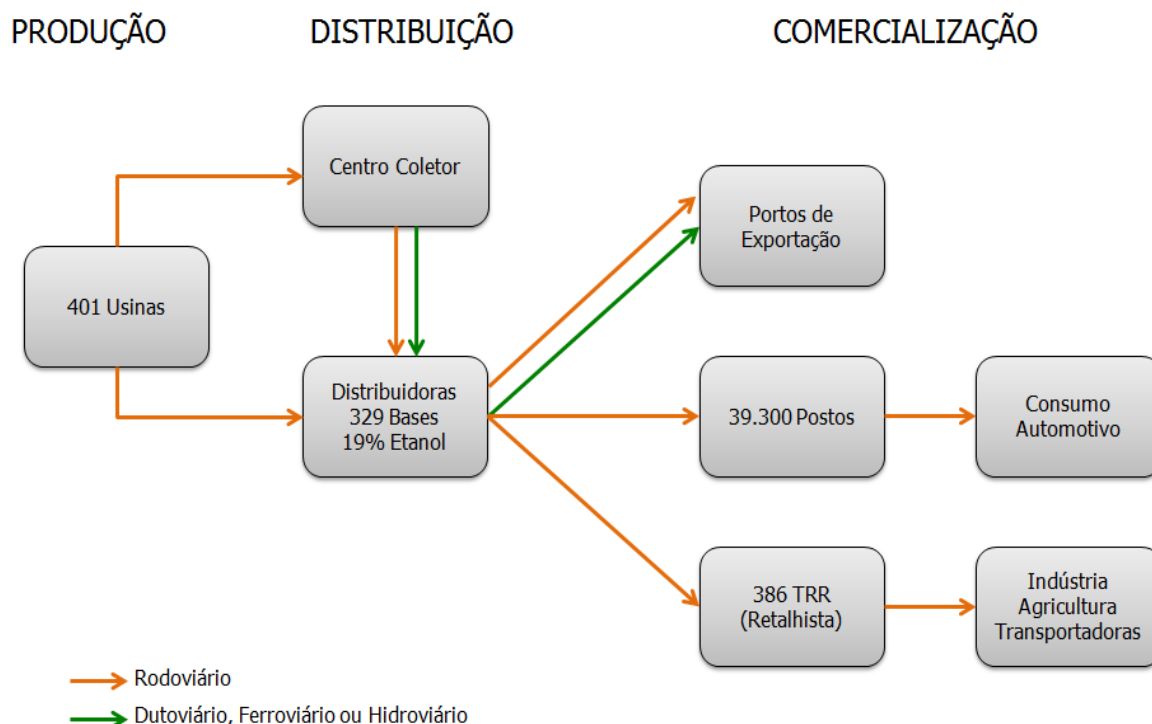
A grande maioria das exportações são feitas através de portos (as exportações feitas por rodovias estão incluídas em “outros”). Para que esses produtos cheguem até esses portos, o mais comum é que se utilize o transporte rodoviário no Brasil, tanto para o açúcar quanto para o etanol.

Segundo (Moretti, 2015), no Brasil, cerca de 60% do transporte de cargas totais é realizada utilizando-se o transporte rodoviário e aproximadamente 80% das commodities produzidas no país são transportadas com o uso deste mesmo modal.

Isso se reflete também para o setor de açúcar e álcool, aonde praticamente toda a produção para o mercado interno é transportada utilizando-se caminhões.

De acordo com (Mendonça & Leal Junior, 2010), mais de 70% da produção de etanol é transportada utilizando-se rodovias devido à localização dispersa das usinas, o que encarece seu transporte. Outras modalidades como dutoviário, hidroviário e ferroviário também realizam o escoamento da produção, para distribuidoras e para os portos de exportação, porém estas são feitas em menor escala. O esquema a seguir mostra de maneira simplificada a logística da distribuição de etanol no país.

Figura 15- Logística de distribuição de Etanol



Fonte: (Moretti, 2015), dados de 2012

Para (Mendonça & Leal Junior, 2010), um dos principais problemas no Brasil é a utilização do modal rodoviário para transportar o etanol, uma vez que esse modal não permite o transporte de quantidades muito grandes e é mais custoso que outros modais.

O que torna o produto nacional competitivo são os outros custos, de plantio, colheita e produção, que são baixos quando comparados aos do etanol a base de milho produzido nos EUA (que é o produtor global mais relevante em conjunto com o Brasil). Em todo caso, de acordo com os autores, ao se compararem os custos de transporte do etanol em relação ao custo total de produção dos dois países, esse custo seria de 21% para o etanol brasileiro contra 6% para o etanol americano, tendo um impacto muito mais significativo no custo total de produção do álcool produzido no Brasil.

Vale ainda ressaltar que o estudo somente aborda o transporte do produto final para distribuidoras e portos, desconsiderando os transportes internos na usina, que são incluídos dentro dos custos de plantação, colheita e produção.

Um dos motivos para a utilização do etanol e até mesmo para a criação do programa do Proálcool, seria a diminuição da dependência nacional de combustíveis fósseis, como o diesel

importado pelo Brasil. Porém, levando em conta o fato de que os caminhões utilizados no transporte e o maquinário de plantação e colheita são movidos à diesel, é de se imaginar que um produtor de açúcar e etanol está à mercê de impactos no preço do diesel, uma vez que a movimentação nesses preços encareceria ou baratearia os custos de transporte e consequentemente o custo total de produção dos dois produtos. Caso o preço do litro de diesel diminuísse, os custos totais da usina também diminuiriam, sendo benéfico para esse produtor. Contudo, em um cenário oposto, quando os preços nos mercados internos e externos subissem, esse produtor seria prejudicado. Em todo caso, o preço do etanol teria uma dependência indesejada o preço do Diesel, ainda que de maneira indireta.

A existência dessa dependência indireta é importante para este trabalho, uma vez que seria interessante para o produtor ou investidor se proteger não só contra as variações nos preços de açúcar e etanol, mas também em relação à variação do diesel em seu portfólio.

3. MERCADO DE FUTUROS E ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO

Neste capítulo, primeiramente, serão definidos alguns conceitos básicos sobre contratos futuros e a termo, além de estratégias de proteção utilizando-se esses tipos de derivativos financeiros. Isso é importante para este trabalho, na medida em que um produtor de etanol e açúcar normalmente utiliza-se desses instrumentos para se proteger da variação dos preços de mercado de seus produtos e matérias primas.

3.1. Definição de contratos futuros e a termo

Para se entender o que são contratos futuros e a termo, é necessário primeiro entender o que é um derivativo financeiro. Para (Hull, 2012), um derivativo pode ser definido como um instrumento financeiro cujo valor depende, ou deriva do valor de outras variáveis mais básicas. É comum derivativos estarem associados aos preços de ativos negociados, sejam estes, ações, ou produtos como no caso do mercado de commodities. Contudo, derivativos podem depender basicamente de qualquer tipo de variável, desde o preço das ações de uma companhia petrolífera até a quantidade de chuva no ano para uma determinada região.

Os tipos de derivativos existentes são muitos. Contudo, os derivativos mais comuns que encontramos são as opções, swaps, contratos a termo e contratos futuros. Um produtor de açúcar e etanol poderia, em teoria utilizar opções e swaps (tipos de derivativos financeiros) para proteger-se da incerteza nos preços dos ativos em seu portfólio. Porém, neste trabalho serão abordados somente contratos a termo e contratos futuros, que são os comumente mais utilizados para realizar-se esse tipo de proteção.

Um contrato a termo ou contrato do tipo *forward*, nada mais é do que um acordo entre duas contrapartes em comprar ou vender um determinado ativo por um certo preço em um determinado momento do futuro (Hull, 2012). Nesse tipo de contrato, uma das partes assume uma posição “comprada” e concorda em comprar o ativo subjacente na data e preço combinados no momento que se fecha o contrato. Em contrapartida, a outra parte assume uma posição “vendida”, concordando em vender o mesmo ativo na mesma data e preço. Ele pode ser contrastado com um contrato a vista ou *spot*, que seria um acordo para comprar ou vender um determinado ativo hoje.

Normalmente, os contratos a termo são negociados “em balcão”, ou seja, não são negociados em bolsas de futuros, como a Bolsa de Mercados Futuros de São Paulo (BM&F Bovespa), por exemplo. É comum que esse tipo de contrato seja negociado entre duas instituições financeiras ou entre uma instituição e um dos seus clientes.

Como esses contratos não são padronizados, uma das vantagens para as contrapartes é a personalização dos termos do contrato, como a data de entrega do ativo subjacente e a quantidade negociada. Além disso, outra característica desse tipo de contrato é em relação a entrega do ativo subjacente. Estes podem ser do tipo “entregável” (*deliverable*), no qual a parte vendedora entrega fisicamente o ativo subjacente à parte compradora, ou “não entregável” (*non-deliverable*) no qual o preço é fixado na data de vencimento e o acerto é feito em dinheiro, sem entrega física do ativo negociado.

Um contrato futuro é similar a um contrato a termo, sendo também um acordo entre duas partes em comprar ou vender um ativo numa determinada data a um certo preço. A principal diferença entre os dois tipos de contratos é que os contratos futuros são normalmente negociados em bolsa. Além disso, enquanto os contratos a termo normalmente têm seu pagamento feito integralmente no seu vencimento, os contratos futuros têm como característica o ajuste diário de fluxo de caixa, usando-se um preço de referência determinado diariamente pela bolsa.

Como o comprador e o vendedor do contrato futuro não necessariamente se conhecem, para tornar a negociação possível, a bolsa especifica certas características do contrato e normalmente proporciona uma garantia de que esse contrato será cumprido (Hull, 2012). As maiores bolsas de negociação de futuros são a *Chicago Board of Trade* (CBOT) e a *Chicaco Mecantile Exchange* (CME), que se fundiram e para formar o *CME Group*. No caso do Brasil, os futuros, tanto de ações, juros e commodities, são negociados na BM&F. A *Intercontinental Exchange* (ICE), é também uma bolsa de negociação de futuros de commodities pela internet bastante utilizada. Nessas e em outras bolsas ao redor do mundo, uma grande variedade de ativos tem seus futuros negociados, em diversos tipos de contratos com diferentes especificidades.

A tabela a seguir compara características gerais que diferem os contratos futuros dos a termo, algumas dessas características dos contratos futuros serão discutidas em mais detalhes nas seções seguintes.

Tabela 4- Comparação entre contratos futuros e a termo

	Termo	Futuro
Local de negociação	Negociados em balcão	Negociados em bolsa
Padronização	Não padronizado	Padronizado
Data de entrega	Data específica	Intervalo de datas
Pagamento	No vencimento	Ajuste diário
Entrega do ativo	Entrega do ativo ou dinheiro no vencimento	Encerramento da posição antes do vencimento
Garantia	Risco de contraparte	Garantia da bolsa

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em (Hull, 2012)

3.2. O papel da bolsa na negociação dos contratos futuros

No caso dos futuros, a bolsa é a responsável por determinar as características do contrato sendo negociado (Hull, 2012), e como mencionado, proporcionar garantias de que o contrato será cumprido ao chegar em seu vencimento. Dentre as características definidas pela bolsa estão: o ativo objeto a ser entregue, o tamanho do contrato, as condições de entrega, o período de entrega, a cotação de preços e os limites de preços e posições. No Anexo 1, encontra-se um exemplo de um contrato futuro negociado na BM&F Bovespa de açúcar cristalizado.

No que se refere ao ativo a ser entregue, quando este ativo é uma commodity, pode existir uma variação significativa no que se refere à qualidade dos produtos entregues. Quando o ativo é especificado, é importante que a bolsa no qual está sendo negociada estipule medidas que determinem a qualidade desse ativo. No caso do açúcar por exemplo, deve-se especificar o peso da unidade entregue, o tipo de produto, bem como outras medidas para que sejam garantidas a qualidade do produto.

O tamanho do contrato especifica a quantidade a ser entregue do ativo subjacente dentro de um contrato. Por exemplo, um contrato de dólar futuro negociado na BM&F, corresponde à cinquenta mil dólares americanos e são negociados de cinco em cinco unidades (lote mínimo). O tamanho do contrato é relevante, bem como o lote mínimo negociado, uma vez que, caso sejam muito grandes, os investidores que decidam por utilizar desses contratos para realizar pequenas proteções ou posições serão incapazes de utilizar-se desses contratos para tal fim. Por outro lado, se o contrato for muito pequeno, os custos de negociação tornam-se altos, já que existem despesas associadas a cada contrato negociado.

O local aonde a entrega do ativo será feita também deve ser especificada pela bolsa na qual o futuro é negociado. Isso é de extrema importância para commodities que envolvem

custos significativos de logística. Por exemplo, para os contratos de açúcar bruto nº11 negociados na bolsa de Nova-Iorque (NYBOT), o ativo subjacente deve ser entregue no navio do receptor em um porto determinado no país de origem do açúcar.

Todo contrato futuro utiliza como referência seu mês de vencimento e consequentemente entrega (Hull, 2012). A bolsa deve especificar precisamente o período durante o mês no qual essa entrega deve ser feita. Para muitos contratos, o período pode ser o mês inteiro. Os meses de entrega variam de contrato para contrato e são definidas pela bolsa para atender às necessidades dos negociantes no mercado. No caso dos contratos de açúcar bruto de nº 11, por exemplo, a entrega é feita a cada dois meses: fevereiro, abril, junho, agosto, outubro e dezembro.

A bolsa também deve definir como os preços dos contratos serão cotados. Para um contrato futuro de açúcar por exemplo, um ponto equivale a 1.120 dólares americanos, e a variação mínima é de 11,2 USD.

3.3. Funcionamento dos contratos futuros

Nesta seção serão descritas algumas características específicas sobre o funcionamento dos contratos futuros na prática, que serão importantes para este trabalho mais a diante.

Um ponto extremamente importante no que se diz respeito aos contratos futuros, é a sua relação com o preço à vista ou “*spot*” do ativo subjacente. De acordo com (Hull, 2012), conforme o período de entrega de um contrato futuro vai se aproximando, o preço do futuro tende a convergir para o nível do preço do ativo à vista. Por fim, quando o momento da entrega chega, o preço do futuro é igual ou muito próximo ao *spot*.

O nível de preço de um contrato futuro é determinado pelo próprio mercado, levando em consideração os custos de oportunidade implícitos em comprar ou vender um contrato futuro e opostamente vender ou comprar o ativo subjacente. Para ilustrar isso, pode-se imaginar a seguinte situação: se o preço de um contrato futuro for superior ao preço *spot* no dia de vencimento do contrato, um operador do mercado (arbitrador) poderia simplesmente vender o contrato futuro em um preço mais alto, comprar o ativo subjacente e entregá-lo a contraparte para qual vendeu o contrato futuro naquele mesmo dia, tendo um lucro virtualmente livre de riscos. São esses arbitadores que fazem com que os preços dos futuros estejam sempre

ajustados, uma vez que se a situação descrita acontecesse, muitos operadores venderiam o futuro, fazendo com que o preço caísse, até convergir com o preço *spot*.

Dependendo do ativo subjacente aos contratos futuros, é comum que se observem duas situações antes do prazo de entrega: em uma os preços dos futuros tendem a ser maiores que o preço do ativo subjacente, e na outra, o preço do futuro é menor que o *spot*. No caso de ações por exemplo, é comum que a cotação do futuro seja superior a da própria ação, isso ocorre porque, na maioria dos casos, o custo de oportunidade para comprar a ação e mantê-la no portfolio até o período da entrega (taxa livre de risco obtida ao emprestar dinheiro por exemplo) é maior do que se receberia alugando essas ações para o mercado. No caso de commodities, normalmente se observa o oposto, o preço do futuro tende a ser mais baixo que o preço do *spot*, isso ocorre levando em conta a taxa livre de risco, os custos de armazenagem e o “*convenience yield*”.

De acordo com (Hull, 2012), o retorno de conveniência ou “*convenience yield*” reflete a expectativa do mercado em relação a disponibilidade de um determinado *commodity* no futuro, ou seja, quanto maior a possibilidade de escassez desse produto no futuro, maior seria a sua taxa de conveniência. Se os estoques são altos e a probabilidade de escassez é menor, essa taxa tende a ser menor. Por outro lado, se os estoques são baixos, a taxa tende a ser maior.

A equação a seguir mostra como em teoria são calculados os preços de contratos futuros em relação ao *spot*.

$$F_0 = S_0 e^{c.T}$$

Onde F_0 é o preço do contrato futuro hoje, S_0 é o preço *spot* do ativo objeto, c é o custo de carregamento do ativo na carteira e T é o tempo até o vencimento do contrato. No caso de uma ação:

$$c = r - b$$

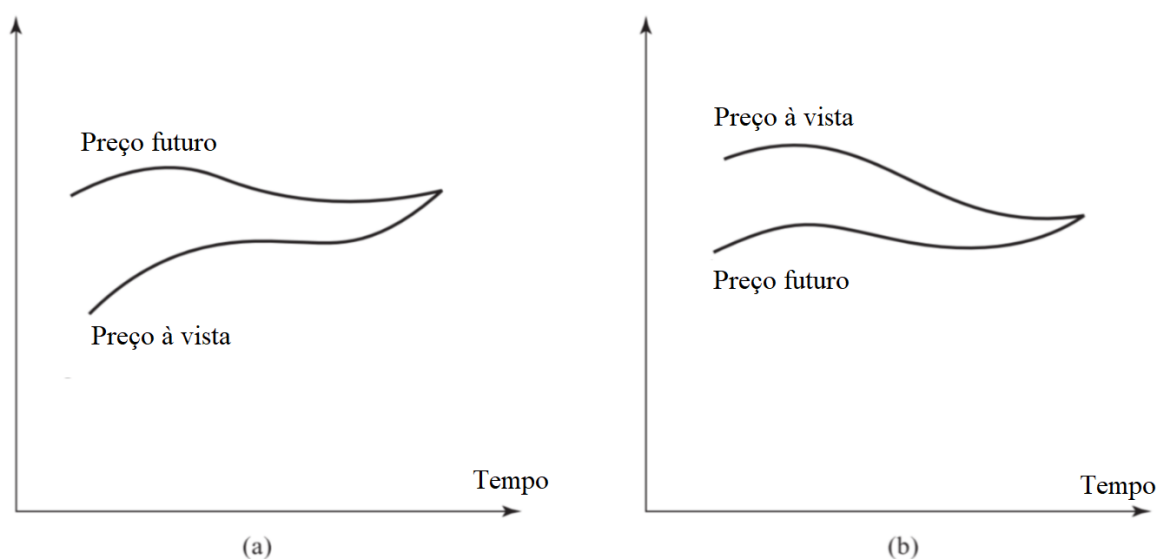
Onde r seria a taxa livre de risco e b os rendimentos provenientes dessa ação, como aluguel e dividendos.

Para *commodities*, c levaria em conta os custos de armazenagem u , bem como o retorno de conveniência y já definido:

$$c = r + u - y$$

Sendo assim, para as ações, é comum que o futuro tenha o preço maior que o spot, devido ao fato de que normalmente r é maior que b . Para as commodities, é normal que y seja maior que $r + u$. A seguir, é possível ver como funciona a convergência nas duas situações com a aproximação do vencimento do contrato futuro:

Figura 16 – Preço futuro vs *spot*. (a) Futuro maior que *spot* e (b) Futuro menor que *spot*



Fonte: Adaptado de (Hull, 2012)

Apesar de os contratos futuros terem seus prazos e condições de entrega bem definidos, o mais comum é que não haja entrega física do ativo de fato (Hull, 2012). A maioria dos investidores tende a encerrar sua posição nos contratos antes de esses chegarem ao vencimento, assumindo a ponta contrária e ficando isentos de realizarem a entrega física do ativo subjacente.

Além disso, é importante ressaltar o funcionamento da “rolagem” de contratos futuros. Normalmente os contratos com vencimentos mais próximos (mais curtos) apresentam maior facilidade e volume de negociações (liquidez) quando comparados aos contratos com vencimentos mais longos. Quando um investidor deseja alongar suas posições nos contratos correntes, é comum que próximo ao vencimento eles assumam a ponta oposta nesses contratos, e negociem um contrato mais longo, “rolando” suas posições.

Outros conceitos importantes são os conceitos de margem e de ajuste diário. Quando ocorre uma negociação entre duas contrapartes, existe sempre um risco (Hull, 2012). Um deles

poderia se arrepender do negócio e desistir, ou simplesmente não possuir os recursos financeiros para honrar o acordo. Uma das funções mais importantes da bolsa é organizar as negociações de modo que o não cumprimento dos acordos sejam sempre evitados e fornecer garantias aos participantes. Para que isso seja possível, é comum que as bolsas exijam um depósito de margem como garantia, que pode equivaler ao valor total negociado, ou uma fração deste. Além disso, como mencionado anteriormente, nos contratos futuros é comum que ocorra troca diária de fluxo de caixa entre as duas contrapartes, dependendo da variação do preço contrato futuro naquele dia.

Para ilustrar essa situação, imagine que um investidor tenha comprado \$100.000 em contratos futuros de açúcar, cada contrato custando \$1.000 (100 contratos no total) e a bolsa exija como margem inicial 50% do valor negociado. Esse investidor depositará como margem \$50.000. Após o término de um dia da negociação desse contrato, o preço caiu de \$1.000 para \$980, gerando uma perda de \$20 por contrato para o investidor ou \$2.000 no total. A bolsa então transferirá essa diferença de \$2.000 para a conta de margem do vendedor do contrato, retirando o valor da conta do comprador. Caso o preço no dia seguinte suba de \$980 para \$1.005, a situação oposta ocorrerá, sendo retirados \$2.500 da conta do vendedor do contrato e depositados na conta do comprador e assim por diante.

3.4. Estratégias de proteção com contratos futuros

Nas seções anteriores, foram descritos alguns conceitos importantes sobre contratos futuros, bem como algumas particularidades do funcionamento destes. Nesta parte do trabalho, será explicado como e porque operadores do mercado utilizam-se desse tipo de derivativo como proteção para seus negócios.

Em muitos casos uso de contratos futuros é praticado por participantes de diversos mercados para proteger-se de algum tipo de risco que eles possuem. Esse risco pode estar relacionado à flutuação dos preços de petróleo, a taxa de câmbio, o nível do mercado de ações ou alguma outra variável (Hull, 2012). O termo comumente utilizado no mercado para esse tipo de uso é “*hedge*”. Um *hedge* perfeito seria um que eliminaria esses riscos na sua totalidade, contudo, estes são muito raros e na maioria dos casos, isso não é possível. Porém, o uso de

futuros para a criação de estratégias de proteção, se bem feito, pode aproximar-se bem de um *hedge* perfeito e eliminar quase todo o risco referente a esse tipo de flutuação de preços.

Quando um operador decide utilizar o mercado de futuros para proteger-se de algum risco, o objetivo normalmente é tomar uma posição que neutralize esse risco o máximo possível. Imagine que um produtor de açúcar saiba que vai vender sua produção de açúcar em um mês e que saiba que a cada 1 centavo de aumento no preço do açúcar nesse período ele ganharia \$100.000 e a 1 centavo de queda ele perderia \$100.000 nesse período. Uma possível estratégia de proteção para esse produtor seria vender um contrato futuro para proteger-se desse risco nas mesmas proporções. Ou seja, com o aumento de 1 centavo no preço do açúcar, ele perderia \$100.000 e com a queda de 1 centavo ele ganharia a mesma quantidade. Dessa maneira, ao final de um mês, caso o preço do açúcar tenha caído 5 centavos, ele terá perdido \$500.000 com a venda do seu produto, mas teria ganho os mesmos \$500.000 em sua posição com o contrato futuro. Caso o oposto ocorresse, e o preço caísse 5 centavos, ele ganharia com contrato futuro e perderia na venda de seus produtos. Nas duas situações a posição vendida estaria neutralizando o risco de variação de preços ao longo desse mês e proporcionando uma previsibilidade ao produtor de seus lucros.

A estratégia de proteção apresentada é apropriada quando o operador já possui ou espera vender o ativo objeto em algum momento no futuro e é chamada de “proteção vendida” ou “*short hedge*”. Uma “proteção comprada” ou “*long hedge*” seria eficaz na situação oposta. Imagine que uma empresa produtora de doces que sabe que precisará de açúcar daqui um mês para produzir seus produtos. Esta pode-se utilizar de uma posição comprada em um contrato futuro para garantir o preço do açúcar em um determinado nível, protegendo-se de eventuais aumentos no preço do açúcar ao travar o preço no momento da compra do contrato.

Como mencionado, o objetivo dessas estratégias de proteção é neutralizar os riscos da variação de preços, porém na prática, a implementação dessas estratégias pode não ser tão simples e apresentam outros riscos (Hull, 2012). Primeiramente, o ativo a ser comprado ou vendido no futuro pode não ser exatamente o mesmo abordado pelo contrato futuro. Além disso, normalmente existe incerteza em relação ao momento exato no qual o ativo será comprado e vendido. Por fim, para realizar-se o hedge, pode ser necessário que a posição dos contratos futuros seja encerrada antes da maturidade. Devido a essas razões, é muito difícil para um produtor realizar um *hedge* perfeito.

Outra estratégia de proteção muito utilizada são as “proteções cruzadas” ou “*cross hedge*”. O *cross hedge* é utilizado quando o ativo objeto do contrato futuro e o ativo que o operador deseja se proteger são diferentes. Imagine uma companhia aérea que deseja proteger-se da variação no preço dos combustíveis para seus aviões. Como não existem contratos futuros para combustível aéreo especificamente, a empresa poderia realizar sua proteção utilizando-se de contratos futuros de diesel por exemplo.

A razão que determina a proporção de proteção a ser realizada nos futuros em relação ao ativo que se quer proteger é chamada de “proporção de *hedge*” ou “*hedge ratio*”. Nem sempre essa razão deve ser de um para um, uma vez que nem sempre o ativo abordado pelo contrato futuro é exatamente igual ao ativo que se pretende proteger (Hull, 2012). O *hedge ratio* ótimo seria aquele que em teoria minimizasse a variância do portfólio analisado (isso será descrito em mais detalhes nas seções subsequentes).

4. MEDIDAS DE RISCO E OTIMIZAÇÃO DE PORTFÓLIOS

Nas seções anteriores foram introduzidos alguns conceitos importantes sobre estratégias de proteção utilizando-se futuros e como esses funcionam. Nesta, serão descritos os conceitos de “risco x retorno”, bem como alguns tipos de medidas de risco, que serão utilizados para calcular a alocação de recursos dentro do portfólio e comparar as estratégias de proteção para um produtor de açúcar e etanol que serão apresentadas mais adiante neste trabalho.

4.1. Risco x Retorno

4.1.1. Retorno esperado

Para que se entenda melhor como funciona a relação de entre risco e retorno de um portfólio, é importante entender o conceito de retorno esperado de um único ativo e de uma carteira de ativos (portfólio).

Quando se realiza um investimento, é comum que o montante de capital investido seja conhecido e o montante retornado não (Luenberger, 1998). Em uma posição comprada (quando o investidor compra o ativo), assumindo-se que um ativo é comprado hoje e vendido em um momento T no futuro, a taxa de retorno do investimento pode ser calculada da seguinte maneira:

$$r = \frac{X_T - X_0}{X_0}$$

Onde X_0 é o montante investido inicialmente e X_T é o montante recebido ao vender o ativo no futuro.

Analogamente para uma posição vendida, a taxa de retorno pode ser calculada da seguinte maneira:

$$r = \frac{X_0 - X_T}{X_0}$$

É comum, quando se analisam retornos de ativos financeiros, utilizar-se o logaritmo natural dos retornos dos ativos ao invés da simples taxa de retorno como mostrada acima, uma vez que para fins analíticos, muitas vezes é utilizada a premissa de que os preços dos ativos

seguem uma distribuição log normal e consequentemente seus logaritmos poderiam ser aproximados por uma normal. Sendo assim, r de uma posição comprada pode ser calculado como:

$$r = \ln\left(\frac{X_T}{X_0}\right)$$

Analogamente para uma posição vendida:

$$r = -\ln\left(\frac{X_T}{X_0}\right)$$

Ao imaginar que existem n ativos disponíveis no mercado, é possível formar um portfólio utilizando-se desses n ativos. Considerando o mesmo montante inicial X_0 , e X_{0i} o montante investido em um determinado ativo i disponíveis entre esses n ativos, os montantes investidos em cada ativo podem ser representados como uma fração do investimento total:

$$X_{0i} = w_i X_0$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Aonde w_i seria o peso do ativo i nesse portfólio. Sendo assim, a soma dos pesos deve ser igual a 1:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Aonde w_i pode ser negativo no caso de posições vendidas (quando o investidor vende o ativo) e o retorno r_i de um ativo i for calculado como o de uma posição comprada. Sendo assim, o retorno total do portfólio r pode ser calculado da seguinte maneira:

$$r = \sum_{i=1}^n w_i r_i$$

Como mencionado anteriormente, é comum que não se saiba o montante final no momento do investimento, sendo assim, o retorno pode ser considerado uma variável aleatória. Em estatística, o estimador do retorno esperado de uma variável aleatória seria $\hat{E}(x) = \bar{x}$. Sendo assim, para cada ativo i com retorno aleatório, o estimador da expectativa de retorno pode ser representada por:

$$\hat{E}(r_i) = \bar{r}_i$$

Por sua vez, para um portfólio com n ativos, o retorno esperado pode ser calculado como:

$$E(r) = w_1E(r_1) + w_2E(r_2) + \cdots + w_nE(r_n)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Portanto, o retorno esperado para um portfólio de ativos pode ser obtido através da soma ponderada do retorno esperado de cada ativo individualmente pelos pesos de cada um dentro do portfólio.

4.1.2. Variância e covariância

O valor esperado de uma variável aleatória fornece informações importantes sobre a natureza probabilística dessa variável. A variância, por sua vez, pode ser entendida como uma medida do grau no qual as observações se desviam da média (Luenberger, 1998). A variância de uma variável aleatória pode ser calculada como sendo:

$$var(x) = \sigma_x^2 = E[(x - \bar{x})^2] = E(x^2) - [E(x)]^2$$

Quando se consideram duas ou mais variáveis aleatórias, a dependência entre duas delas é chamada de covariância e pode ser representada por:

$$cov(x_1, x_2) = \sigma_{12} = E[(x_1 - E(x_1))(x_2 - E(x_2))]$$

Tendo isso em mente, é possível calcular a variância σ^2 dos retornos de um portfólio com n ativos da seguinte maneira (Luenberger, 1998):

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= E[(r - E(r))^2] \\ &= E \left[\left(\sum_{i=1}^n w_i r_i - \sum_{i=1}^n w_i E(r_i) \right)^2 \right] \\ &= E \left[\left(\sum_{i=1}^n w_i (r_i - E(r_i)) \right) \left(\sum_{j=1}^n w_j (r_j - E(r_j)) \right) \right] \\ &= E \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j (r_i - E(r_i))(r_j - E(r_j)) \right] \end{aligned}$$

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j \sigma_{ij}$$

4.1.3. Modelo de Markowitz e fronteira de eficiência

Nas seções anteriores, foram definidos os conceitos de retorno esperado e variância para um ativo e portfólio. Nesta seção, serão descritos como esses conceitos se relacionam e será apresentado o modelo de Markowitz, que serve como base para a otimização de portfólios.

Imagine que um investidor possui duas possibilidades de investimento: A e B. Ambas possuem o mesmo retorno esperado, porém o investimento A é tido como menos arriscado que o investimento B. Nessa situação, um investidor racional tende sempre a escolher o investimento A como sua opção de preferência, uma vez que a tendência é que o retorno de ambos seja igual, porém em A o investidor está menos exposto aos riscos.

A variância de um portfólio é muitas vezes utilizada como uma medida de risco. O modelo de Markowitz trata explicitamente dessa relação entre risco (nesse caso a variância) e retorno esperado de um portfólio. Uma vez formulado, ele pode ser solucionado numericamente obtendo-se uma solução específica (Luenberger, 1998).

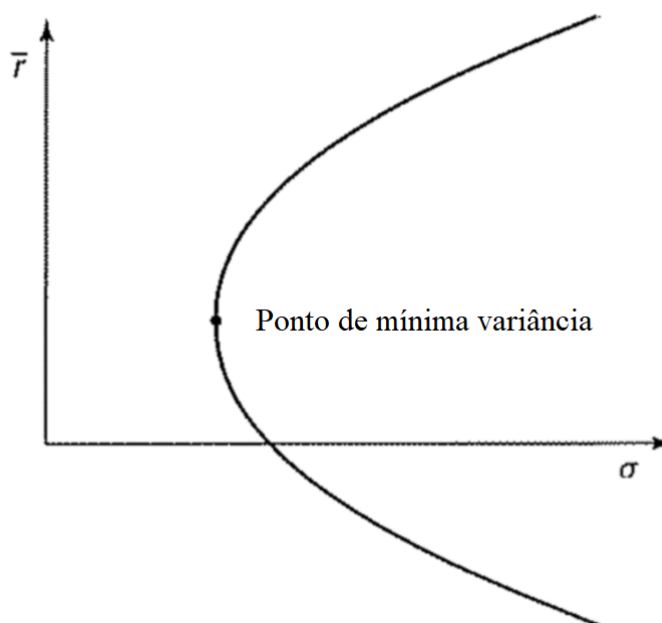
Pelo modelo, para um determinado retorno esperado de um portfólio com n ativos, existe uma combinação ótima dos pesos w_i de cada um desses ativos, que minimiza a variância desse portfólio para esse nível de retorno esperado. Essa combinação pode ser obtida solucionando-se o seguinte problema:

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j \sigma_{ij} \\ \text{s. t.} \quad & \sum_{i=1}^n w_i E(r_i) = r_0 \\ & \sum_{i=1}^n w_i = 1 \end{aligned}$$

Sendo assim, se esse problema for solucionado para diversos níveis de retorno esperado de um portfólio, serão obtidos diversos resultados que relacionam esses retornos com diferentes níveis de risco. Ao representar esses pontos em um gráfico, aonde o eixo horizontal representa

o nível de variância do portfólio e o eixo vertical indica o nível do retorno esperado, obtém-se uma curva similar a representada a seguir:

Figura 17 – Representação da relação risco x retorno de um portfólio genérico

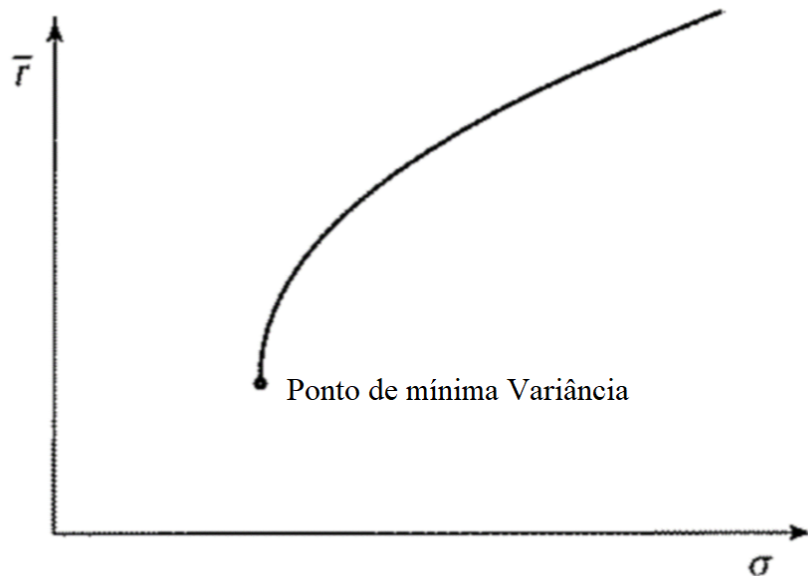


Fonte: Adaptado de (Luenberger, 1998)

Um investidor poderia alocar seus recursos de maneira a obter um portfólio que se encontra em qualquer ponto da região a direita da linha dos portfólios com mínima variância (inclusive na própria linha). Contudo, racionalmente, não faria sentido para este investidor alocar seus recursos de maneira a obter um portfólio que apresente o mesmo retorno esperado, porém uma variância maior. Sendo assim, não seria eficiente para esse investidor alocar seus recursos em um portfólio fora da linha que contém os portfólios com mínima variância.

Além disso, também não faria sentido alocar seus recursos de maneira a obter os portfólios que se encontram na parte inferior da linha, abaixo do ponto de variância mínima, uma vez que ele estaria sujeito a riscos maiores e um retorno esperado menor. Portanto, a parte inferior da curva é desnecessária. Ao excluí-la do gráfico, é obtida a fronteira de eficiência para os portfólios com mínima variância:

Figura 18– Fronteira de eficiência de um portfólio genérico



Fonte: Adaptado de (Luenberger, 1998)

A curva de eficiência pode ser interpretada como a representação gráfica do retorno esperado para os portfólios ótimos dado um determinado nível de risco. Ela pode ser utilizada para auxiliar um investidor a decidir como alocar seus recursos e entender qual o nível de retorno esperado, dado o seu nível de risco, colaborando assim para a eficiência na alocação de seus recursos.

4.2. Outras medidas de risco

É possível também utilizar outras medidas de risco para calcular a alocação ótima dos portfólios e obter sua fronteira de eficiência. Nesta parte do trabalho, duas dessas medidas serão descritas, o VaR e o CVaR.

4.2.1. Value at Risk (VaR)

Na realização da gestão de risco de um determinado portfólio, uma medida bastante utilizada é o VaR. Ele avalia a perda máxima dado um intervalo de confiança específico α naquele portfólio para um período.

De acordo com (Da Rocha, 2013), o VaR procura sintetizar em um único número a perda máxima potencial dentro de um determinado prazo, dado um grau de confiança. Sendo assim, um VaR de 95% indicaria que existem 95 chances em 100 de que o prejuízo de um determinado portfólio não seja maior do que o número indicado pelo VaR para o prazo de investimento calculado.

Assumindo que os logaritmos naturais dos retornos obedecem a uma distribuição normal, ou seja:

$$r_i \sim N(\mu, \sigma^2), i = 1, 2, \dots, n$$

É possível calcular o retorno correspondente que possui uma probabilidade acumulada de $\alpha\%$. Para calcular-se esse retorno, pode-se utilizar a tabela de distribuição normal acumulada para encontrar o Z correspondente, dado o nível de confiança $\alpha\%$., portanto para um portfólio, esse retorno, ou VaR seria:

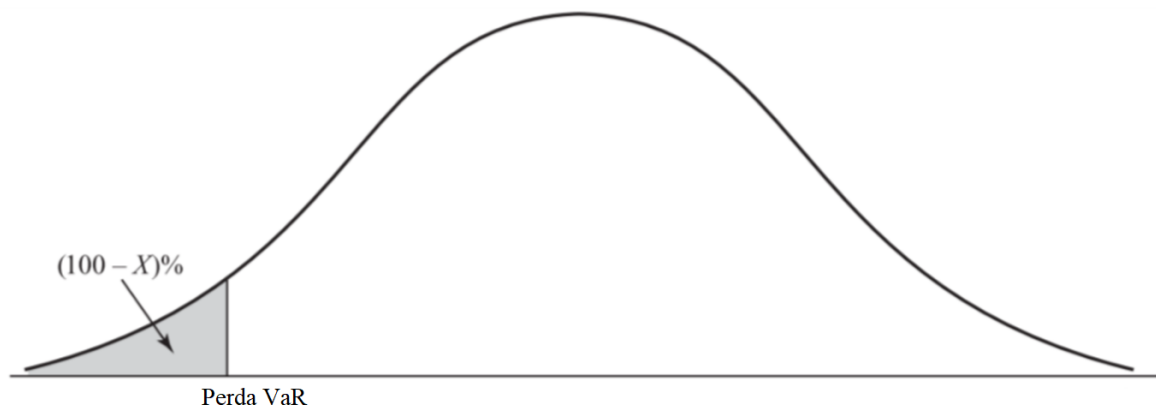
$$VaR(x) = \mu - Z_{(1-\alpha\%)}\sigma$$

Na prática, ao invés da média e do desvio padrão são utilizados seus estimadores amostrais, obtidos geralmente a partir de séries históricas de preços dos ativos.

Para o problema de Markowitz, ao utilizar-se o VaR no lugar da variância:

$$\begin{aligned} \min VaR(\sum w_i r_i) &= E(\sum w_i r_i) - Z_{(1-\alpha\%)}\sigma \\ \text{s. t. } \sum_{i=1}^n w_i E(r_i) &= r_0 \\ \sum_{i=1}^n w_i &= 1 \end{aligned}$$

A figura a seguir é uma representação visual do que seria o VaR em uma distribuição genérica:

Figura 19 – Distribuição genérica e VaR de $(100-X)\%$ 

Fonte: Adaptado de (Hull, 2012)

4.2.2. Conditional Value at Risk (CVaR)

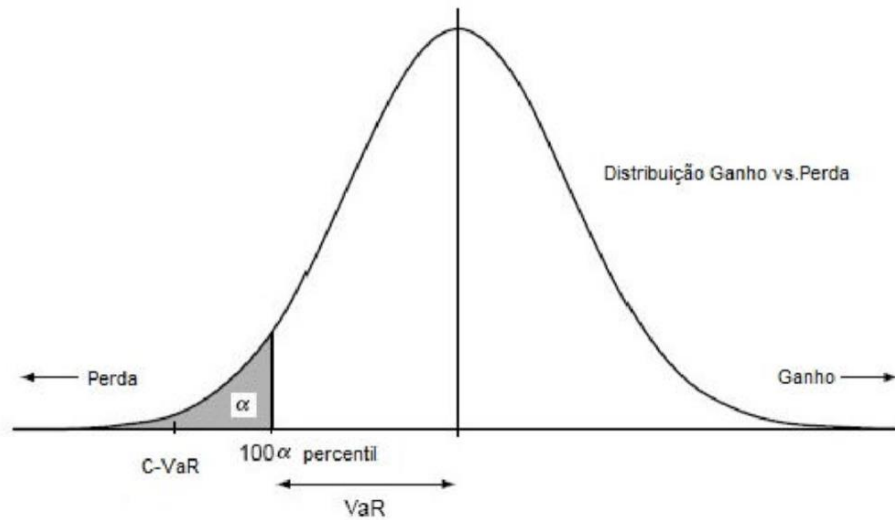
O VaR é uma medida de risco muito utilizada na gestão de riscos, contudo, ela apresenta alguns pontos negativos (Da Rocha, 2013). A principal crítica feita ao VaR é que este não fornece uma estimativa da magnitude da perda esperada uma vez que a perda tenha ultrapassado o valor calculado, portanto não fornece nenhuma informação sobre perdas superiores ao valor do VaR encontrado para o intervalo de confiança $(1 - \alpha\%)$. Imaginando-se uma carteira em que o VaR de 95% é \$10, o VaR indicaria que existe apenas 5% de chance de o valor ser superior a \$10, porém não fornece nenhuma indicação da magnitude dessa perda.

O Valor condicional de risco ou “*Conditional Value at Risk*”, CVaR, pode ser entendido como o valor esperado das possíveis perdas que excedem o valor de corte do VaR:

$$CVaR(x) = E[x | x \geq VaR(x)]$$

A seguir, estão representados visualmente o VaR e o CVaR em uma distribuição genérica:

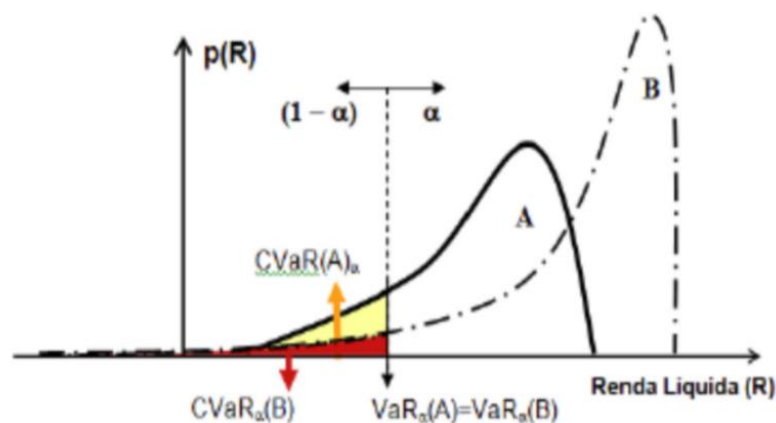
Figura 20 – Distribuição genérica, VaR e CVaR de $(100-\alpha)\%$



Fonte: (Da Rocha, 2013)

Sendo assim, uma das vantagens no uso do CVaR em relação ao VaR como medida de risco, é o fato de que com o CVaR, ao invés de saber-se a perda mínima nos $\alpha\%$ piores cenários, sabe-se em média o quanto se perderia se esse cenário se concretizasse. A figura a seguir representa isso de maneira simplista. Tanto o portfólio A quanto o portfólio B apresentam o mesmo VaR, contudo, a perda esperada do portfólio A é em média menor que a perda esperada do portfólio B quando considerada a região à esquerda do valor de corte:

Figura 21 – Comparação entre dois portfólios com mesmo VaR e diferentes CVaRs



Fonte: (Da Rocha, 2013)

Sendo assim, para o problema de Markowitz, ao utilizar-se o CVaR no lugar da variância:

$$\begin{aligned}
 \min \text{CVaR}(\sum w_i r_i) &= E[\sum w_i r_i \mid \sum w_i r_i \geq \text{VaR}(\sum w_i r_i)] \\
 \text{s. t. } \sum_{i=1}^n w_i E(r_i) &= r_0 \\
 \sum_{i=1}^n w_i &= 1
 \end{aligned}$$

O modelo acima utilizando-se o CVaR é de extrema importância para este trabalho, pois ele será utilizado para avaliar as estratégias de proteção elaboradas utilizando-se futuros para um produtor brasileiro de açúcar e etanol.

5. METODOLOGIA

Anteriormente neste trabalho foi abordada a importância do setor sucroenergético para o Brasil e como um produtor do setor encontra-se desprotegido em relação à variação dos preços do diesel importado de outros países. Essa exposição é explicada pela alta participação dos custos logísticos na produção dos derivados da cana, que representa cerca de 21% dos custos totais de produção de acordo com (Mendonça & Leal Junior, 2010).

Foram introduzidos conceitos básicos sobre contratos futuros e sua importância para realização de posições que protejam o produtor de oscilações de preços nos mercados em que atua. Por fim, tratou-se de explicar conceitos referentes a medidas de risco, relação “risco x retorno” e otimização de portfólios.

Nesta seção será explicada a metodologia utilizada no trabalho para a elaboração de estratégias de proteção utilizando-se contratos futuros e *cross hedging*, em seguida os dados utilizados para os cálculos dos portfólios serão descritos e por fim, como estes foram tratados para que se chegasse aos resultados.

5.1. Descrição das estratégias

As estratégias de proteção a serem utilizadas pelo produtor sucroalcooleiro tem como foco proteger este da variação de preços nos mercados que opera, no caso o de açúcar e etanol. Para tal fim, seriam utilizados contratos futuros.

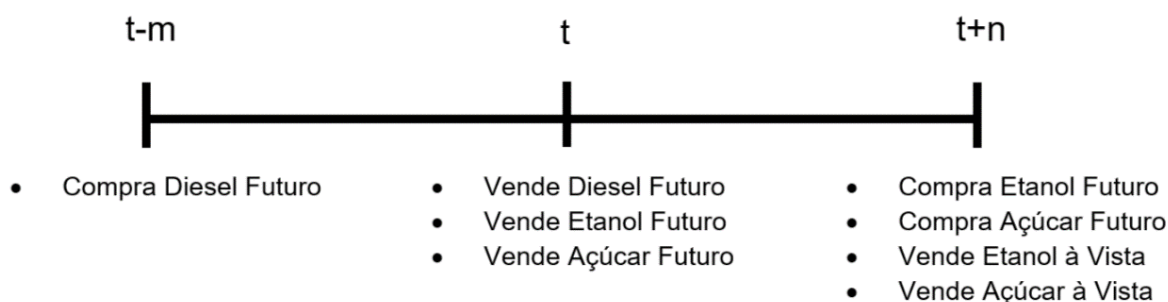
O estudo de (Awudu, Wilson, & Dahl, 2016) trata desse assunto para o caso americano, onde o etanol é gerado a partir do milho ao invés da cana-de-açúcar. Nesse estudo, são analisadas possíveis estratégias com futuros, utilizando-se *cross hedging* dos produtos e subprodutos provenientes da produção de etanol para um produtor americano. A ideia por trás das estratégias utilizadas neste trabalho baseia-se no artigo, devidamente adaptadas à um produtor de açúcar e etanol brasileiro.

Este produtor poderia utilizar-se de contratos de futuro de etanol e açúcar para proteger-se da variação de preços do mercado desses dois produtos. Além disso, decidiu-se por incluir *cross hedging* com futuros de diesel no modelo, devido ao grande impacto dos custos logísticos

na produção brasileira de açúcar e etanol e da dependência indireta em relação aos preços dos derivados de petróleo que são utilizados no transporte e maquinário de produção.

Para lidar com o problema de tomada de decisão em múltiplos períodos, o modelo assume que o produtor tomaria suas decisões quanto ao *hedge* em relação ao instante t , que corresponderia ao momento de início da produção. Sendo assim, ele executaria a compra de um determinado número de contratos de diesel futuro m meses antes do instante t . Após os m meses, ao atingir-se t este produtor encerraria sua posição nos contratos futuros de diesel e venderia uma quantidade de contratos futuros de etanol e açúcar para um horizonte de n meses. Decorridos esses n meses, ele encerraria sua posição nesses contratos e venderia seus produtos no mercado a vista. A figura a seguir representa as estratégias a serem realizadas pelo produtor em função de n e m .

Figura 22 – Representação das estratégias em função de n e m



Fonte: Elaborado pelo autor

Assim, foram construídos portfólios, que realizam o *hedge* dos futuros de etanol e açúcar n meses antes da venda dos produtos no mercado a vista e o *hedge* do futuro de diesel $n + m$ meses antes desse mesmo momento, onde $n = 1,2,3$ e $m = 1,2,3$, totalizando 9 portfólios diferentes.

Como hipóteses simplificadoras foram desconsideradas as rolagens dos contratos futuros, assumiu-se que as posições nos contratos futuros são sempre encerradas sem entrega física do ativo objeto, utilizando os futuros apenas para proteger-se da variação de preço e que o encerramento da posição do diesel futuro ocorre junto com a abertura das posições de etanol e açúcar futuras.

A equação a seguir, representaria o lucro esperado de cada um dos portfolios em função das quantidades para cada ativo do portfólio e o preço esperado de cada um. Na equação, a primeira linha representa o lucro obtido ao realizar a proteção comprada com o diesel futuro, a segunda e a quarta linha representam os lucros obtidos ao realizar a proteção vendida com o etanol e açúcar futuros respectivamente e a terceira e quinta linha representam os lucros obtidos ao vender-se o açúcar e etanol no mercado à vista.

$$\begin{aligned}
 E(\Pi) = & Q_{d,f} [E(P_{d,f,t}) - E(P_{d,f,t-m})] \\
 & + Q_{e,f} [E(P_{e,f,t}) - E(P_{e,f,t+n})] \\
 & + Q_{e,s} [E(P_{e,s,t+n})] \\
 & + Q_{s,f} [E(P_{s,f,t}) - E(P_{s,f,t+n})] \\
 & + Q_{s,s} [E(P_{s,s,t+n})]
 \end{aligned}$$

$Q_{d,f}$, $Q_{e,f}$, $Q_{s,f}$ seriam as quantidades de contratos futuros executadas na estratégia para o diesel, etanol e açúcar respectivamente. $Q_{e,s}$ e $Q_{s,s}$ as quantidades de etanol e açúcar à vista vendidas pelo produtor. $E(P_{d,f,t})$, $E(P_{e,f,t})$ e $E(P_{s,f,t})$ os preços esperados para os contratos futuros em t , $E(P_{e,f,t+n})$ e $E(P_{s,f,t+n})$ os preços esperados para o açúcar e etanol futuros em $t + n$ e $E(P_{d,f,t-m})$ o preço esperado do contrato de diesel em $t - m$.

No momento t , ao realizar ou não a proteção, pode-se dizer que indiretamente o produtor estaria “comprado” à vista no etanol e no açúcar, uma vez que esse se beneficiaria com uma subida nos preços à vista desses produtos entre t e $t + n$ e sairia prejudicado caso os preços caíssem. Sendo assim, é possível representar o retorno esperado desse portfólio em função dos pesos w atribuídos a cada posição:

$$\begin{aligned}
 E(r) = & w_{d,f} E(r_{d,f,t-m,t}) \\
 & + w_{e,f} E(r_{e,f,t+n,t}) \\
 & + w_{e,s} E(r_{e,s,t,t+n}) \\
 & + w_{s,f} E(r_{s,f,t,t+n}) \\
 & + w_{s,s} E(r_{s,s,t,t+n})
 \end{aligned}$$

Onde $E(r_{d,f,t-m,t})$ representaria o retorno esperado da posição comprada no futuro de diesel entre $t - m$ e t , $E(r_{e,f,t+n,t})$ e $E(r_{s,f,t+n,t})$, os retornos esperados das posições vendidas

nos futuros de etanol e açúcar entre t e $t + n$, e portanto, $E(r_{e,s,t,t+n})$ e $E(r_{s,s,t,t+n})$ os retornos esperados das posições compradas no etanol e açúcar a vista.

Para testar-se as estratégias foram utilizados dados históricos de cotação do açúcar e etanol à vista, e cotação histórica dos futuros de etanol, açúcar e diesel. Com esses dados, os retornos logarítmicos foram calculados e utilizou-se o CVaR para averiguar em que proporções e quais seriam os momentos mais oportunos (com base em n e m) para realizar-se essas proteções. Nas próximas seções, os dados e como estes foram tratados para serem utilizados no modelo serão descritos em mais detalhes.

5.2. Descrição dos dados

Os dados para os 5 ativos considerados na análise foram coletados via terminal *Bloomberg*. Foram utilizados dados de cotações diárias de um período que vai de 01/05/2010 até 01/05/2018, equivalente a 2086 observações no total para cada um dos ativos considerados.

A tabela a seguir apresenta de maneira resumida algumas características dos dados coletados:

Tabela 5 – Resumo dos dados coletados

	Bloomberg Code	Moeda de Cotação	Preço	Quantidade do contrato	Bolsa de Futuros
Futuro de Diesel	QS1 Comdty	USD	USD/Ton	100 toneladas	ICE Europa
Futuro de Etanol	DL1 Comdty	USD	USD/gal	29.000 Galões	CME
Futuro de Açúcar	SB1 Comdty	USD	USD/lb	112.000 libras	NYBOT
Spot Etanol	BAAWHYDP Index	BRL	BRL/m3	-	-
Spot Açúcar	BASUINSB Index	BRL	BRL/50kg	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor

Como mencionado na seção em que são descritos os futuros, nem sempre o ativo subjacente de um contrato futuro equivale ao ativo a ser vendido pelo produtor. No caso do açúcar, enquanto o ativo das cotações à vista é uma saca de 50kg de açúcar refinado em reais vendido no Brasil, o contrato futuro é cotado em dólares/libra e o ativo objeto é o açúcar mascavo negociado na Europa. Para o etanol, tanto o à vista quanto futuro é para etanol anidro,

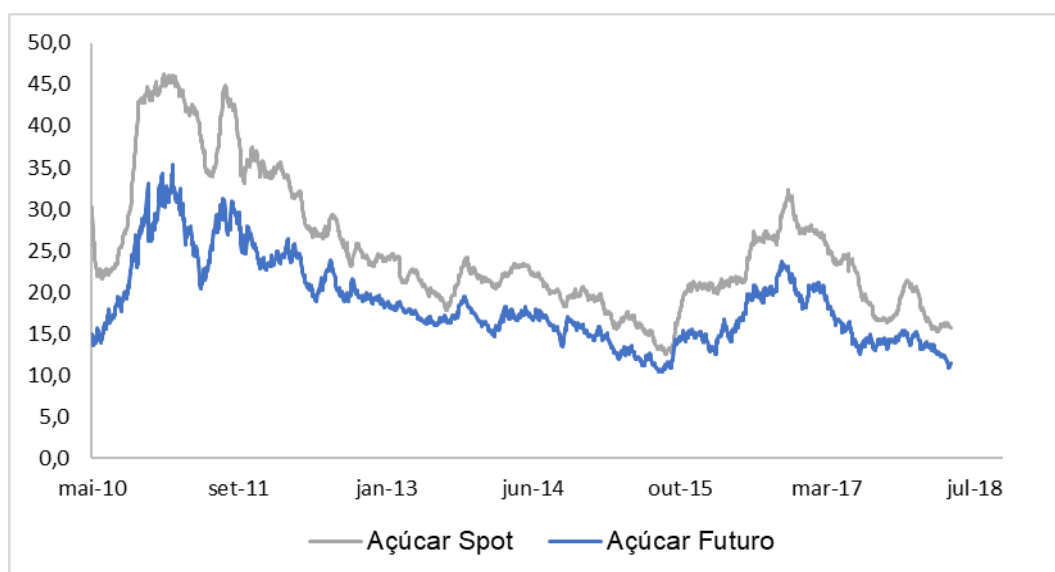
porém um é cotado em reais/metro cúbico e é referente as negociações no Brasil, enquanto o outro é cotado em dólares/galão para o mercado americano.

Além dos 5 ativos presentes no portfólio, foram coletados no terminal as cotações diárias do dólar americano em comparação ao real brasileiro, para que os preços fossem convertidos de dólar para real, desconsiderando assim a exposição à variação do câmbio no modelo.

A escolha desses contratos foi feita devida a sua maior liquidez e facilidade de negociação, uma vez que uma das premissas é a não entrega do ativo objeto devido ao encerramento prematuro das posições nos contratos futuros, o que seria facilitado em mercados com maior liquidez.

Em todo caso, é importante que as cotações entre os contratos futuros e o preço à vista apresentem algum tipo de correlação na variação de seus preços para que o *cross hedge* ocorra. A seguir estão os preços dos contratos futuros de açúcar e o preço da saca de 50kg de açúcar à vista (convertido para dólares) para o período analisado.

Figura 23 – Séries históricas cotação açúcar spot vs açúcar futuro em USD

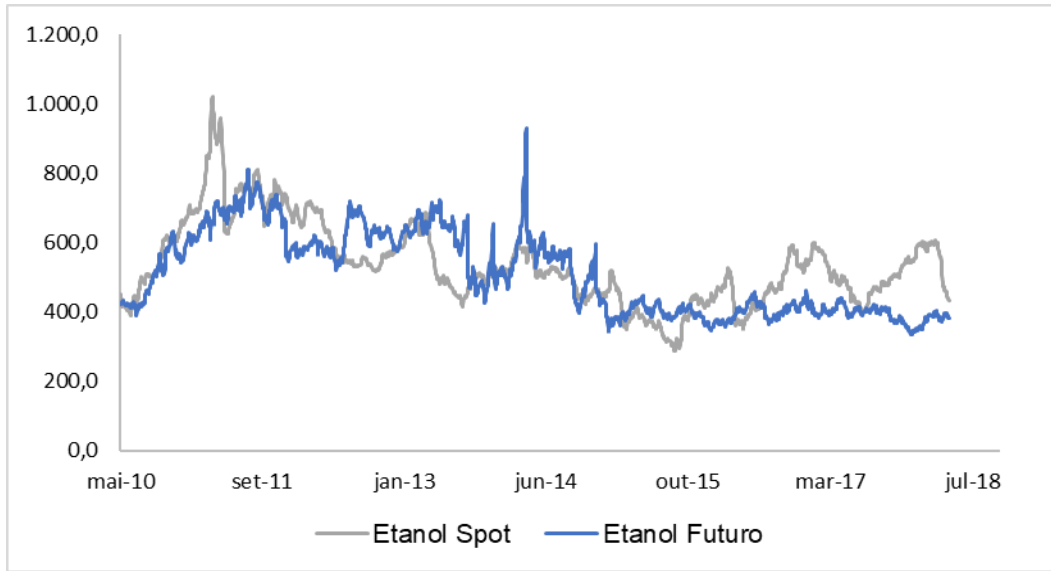


Fonte: Elaborado pelo autor

É possível perceber que existe uma forte relação entre as cotações dos preços à vista negociados no Brasil quando comparadas aos contratos futuros negociados na NYBOT.

Ao analisarmos o futuro de etanol comparado ao seu *spot* por outro lado, nota-se também uma relação entre eles, porém menor do que a entre o futuro e à vista de açúcar.

Figura 24 – Séries históricas cotação etanol spot vs etanol futuro em USD/m³



Fonte: Elaborado pelo autor

5.3. Tratamento dos dados

Nesta seção será explicado como foram tratados os dados obtidos no terminal *Bloomberg* e descritos na seção anterior, para encontrar-se a relação entre o CVaR, o retorno dos portfólios para cada estratégia e os pesos de cada ativo dentro desses portfólios para cada nível de CVaR.

Conforme mencionado anteriormente, os dados de cotação à vista obtidos foram convertidos para dólares, de modo a se expurgar a variação cambial do portfólio. Em seguida, os retornos logarítmicos foram calculados para cada um dos ativos para cada data t .

Para a posição comprada do diesel futuro entre $t - m$ e t :

$$r_{d,f,t-m,t} = \ln\left(\frac{P_{d,f,t}}{P_{d,f,t-m}}\right)$$

Para a posição vendida em etanol e açúcar futuros entre t e $t + n$:

$$r_{e,f,t+n,t} = \ln\left(\frac{P_{e,f,t}}{P_{e,f,t+n}}\right)$$

$$r_{s,f,t+n,t} = \ln\left(\frac{P_{s,f,t}}{P_{s,f,t+n}}\right)$$

E por fim, para as posições de etanol e açúcar à vista entre t e $t + n$:

$$r_{e,s,t,t+n} = \ln\left(\frac{P_{e,s,t+n}}{P_{e,s,t}}\right)$$

$$r_{s,s,t,t+n} = \ln\left(\frac{P_{s,s,t+n}}{P_{s,s,t}}\right)$$

Assim, foram obtidas series históricas de log retornos a serem utilizadas no modelo em função de m e n . Como foram definidas as posições compradas e vendidas de antemão e os retornos foram calculados já levando isso em consideração, foi possível restringir os pesos de cada um dos ativos no portfólio a serem sempre maiores ou iguais a zero. Além disso, assumiu-se que as distribuições dos retornos logarítmicos podem ser aproximados por uma log normal, como é de costume para esse tipo de simulação com retornos de cotações financeiras.

Conforme mencionado anteriormente, o retorno esperado do portfólio em cada uma das estratégias pode ser representado da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} E(r) = & w_{d,f}E(r_{d,f,t-m,t}) \\ & + w_{e,f}E(r_{e,f,t+n,t}) \\ & + w_{e,s}E(r_{e,s,t,t+n}) \\ & + w_{s,f}E(r_{s,f,t+n,t}) \\ & + w_{s,s}E(r_{s,s,t,t+n}) \end{aligned}$$

Com isso, para cada uma das 9 estratégias, a seguinte modelagem foi implementada com auxílio do software MATLAB e o CVaR (95% de confiança) para diferentes níveis de retorno esperado de um portfólio foi calculado, bem como os pesos correspondentes de cada um dos ativos w_i para cada nível de retorno esperado.

$$\begin{aligned} \min CVaR(\sum w_i r_i) &= E[\sum w_i r_i \mid \sum w_i r_i \geq VaR(\sum w_i r_i)] \\ \text{s. t. } \sum_{i=1}^n w_i E(r_i) &= r_0 \\ \sum_{i=1}^n w_i &= 1 \\ w_i &\geq 0 \end{aligned}$$

Foram inseridos no MATLAB a série de retornos logarítmicos, a partir daí, o programa calculou o CVaR para diversos portfólios, de modo a solucionar o problema acima, retornando a fronteira de eficiência, os pesos de cada portfólio da fronteira e seus respectivos retornos esperados.

No próximo capítulo, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos ao implementar-se a modelagem acima no MATLAB.

6. RESULTADOS

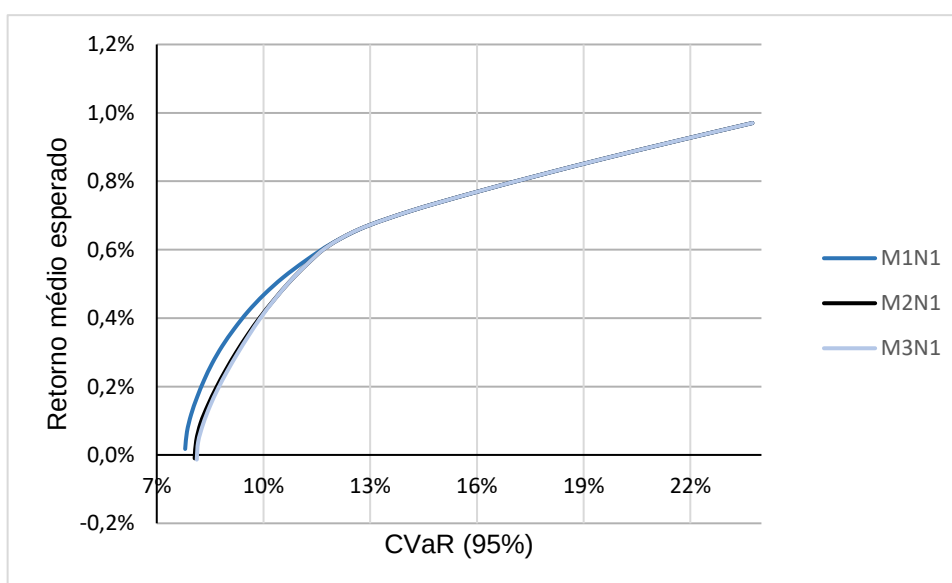
Após o tratamento dos dados históricos e a execução do modelo no MATLAB, foram obtidos os resultados para as 9 estratégias variando-se m e n meses onde $m=1,2,3$ e $n=1,2,3$.

No Anexo 2, para cada estratégia, é possível ver os resultados obtidos usando-se o CVaR com 95% de confiança para 20 portfólios, os pesos para cada portfólio e o retorno esperado correspondente. Em seguida, as fronteiras de eficiência individuais para cada uma das estratégias foram elaboradas com base nos resultados encontrados e estão disponíveis no Anexo 3. Por fim, no Anexo 4 encontra-se uma visualização gráfica dos pesos de cada um dos ativos em função do aumento do CVaR para cada estratégia.

Os resultados individuais de cada estratégia foram colocados em anexo para evitar que este trabalho ficasse muito repetitivo ao apresentar os resultados individuais de cada uma delas. Sendo assim, nesta seção serão abordados os resultados como um todo e serão comparadas as estratégias entre si, para que seja possível analisar a postura a ser adotada por um produtor em relação ao *hedge* do seu portfólio.

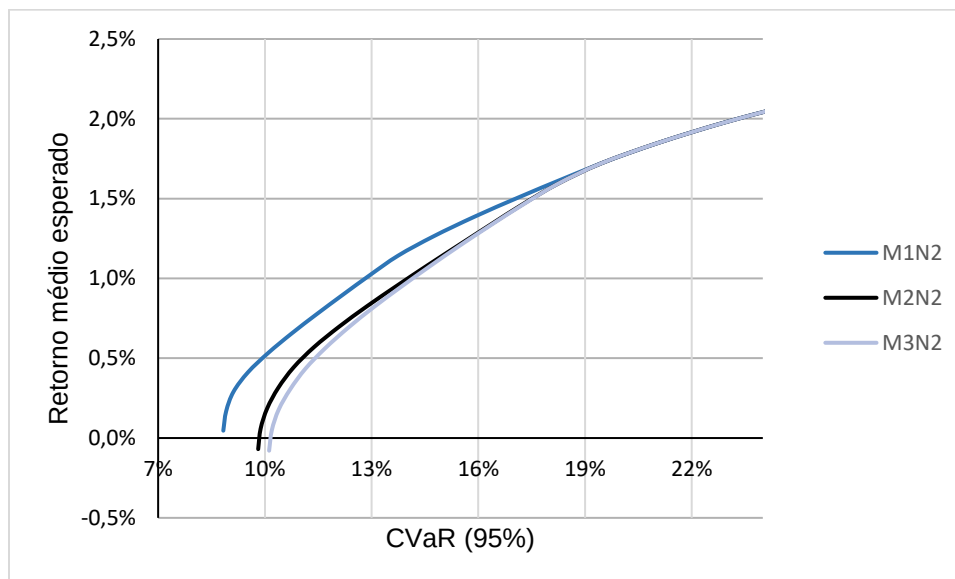
Ao representar as curvas de eficiência individuais para diferentes m , porém para um mesmo n em um único gráfico, foram obtidas as figuras a seguir:

Figura 25 – Fronteiras de eficiência para estratégias com $n = 1$



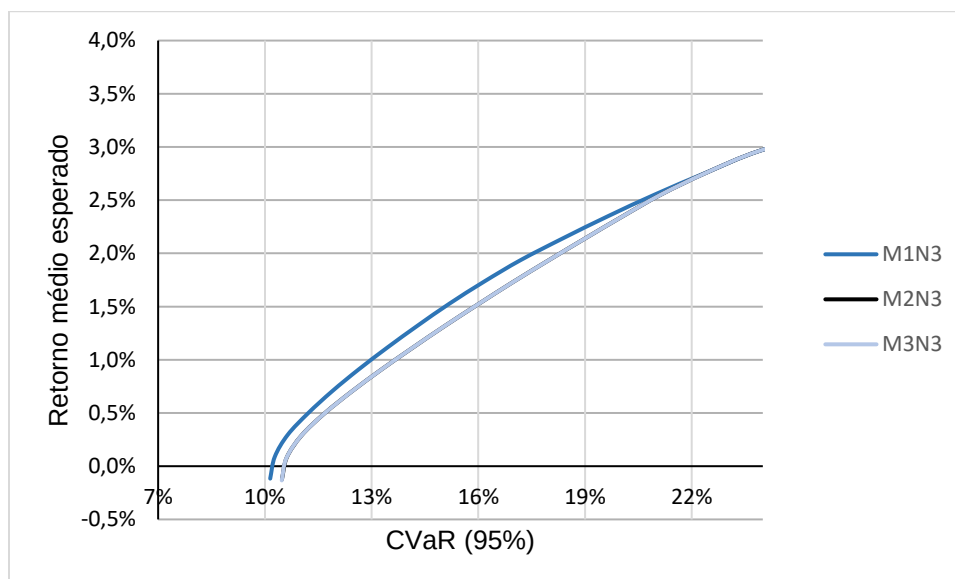
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 26– Fronteiras de eficiência para estratégias com $n = 2$



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 27 - Fronteiras de eficiência para estratégias com $n = 3$



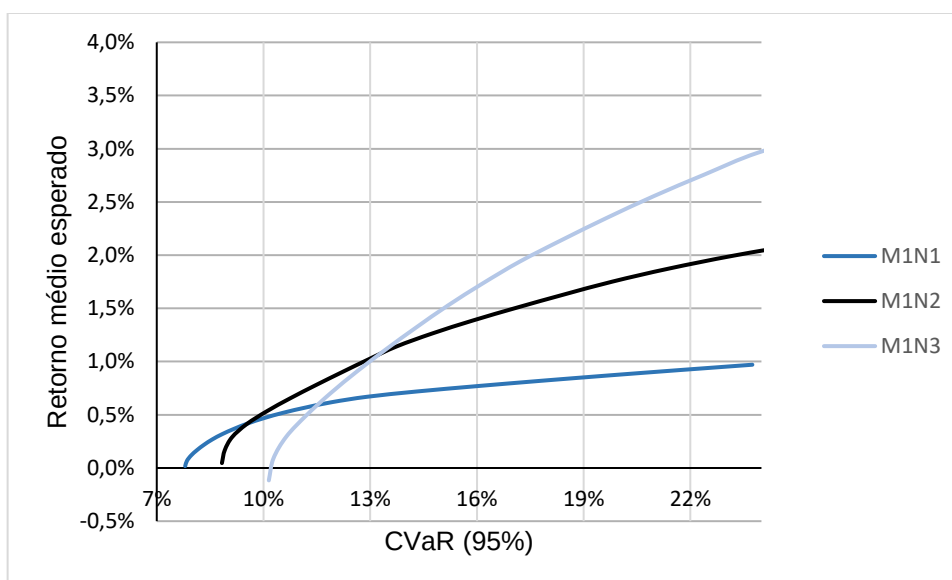
Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando as figuras acima, é possível observar que independente do n escolhido, não faria sentido para um produtor racional realizar seu *hedge* nos contratos futuros de diesel com

2 ou 3 meses de antecedência ao invés de 1, uma vez que ao utilizar $m = 1$, este teria um retorno esperado maior, para uma mesma perda esperada média (nível de CVaR). Portanto, seria possível concluir que, se um produtor pudesse escolher entre realizar o *hedge* do diesel futuro um, dois ou três meses antes de t , esse deveria sempre fazê-lo com um mês de antecedência ($m = 1$), e as estratégias que adotam $m = 2$ ou $m = 3$ poderiam ser deixadas de lado.

Partindo disso, as curvas de eficiência das estratégias que possuem $m = 1$ para diferentes valores de n foram colocadas no mesmo gráfico, obtendo-se a figura a seguir:

Figura 28- Fronteiras de eficiência para estratégias com $m = 1$



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao analisar as curvas acima, é possível verificar que quando $n = 1$, seria viável obter o menor CVaR possível (em torno de 7,8%), porém o retorno esperado para o portfólio seria de aproximadamente 0,2%. Para um produtor extremamente conservador, que busca apenas minimizar suas perdas o máximo possível, o *hedge* dos futuros de etanol e açúcar deveria ser feito idealmente com um mês de antecedência da venda dos seus produtos, pois assim seu CVaR, e portanto seu risco, estaria minimizado. Porém, nessa estratégia é possível observar que o risco aumentaria muito rápido caso se desejem retornos maiores.

Supondo que um produtor seja menos conservador em relação aos riscos e busque obter um retorno um pouco maior realizando o *hedge* do seu portfólio, 0,75% por exemplo. Para esse

produtor, não faria sentido realizar o *hedge* dos futuros de etanol e açúcar utilizando a curva com $n = 1$, uma vez que realizando a proteção com dois meses de antecedência, ele obterá um nível de risco menor para esse retorno.

Caso este produtor seja menos conservador ainda e busque receber um retorno de por exemplo 2%, este passaria a utilizar-se da curva com $n = 3$ para realizar sua proteção, pois estaria menos exposto ao risco para atingir esse retorno realizando a proteção três meses antes.

Tendo isso em mente, foi possível determinar os pontos nos quais as curvas se cruzam e definir a partir de qual nível de retorno esperado faria sentido o produtor realizar sua proteção um, dois ou três meses antes e seu CVaR equivalente. A tabela a seguir mostra essa relação.

Tabela 6- n ideal para diferentes níveis de retorno esperado e CVaR(r) 95%

Retorno Esperado	CVaR(r) 95%	n
$E(r) \leq 0,42\%$	$CVaR(r) \leq 9,56\%$	1
$0,42\% < E(r) < 1,07\%$	$9,56\% < CVaR(r) < 13,27\%$	2
$E(r) \geq 1,07\%$	$CVaR(r) \geq 13,27\%$	3

Fonte: Elaborado pelo autor

Em seguida, as três estratégias foram combinadas em uma única, utilizando-se os resultados individuais de cada uma para gerar uma tabela final. Um produtor de açúcar e etanol, ou um banco de investimento que realiza operações com *commodities*, poderia utilizar-se dessa tabela para determinar qual seria a alocação dos pesos de cada ativo no seu portfólio, dado o risco/retorno desejado.

A primeira parte corresponde ao trecho onde $n = 1$, aonde os retornos são menores, porém os níveis de risco também são menores. A segunda parte corresponde aos melhores resultados de $n = 2$, que apresentam retornos esperados um pouco maiores e níveis intermediários de risco. E por fim a terceira, aonde $n = 3$ que apresentam maiores retornos, mas também maiores riscos.

Tabela 7 – Combinação das estratégias com $n = 1, 2, 3$

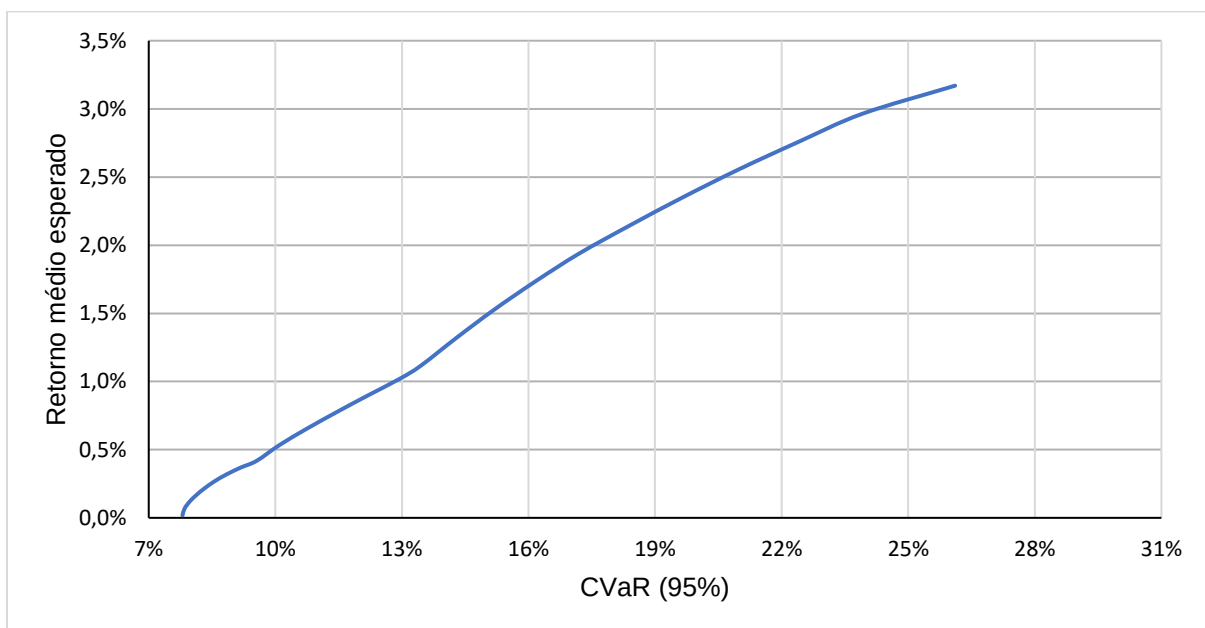
Portfólio	Retorno	CVaR(r) 95%	Diesel Futuro	Açúcar Futuro	Etanol Futuro	Açúcar Spot	Etanol Spot	$E(r)/CVaR(r)$	% Açúcar	% Etanol	m	n
1	0,02%	7,80%	11,9%	30,6%	14,1%	27,3%	16,1%	0,22%	62,9%	37,1%	1	1
2	0,07%	7,85%	12,6%	33,0%	12,8%	24,5%	17,1%	0,86%	58,9%	41,1%	1	1
3	0,12%	7,97%	13,7%	34,2%	12,4%	21,0%	18,7%	1,48%	52,9%	47,1%	1	1
4	0,17%	8,13%	15,2%	34,8%	12,1%	17,1%	20,9%	2,07%	45,0%	55,0%	1	1
5	0,22%	8,33%	15,2%	36,4%	11,8%	14,1%	22,5%	2,62%	38,6%	61,4%	1	1
6	0,27%	8,56%	15,2%	38,1%	11,5%	11,3%	23,8%	3,13%	32,2%	67,8%	1	1
7	0,32%	8,84%	14,8%	40,1%	11,0%	8,6%	25,5%	3,60%	25,3%	74,7%	1	1
8	0,37%	9,18%	14,0%	42,0%	10,8%	6,0%	27,2%	4,02%	18,2%	81,8%	1	1
9	0,42%	9,56%	13,4%	44,2%	10,1%	3,5%	28,8%	4,38%	10,8%	89,2%	1	1
10	0,53%	10,10%	17,9%	38,5%	16,2%	17,4%	10,0%	5,28%	63,5%	36,5%	1	2
11	0,66%	10,75%	17,1%	40,0%	17,6%	14,7%	10,6%	6,09%	58,1%	41,9%	1	2
12	0,78%	11,46%	17,7%	40,5%	18,3%	10,8%	12,7%	6,78%	45,9%	54,1%	1	2
13	0,90%	12,20%	18,7%	40,2%	19,9%	6,4%	14,8%	7,37%	30,3%	69,7%	1	2
14	1,02%	12,95%	19,7%	40,3%	21,5%	2,5%	16,0%	7,88%	13,8%	86,2%	1	2
15	1,12%	13,45%	16,5%	36,7%	23,9%	12,7%	10,3%	8,30%	55,1%	44,9%	1	3
16	1,32%	14,30%	17,1%	37,2%	25,5%	8,9%	11,3%	9,24%	44,0%	56,0%	1	3
17	1,53%	15,19%	18,2%	38,4%	26,7%	5,9%	10,8%	10,05%	35,2%	64,8%	1	3
18	1,73%	16,15%	19,1%	38,5%	28,6%	1,7%	12,1%	10,72%	12,6%	87,4%	1	3
19	1,94%	17,19%	16,4%	40,6%	30,9%	0,0%	12,0%	11,27%	0,0%	100,0%	1	3
20	2,14%	18,39%	12,5%	44,6%	32,6%	0,0%	10,3%	11,65%	0,0%	100,0%	1	3

Fonte: Elaborado pelo autor

Na tabela também foi incluída a relação encontrada para a quantidade de açúcar e etanol a serem produzidos pelo produtor, bem como um simples coeficiente que dimensiona a relação entre o retorno esperado e o risco daquele portfólio específico.

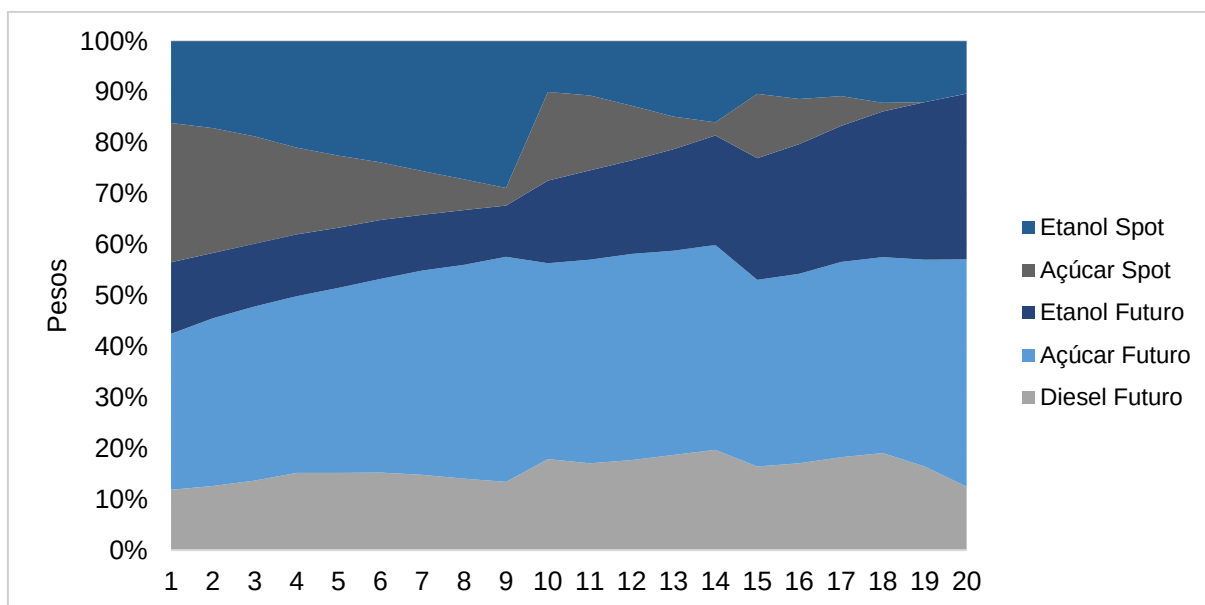
A partir da tabela consolidada, a curva de eficiência das estratégias combinadas foi obtida, bem como a distribuição dos pesos de cada ativo em cada um dos 20 portfólios. Estes encontram-se a seguir.

Figura 29 – Fronteira de eficiência para as estratégias combinadas com $n = 1, 2, 3$



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 30 – Pesos por ativo para as estratégias combinadas com $n = 1, 2, 3$



Fonte: Elaborado pelo autor

O produtor, caso já tenha de antemão a proporção de açúcar e etanol que irá produzir, pode utilizar a tabela anterior (ou as tabelas com os resultados individuais em anexo) para ver qual seria a estratégia mais adequada para ele e, portanto, como realizar sua proteção, sendo este um outro uso para os resultados gerados pelo modelo neste trabalho.

Na próxima seção, serão apresentadas as conclusões desse trabalho e sugestões para trabalhos futuros sobre o tema.

7. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentada a importância do mercado sucroenergético para a economia do Brasil e conseqüentemente para sua população. Mostrou-se também como os preços do diesel, derivado do petróleo, possui impacto significativo no preço final do açúcar e do etanol, devido aos altos custos logísticos para transporte desses produtos e ao sistema de produção que se utiliza majoritariamente de máquinas para realizar a plantação e a colheita da cana-de-açúcar utilizada como matéria prima.

Em seguida, foram introduzidos conceitos básicos sobre os mercados futuros, relação entre risco e retorno, modelos para a otimização de portfólio e como estes poderiam ser utilizados por um produtor de açúcar e etanol para proteger-se não só das variações dos preços desses produtos, mas também da variação do preço do diesel utilizado nessa produção.

A partir desse contexto, foram elaboradas estratégias, que utilizam contratos futuros de açúcar, etanol e diesel para que um produtor brasileiro pudesse realizar essa proteção. Essas estratégias diferem principalmente no que se refere ao tempo no qual o produtor deveria realizar o seu *hedge*. Cada uma das estratégias foi testada e foi possível concluir que para o *hedge* do diesel, dentre as estratégias simuladas, o ideal seria sempre realizar a proteção com contratos futuros um mês antes do momento em que se realizam as proteções com contratos futuros de etanol e de açúcar. Já para as proteções com contratos futuros de etanol e de açúcar, o tempo de antecedência em relação a venda dos produtos finais em que se deve fazer a proteção dependeria dos níveis de retorno esperado do produtor, bem como do nível de risco máximo que este estaria disposto a correr.

A partir das simulações em MATLAB utilizando-se um CVaR com 95% de confiança, foi elaborada uma tabela, que pode ser utilizada por um produtor que opte por realizar a proteção de seu portfólio utilizando-se esses contratos futuros, informando a proporção no qual este deveria realizar suas proteções e a quantidade de etanol e açúcar que este deveria produzir caso sejam considerados somente esses dois produtos e o tempo de antecedência para realizar a proteção.

Uma possível continuação para esse estudo, seria incluir outros ativos no portfólio do produtor, como a energia remanescente gerada pelas usinas que é colocada na rede elétrica. Outra seria a análise mais detalhada do tempo do *hedge* uma vez que este foi testado discretamente para um,

dois ou três meses somente, não avaliando a possibilidade de ser feito em menos tempo ou intervalos diferentes.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Awudu, I., Wilson, W., & Dahl, B. (2016). Hedging strategy for ethanol processing with copula distributions. *Energy Economics*, pp. 59-65.

BM&F Bovespa. (2018). Fonte: http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/produtos/listados-a-vista-e-derivativos/commodities/futuro-de-acucar-cristal-com-liquidacao-financeira.htm

Branda, M. (2018). Computational aspects of optimization. Prague: Charles University.

Da Rocha, J. (2013). Sistema inteligente de diagnósticos energéticos e de análise de investimentos em projetos de eficiência energética gerenciados pelo lado da demanda. Rio De Janeiro, Brasil: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Dias, M. O., Filho, R. M., Mantelatto, P., Cavalett, O., Rossell, C. V., Bonomi, A., & Leal, M. R. (2015). Sugarcane processing for ethanol and sugar in Brazil. *Environmental Development*, pp. 35-51.

Diehl, D. (2012). Formação do preço de etanol hidratado no Estado de São Paulo e sua relação com os mercados de açúcar e gasolina. São Paulo, Brasil: Universidade de São Paulo.

Elias, G. (2014). Gestão de Risco de Preço no Mercado de Açúcar do Brasil. São Paulo, Brasil: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

GLOBO - G1. (2018). *G1 Globo*. Fonte: <https://g1.globo.com/economia/noticia/balanca-comercial-tem-superavit-us-67-bilhoes-em-2017-o-maior-em-29-anos.ghtml>

Hull, J. (2012). *Option, futures and other derivatives* (5 ed.). (P. Hall, Ed.) Univeristy of Toronto.

IEA. (2017). *International Energy Agency*. Fonte: <https://www.iea.org/>

Instituto de Economia Agrícola do Estado de São Paulo. (2016). *Manual de custos e indicadores do setor da bioenergia*.

Kussano, M., & Batalha, M. (2009). Custos logísticos do escoamento do açúcar brasileiro para o mercado externo. *ENEGETP*. Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO).

Luenberger, D. (1998). *Investment Science* (1 ed.). Oxford University Press.

Magro, R. C. (2008). *Medidas de Risco e Seleção de Portfólios*. São Paulo, Brasil: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

Marssal de Oliveira, S., Ribeiro, C. d., & Cicogna, M. V. (2018). Uncertainty effects on production mix and on hedging decisions: The case of Brazilian ethanol and sugar. *Energy Economics*, pp. 516-524.

Mendonça, J. F., & Leal Junior, I. C. (2010). Comparação dos Custos de Produção e Transporte de Etanol entre Brasil e Estados Unidos. *Simpósio de Excelência em Getão e Tecnologia*. SEGeT.

Moretti, N. F. (2015). *Logística do etanol no Estado de São Paulo: Uma análise sob a ótica da Intermodalidade*. São Paulo, Brasil: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

Nova Cana. (2018). *Nova Cana*. Fonte: <https://www.novacana.com/estudos/historico-das-exportacoes-brasileiras-de-etanol-241013/>

UNICA. (2018). *União da Indústria de Cana de Açúcar*. Fonte: unicadata.com.br

USDA. (2018). *U.S. Department of Agriculture*. Fonte: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/Sugar.pdf>

Xavier, C. (2016). Custos da Logística no Sistema de Produção Agroindustrial Sucroenergético. *IV Seminário de Transporte e Logística*. Sertãozinho: Fenasucro e Agrocana.

ANEXO 1 – CONTRATO FUTURO DE AÇÚCAR CRISTALIZADO NEGOCIADO NA BM&F

Figura 31 – Exemplo de contrato Futuro de açúcar cristal com liquidação financeira

CONTRATO FUTURO DE AÇÚCAR CRISTAL COM LIQUIDAÇÃO FINANCEIRA

– Especificações –

1. Definições

<u>Hedgers:</u>	comitentes que negociam o contrato na qualidade de produtores, cooperativas, indústrias consumidoras, usinas, importadores, exportadores e fornecedores de insumos, máquinas e equipamentos.
<u>Preço de ajuste (PA):</u>	preço de fechamento diário, expresso em reais por saca de 50kg (cinquenta quilos) líquidos de açúcar cristal, apurado e/ou arbitrado diariamente pela BM&FBOVESPA, a seu critério, para cada um dos vencimentos autorizados, para efeito de atualização do valor das posições em aberto e apuração do valor de ajustes diários e de liquidação das operações <i>day trade</i> .
<u>PTAX:</u>	taxa de câmbio de reais por dólar dos Estados Unidos, cotação de venda, divulgada pelo Banco Central do Brasil, por intermédio do Sisbacen, transação PTAX800, opção “5”, cotação de fechamento, para liquidação em dois dias, a ser utilizada com, no máximo, sete casas decimais, relativa ao último dia do mês anterior ao da operação.
<u>Taxa de câmbio referencial BM&FBOVESPA:</u>	taxa de câmbio de reais por dólar dos Estados Unidos da América, apurada pela BM&FBOVESPA para liquidação em 1 (um) dia, conforme divulgado em seu endereço eletrônico.
<u>Dia útil:</u>	dia em que ocorrer sessão de negociação na BM&FBOVESPA.
<u>BM&FBOVESPA ou Bolsa:</u>	BM&FBOVESPA S.A. – Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros.

2. Objeto de negociação

Açúcar cristal especial, com mínimo de 99,7° (noventa e nove inteiros e sete décimos) graus de polarização, máximo de 0,08% (oito centésimos por cento) de umidade, máximo de 150 (cento e cinquenta) de cor ICUMSA, máximo de 0,07% (sete centésimos por cento) de cinzas.

.ii.

3. Cotação

Reais por saca de 50kg (cinquenta quilos) líquidos, com duas casas decimais, livres de tributos.

4. Variação mínima de apregoação

R\$0,01 (um centavo de real) por saca de 50kg (cinquenta quilos) líquidos.

5. Oscilação máxima diária

A BM&FBOVESPA estabelece a oscilação máxima diária do contrato.

Para o primeiro vencimento em aberto, o limite de oscilação máxima diária será suspenso nos três últimos dias de negociação.

A BM&FBOVESPA poderá alterar o limite de oscilação máxima diária de preços de qualquer vencimento a qualquer tempo, mesmo no decurso da sessão de negociação, mediante comunicado ao mercado com 30 (trinta) minutos de antecedência.

6. Unidade de negociação

508 (quinhentas e oito) sacas de 50kg (cinquenta quilos) líquidos ou 25,4t (vinte e cinco inteiros e quatro décimos toneladas métricas).

7. Meses de vencimento

Fevereiro, abril, junho, setembro e dezembro.

8. Último dia de negociação e data de vencimento

O último dia negociação do contrato será a data de vencimento.

A data de vencimento do contrato será todo dia 15 (quinze) do mês de vencimento. Se esse dia não for dia útil para efeito deste contrato, a data de vencimento será o dia útil seguinte.

9. Dia útil

Para efeito de liquidação financeira e de atendimento a chamadas de margem, a que se referem os itens 11, 12, 13 e 16.2, considerar-se-á “dia útil” o dia em que, além de haver sessão de negociação na BM&FBOVESPA, não for feriado bancário na praça de Nova York, Estados Unidos da América.

10. Day trade

São admitidas operações *day trade* (compra e venda, na mesma sessão de negociação, da mesma quantidade de contratos para o mesmo vencimento), que se liquidarão automaticamente, desde que realizadas em nome do mesmo comitente, por meio do mesmo Intermediário e sob a responsabilidade do mesmo Membro de Compensação, ou realizadas pelo mesmo Operador Especial, sob a responsabilidade do mesmo Membro de Compensação. A liquidação financeira dessas operações será realizada no dia útil subsequente ao da negociação, sendo os valores apurados de acordo com o item 12(a), observado, no que couber, o disposto no item 16.

.iii.

11. Ajuste diário

As posições em aberto ao final de cada sessão de negociação serão ajustadas com base no preço de ajuste do dia, determinado segundo regras estabelecidas pela Bolsa, com movimentação financeira no dia útil subsequente.

O ajuste diário das posições em aberto será realizado até a data de vencimento, de acordo com as seguintes fórmulas:

a) Ajuste das posições realizadas no dia:

$$AD_t = (PA_t - PO) \times 508 \times n$$

b) Ajuste das posições em aberto no dia anterior:

$$AD_t = (PA_t - PA_{t-1}) \times 508 \times n$$

Onde:

AD_t	=	valor do ajuste diário, em reais, referente à data “t”;
PA_t	=	preço de ajuste, em reais, na data “t”, para o vencimento respectivo;
PO	=	preço da operação, em reais;
n	=	número de contratos;
PA_{t-1}	=	preço de ajuste, em reais, do dia útil anterior para o vencimento respectivo.

O valor do ajuste diário (AD_t), calculado conforme demonstrado, se positivo, será creditado ao comprador e será debitado do vendedor. Caso o cálculo acima apresente valor negativo, o AD_t será debitado do comprador e creditado ao vendedor.

12. Condições de liquidação no vencimento

Na data de vencimento, as posições em aberto, após o encerramento da sessão de negociação, serão liquidadas financeiramente pela Bolsa, mediante o registro de operação de natureza inversa (compra ou venda) à da posição, na mesma quantidade de contratos, pelo preço calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$PO_i = \frac{\sum_{t=(d-4)}^d IASantos_t}{5}$$

Onde:

PO_i	=	preço da operação relativa à liquidação por índice de preços, expresso em reais por saca de 50kg (cinquenta quilos) líquidos;
$IASantos_t$	=	Indicador de Preço do Açúcar Cristal – Porto de Santos (SP) BM&FBOVESPA, expresso em reais por saca de 50kg (cinquenta quilos) líquidos, apurado por instituição renomada em coleta de preços, definida em Ofício Circular, e divulgado no endereço eletrônico da BM&FBOVESPA;
$d - 4$	=	quarto dia útil anterior ao último dia de negociação;
d	=	data de vencimento do contrato e último dia de negociação.

.iv.

Os resultados financeiros da liquidação estarão disponíveis para movimentação no dia útil subsequente à data de vencimento.

13. Operações *ex-pit*

Serão permitidas operações *ex-pit* até a sessão de negociação do último dia de negociação, desde que atendidas às condições estabelecidas pela BM&FBOVESPA. Essas operações *ex-pit* serão divulgadas pela BM&FBOVESPA, mas não serão submetidas à interferência do mercado.

14. Margem de garantia

Será exigida margem de todos os comitentes com posição em aberto, cujo valor será apurado segundo a metodologia divulgada pela BM&FBOVESPA, podendo ser atualizado diariamente. A margem será devida no dia útil subsequente. No caso de clientes não residentes, se o dia útil subsequente for feriado bancário em Nova York, a margem será devida no primeiro dia, após o de abertura da posição, em que não for feriado bancário naquela praça.

A conversão dos valores de margem, quando necessária, será realizada observando-se, no que couber, o disposto no item 16.

15. Forma de pagamento e recebimento dos valores relativos à liquidação financeira e à conversão dos valores de margem de garantia e dos custos operacionais

A liquidação financeira das operações *day trade*, dos ajustes diários, no vencimento e dos custos operacionais, bem como a conversão da margem de garantia, será realizada conforme determinado a seguir.

15.1 Comitentes residentes

Em reais, de acordo com os procedimentos estabelecidos pela Câmara de Derivativos da BM&FBOVESPA.

15.2 Comitentes não residentes

Em dólares dos Estados Unidos da América, na praça de Nova York, Estados Unidos da América, por meio das instituições liquidantes das operações da BM&FBOVESPA no Exterior, por ela indicados.

A conversão dos valores financeiros, quando for o caso, será feita pela taxa de câmbio referencial BM&FBOVESPA em relação a uma data específica, conforme a natureza do valor a ser liquidado, a saber:

- a) na liquidação de operações *day trade*: aplica-se a taxa de câmbio referencial BM&FBOVESPA do dia do negócio;
- b) na liquidação de ajuste diário: aplica-se a taxa de câmbio referencial BM&FBOVESPA do dia a que o ajuste se refere;
- c) na liquidação financeira no vencimento: aplica-se a taxa de câmbio referencial BM&FBOVESPA do dia útil anterior ao dia da liquidação financeira.
- d) na conversão da margem de garantia: aplica-se a taxa de câmbio referencial BM&FBOVESPA do dia da operação;

A conversão dos valores relacionados aos custos operacionais expressos em reais será feita pela PTAX.

.V.

16. Arbitramento do preço de liquidação por índice de preços

O preço da operação relativa à liquidação por índice de preços, detalhada no item 13, poderá ser arbitrado a critério da BM&FBOVESPA.

17. Normas complementares

Fazem parte integrante deste contrato, no que couber, a legislação em vigor, as normas e os procedimentos da BM&FBOVESPA, definidos em seus Estatuto Social, Regulamentos e Manuais, Ofícios Circulares e Comunicados Externos, e observadas, adicionalmente, as regras específicas das autoridades governamentais que possam afetar os termos nele contidos.

Na hipótese de situações não previstas neste contrato, bem como de medidas governamentais ou de qualquer outro fato, que impactem a formação, a maneira de apuração ou a divulgação de sua variável, ou que impliquem, inclusive, sua descontinuidade, a Bolsa tomará as medidas que julgar necessárias, a seu critério, visando à liquidação do contrato ou sua continuidade em bases equivalentes.

ANEXO 2 – RESULTADOS OBTIDOS PARA CADA ESTRATÉGIA COM CVaR 95%

Tabela 8 – Resultados para $m = 1$ e $n = 1$

Portfólio	Returns	Cvar 95%	PESOS				
			Diesel Futuro	Açúcar Futuro	Etanol Futuro	Açúcar Spot	Etanol Spot
1	0,02%	7,80%	11,9%	30,6%	14,1%	27,3%	16,1%
2	0,07%	7,85%	12,6%	33,0%	12,8%	24,5%	17,1%
3	0,12%	7,97%	13,7%	34,2%	12,4%	21,0%	18,7%
4	0,17%	8,13%	15,2%	34,8%	12,1%	17,1%	20,9%
5	0,22%	8,33%	15,2%	36,4%	11,8%	14,1%	22,5%
6	0,27%	8,56%	15,2%	38,1%	11,5%	11,3%	23,8%
7	0,32%	8,84%	14,8%	40,1%	11,0%	8,6%	25,5%
8	0,37%	9,18%	14,0%	42,0%	10,8%	6,0%	27,2%
9	0,42%	9,56%	13,4%	44,2%	10,1%	3,5%	28,8%
10	0,47%	10,01%	12,8%	46,9%	8,6%	1,1%	30,5%
11	0,52%	10,55%	9,2%	50,1%	8,9%	0,0%	31,8%
12	0,57%	11,20%	4,4%	54,5%	8,9%	0,0%	32,1%
13	0,62%	11,93%	0,4%	59,8%	7,3%	0,0%	32,4%
14	0,67%	12,92%	0,0%	67,1%	3,1%	0,0%	29,8%
15	0,72%	14,33%	0,0%	73,9%	0,0%	0,0%	26,1%
16	0,77%	16,02%	0,0%	79,1%	0,0%	0,0%	20,9%
17	0,82%	17,82%	0,0%	84,3%	0,0%	0,0%	15,7%
18	0,87%	19,72%	0,0%	89,5%	0,0%	0,0%	10,5%
19	0,92%	21,70%	0,0%	94,8%	0,0%	0,0%	5,2%
20	0,97%	23,75%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 9 – Resultados para $m = 1$ e $n = 2$

Portfólio	Returns	Cvar 95%	PESOS				
			Diesel Futuro	Açúcar Futuro	Etanol Futuro	Açúcar Spot	Etanol Spot
1	0,05%	8,83%	17,4%	31,7%	12,7%	27,5%	10,6%
2	0,17%	8,91%	19,7%	34,0%	11,7%	24,7%	9,9%
3	0,29%	9,12%	20,6%	36,0%	11,6%	22,0%	9,8%
4	0,41%	9,52%	19,5%	37,3%	13,6%	19,6%	9,9%
5	0,53%	10,10%	17,9%	38,5%	16,2%	17,4%	10,0%
6	0,66%	10,75%	17,1%	40,0%	17,6%	14,7%	10,6%
7	0,78%	11,46%	17,7%	40,5%	18,3%	10,8%	12,7%
8	0,90%	12,20%	18,7%	40,2%	19,9%	6,4%	14,8%
9	1,02%	12,95%	19,7%	40,3%	21,5%	2,5%	16,0%
10	1,14%	13,75%	18,6%	40,2%	25,7%	0,0%	15,4%
11	1,26%	14,75%	15,0%	42,8%	29,5%	0,0%	12,7%
12	1,39%	15,89%	11,2%	46,2%	31,8%	0,0%	10,7%
13	1,51%	17,14%	7,6%	50,9%	32,0%	0,0%	9,5%
14	1,63%	18,44%	3,7%	55,4%	32,5%	0,0%	8,5%
15	1,75%	19,81%	0,0%	61,0%	30,9%	0,0%	8,1%
16	1,87%	21,39%	0,0%	67,2%	27,5%	0,0%	5,3%
17	2,00%	23,22%	0,0%	72,0%	26,6%	0,0%	1,4%
18	2,12%	25,35%	0,0%	80,2%	19,8%	0,0%	0,0%
19	2,24%	27,72%	0,0%	90,1%	9,9%	0,0%	0,0%
20	2,36%	30,16%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 10 – Resultados para $m = 1$ e $n = 3$

Portfolio	Returns	Cvar 95%	PESOS				
			Diesel Futuro	Açúcar Futuro	Etanol Futuro	Açúcar Spot	Etanol Spot
1	-0,12%	10,15%	10,4%	29,1%	18,4%	31,9%	10,2%
2	0,09%	10,28%	11,1%	30,5%	19,5%	29,0%	9,9%
3	0,29%	10,64%	12,0%	33,3%	18,6%	26,3%	9,8%
4	0,50%	11,22%	13,4%	34,8%	19,5%	23,6%	8,6%
5	0,71%	11,89%	14,9%	36,1%	20,5%	20,6%	7,9%
6	0,91%	12,64%	15,3%	36,4%	22,0%	16,4%	10,0%
7	1,12%	13,45%	16,5%	36,7%	23,9%	12,7%	10,3%
8	1,32%	14,30%	17,1%	37,2%	25,5%	8,9%	11,3%
9	1,53%	15,19%	18,2%	38,4%	26,7%	5,9%	10,8%
10	1,73%	16,15%	19,1%	38,5%	28,6%	1,7%	12,1%
11	1,94%	17,19%	16,4%	40,6%	30,9%	0,0%	12,0%
12	2,14%	18,39%	12,5%	44,6%	32,6%	0,0%	10,3%
13	2,35%	19,64%	8,4%	48,4%	34,6%	0,0%	8,5%
14	2,55%	20,97%	5,6%	51,4%	37,7%	0,0%	5,4%
15	2,76%	22,41%	1,5%	55,0%	40,1%	0,0%	3,5%
16	2,96%	23,92%	0,0%	58,9%	41,1%	0,0%	0,0%
17	3,17%	26,11%	0,0%	69,2%	30,8%	0,0%	0,0%
18	3,38%	28,71%	0,0%	79,4%	20,6%	0,0%	0,0%
19	3,58%	31,44%	0,0%	89,7%	10,3%	0,0%	0,0%
20	3,79%	34,28%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 11 – Resultados para $m = 2$ e $n = 1$

Portfolio	Returns	Cvar 95%	PESOS				
			Diesel Futuro	Açúcar Futuro	Etanol Futuro	Açúcar Spot	Etanol Spot
1	-0,01%	8,06%	3,8%	33,0%	15,3%	32,5%	15,3%
2	0,04%	8,11%	3,2%	35,0%	15,4%	30,0%	16,5%
3	0,09%	8,23%	3,6%	36,1%	16,1%	26,9%	17,4%
4	0,14%	8,44%	3,3%	39,0%	15,0%	24,5%	18,3%
5	0,20%	8,67%	3,4%	40,5%	15,0%	21,5%	19,7%
6	0,25%	8,94%	3,9%	41,7%	14,1%	17,8%	22,5%
7	0,30%	9,23%	3,4%	44,1%	13,4%	15,3%	23,8%
8	0,35%	9,55%	2,8%	45,4%	13,7%	12,4%	25,7%
9	0,40%	9,91%	1,8%	47,7%	13,3%	10,0%	27,1%
10	0,45%	10,30%	1,0%	50,7%	11,3%	7,6%	29,4%
11	0,51%	10,73%	0,0%	52,5%	11,4%	5,1%	31,0%
12	0,56%	11,22%	0,0%	53,7%	11,2%	1,8%	33,3%
13	0,61%	11,80%	0,0%	57,6%	9,6%	0,0%	32,8%
14	0,66%	12,71%	0,0%	65,8%	3,9%	0,0%	30,3%
15	0,71%	14,11%	0,0%	73,1%	0,0%	0,0%	26,9%
16	0,76%	15,82%	0,0%	78,5%	0,0%	0,0%	21,5%
17	0,82%	17,67%	0,0%	83,9%	0,0%	0,0%	16,1%
18	0,87%	19,61%	0,0%	89,2%	0,0%	0,0%	10,8%
19	0,92%	21,64%	0,0%	94,6%	0,0%	0,0%	5,4%
20	0,97%	23,75%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 12 – Resultados para $m = 2$ e $n = 2$

Portfólio	Returns	Cvar 95%	PESOS				
			Diesel Futuro	Açúcar Futuro	Etanol Futuro	Açúcar Spot	Etanol Spot
1	-0,07%	9,81%	7,8%	31,1%	16,3%	32,4%	12,3%
2	0,06%	9,88%	7,9%	34,8%	14,9%	30,4%	12,0%
3	0,19%	10,07%	8,6%	37,9%	14,7%	28,7%	10,1%
4	0,31%	10,38%	8,5%	40,3%	15,7%	26,7%	8,8%
5	0,44%	10,81%	8,6%	42,8%	16,4%	24,8%	7,4%
6	0,57%	11,39%	8,5%	44,2%	18,1%	22,2%	6,9%
7	0,70%	12,09%	8,2%	44,6%	21,2%	19,2%	6,8%
8	0,83%	12,87%	6,8%	46,5%	22,7%	17,0%	7,0%
9	0,95%	13,71%	6,2%	47,6%	24,6%	14,1%	7,4%
10	1,08%	14,57%	5,4%	47,8%	26,4%	10,0%	10,4%
11	1,21%	15,46%	3,5%	48,8%	28,9%	7,5%	11,2%
12	1,34%	16,35%	3,7%	48,1%	31,4%	2,8%	13,9%
13	1,47%	17,25%	2,3%	49,4%	33,2%	0,0%	15,1%
14	1,59%	18,24%	0,0%	53,4%	34,3%	0,0%	12,3%
15	1,72%	19,46%	0,0%	59,5%	31,7%	0,0%	8,9%
16	1,85%	21,06%	0,0%	66,3%	27,5%	0,0%	6,1%
17	1,98%	22,93%	0,0%	71,4%	26,6%	0,0%	2,0%
18	2,11%	25,11%	0,0%	79,2%	20,8%	0,0%	0,0%
19	2,23%	27,60%	0,0%	89,6%	10,4%	0,0%	0,0%
20	2,36%	30,16%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 13 – Resultados para $m = 2$ e $n = 3$

Portfólio	Returns	Cvar 95%	PESOS				
			Diesel Futuro	Açúcar Futuro	Etanol Futuro	Açúcar Spot	Etanol Spot
1	-0,12%	10,48%	1,8%	33,7%	17,9%	35,9%	10,7%
2	0,08%	10,62%	0,7%	36,8%	17,9%	33,9%	10,8%
3	0,29%	11,03%	0,0%	38,1%	20,3%	31,7%	9,8%
4	0,49%	11,67%	0,0%	40,6%	22,3%	30,8%	6,2%
5	0,70%	12,43%	0,0%	43,7%	22,5%	29,4%	4,4%
6	0,91%	13,27%	0,0%	43,3%	24,9%	24,8%	6,9%
7	1,11%	14,15%	0,0%	44,2%	26,6%	21,4%	7,7%
8	1,32%	15,06%	0,0%	44,9%	28,4%	17,9%	8,7%
9	1,52%	16,00%	0,0%	46,6%	29,1%	14,8%	9,4%
10	1,73%	16,97%	0,0%	46,9%	31,2%	10,8%	11,1%
11	1,93%	17,98%	0,0%	47,3%	32,7%	6,7%	13,4%
12	2,14%	19,00%	0,0%	48,6%	34,0%	3,6%	13,8%
13	2,35%	20,05%	0,0%	49,7%	35,9%	0,7%	13,7%
14	2,55%	21,13%	0,0%	51,9%	38,5%	0,0%	9,6%
15	2,76%	22,41%	0,0%	55,1%	40,2%	0,0%	4,6%
16	2,96%	23,91%	0,0%	58,8%	41,2%	0,0%	0,0%
17	3,17%	26,10%	0,0%	69,1%	30,9%	0,0%	0,0%
18	3,38%	28,70%	0,0%	79,4%	20,6%	0,0%	0,0%
19	3,58%	31,43%	0,0%	89,7%	10,3%	0,0%	0,0%
20	3,79%	34,28%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 14 – Resultados para $m = 3$ e $n = 1$

Portfolio	Returns	Cvar 95%	PESOS				
			Diesel Futuro	Açúcar Futuro	Etanol Futuro	Açúcar Spot	Etanol Spot
1	-0,01%	8,12%	2,8%	33,4%	15,6%	32,9%	15,3%
2	0,04%	8,16%	1,5%	35,2%	15,5%	30,6%	17,3%
3	0,09%	8,30%	0,8%	37,3%	15,9%	28,5%	17,5%
4	0,14%	8,49%	0,3%	39,0%	15,8%	25,8%	19,1%
5	0,19%	8,72%	0,0%	41,1%	15,5%	23,2%	20,2%
6	0,25%	8,98%	0,0%	42,3%	15,5%	19,9%	22,3%
7	0,30%	9,27%	0,0%	44,1%	15,1%	17,0%	23,9%
8	0,35%	9,58%	0,0%	45,6%	14,9%	13,9%	25,6%
9	0,40%	9,92%	0,0%	47,4%	14,6%	10,9%	27,1%
10	0,45%	10,29%	0,0%	50,8%	11,6%	8,2%	29,4%
11	0,50%	10,72%	0,0%	52,4%	11,4%	5,1%	31,1%
12	0,56%	11,21%	0,0%	53,7%	11,3%	1,9%	33,1%
13	0,61%	11,78%	0,0%	57,4%	9,8%	0,0%	32,8%
14	0,66%	12,69%	0,0%	65,7%	3,9%	0,0%	30,4%
15	0,71%	14,08%	0,0%	73,0%	0,0%	0,0%	27,0%
16	0,76%	15,79%	0,0%	78,4%	0,0%	0,0%	21,6%
17	0,81%	17,64%	0,0%	83,8%	0,0%	0,0%	16,2%
18	0,87%	19,59%	0,0%	89,2%	0,0%	0,0%	10,8%
19	0,92%	21,64%	0,0%	94,6%	0,0%	0,0%	5,4%
20	0,97%	23,75%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 15 – Resultados para $m = 3$ e $n = 2$

Portfolio	Returns	Cvar 95%	PESOS				
			Diesel Futuro	Açúcar Futuro	Etanol Futuro	Açúcar Spot	Etanol Spot
1	-0,08%	10,12%	4,2%	30,8%	18,9%	33,5%	12,7%
2	0,05%	10,20%	3,6%	33,9%	19,5%	32,1%	11,0%
3	0,18%	10,39%	2,2%	37,7%	18,9%	30,9%	10,2%
4	0,31%	10,72%	0,8%	40,5%	20,4%	29,9%	8,4%
5	0,43%	11,14%	0,0%	44,3%	20,4%	28,9%	6,4%
6	0,56%	11,70%	0,0%	47,2%	20,2%	26,9%	5,7%
7	0,69%	12,34%	0,0%	48,4%	21,8%	23,9%	6,0%
8	0,82%	13,06%	0,0%	50,3%	22,6%	21,3%	5,7%
9	0,95%	13,83%	0,0%	52,0%	23,6%	18,5%	6,0%
10	1,08%	14,64%	0,0%	52,0%	26,1%	14,7%	7,2%
11	1,21%	15,48%	0,0%	51,4%	29,0%	10,5%	9,2%
12	1,33%	16,35%	0,0%	51,8%	30,4%	6,4%	11,4%
13	1,46%	17,25%	0,0%	50,5%	32,7%	1,1%	15,6%
14	1,59%	18,22%	0,0%	53,4%	34,2%	0,0%	12,4%
15	1,72%	19,43%	0,0%	59,4%	31,6%	0,0%	9,0%
16	1,85%	21,03%	0,0%	66,3%	27,5%	0,0%	6,2%
17	1,98%	22,91%	0,0%	71,3%	26,6%	0,0%	2,1%
18	2,10%	25,09%	0,0%	79,1%	20,9%	0,0%	0,0%
19	2,23%	27,59%	0,0%	89,6%	10,4%	0,0%	0,0%
20	2,36%	30,16%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Fonte: Elaborado pelo autor

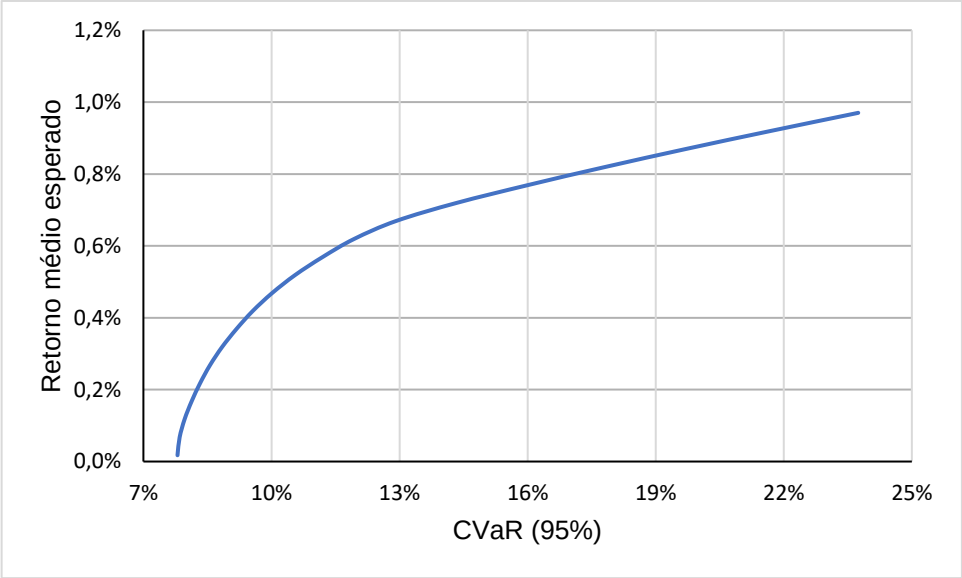
Tabela 16 – Resultados para $m = 3$ e $n = 3$

Portfolio	Returns	Cvar 95%	PESOS				
			Diesel Futuro	Açúcar Futuro	Etanol Futuro	Açúcar Spot	Etanol Spot
1	-0,13%	10,48%	1,6%	34,0%	17,5%	36,1%	10,7%
2	0,07%	10,60%	0,7%	36,8%	17,7%	34,0%	10,8%
3	0,28%	11,01%	0,0%	37,9%	20,5%	31,7%	9,9%
4	0,49%	11,64%	0,0%	40,4%	22,3%	30,8%	6,5%
5	0,69%	12,40%	0,0%	43,6%	22,5%	29,5%	4,4%
6	0,90%	13,23%	0,0%	43,4%	24,8%	25,0%	6,8%
7	1,10%	14,12%	0,0%	44,3%	26,5%	21,6%	7,6%
8	1,31%	15,03%	0,0%	44,9%	28,4%	18,0%	8,7%
9	1,52%	15,97%	0,0%	46,6%	29,1%	14,9%	9,4%
10	1,72%	16,94%	0,0%	46,9%	31,1%	10,9%	11,1%
11	1,93%	17,95%	0,0%	47,3%	32,6%	6,7%	13,3%
12	2,14%	18,98%	0,0%	48,6%	33,9%	3,7%	13,8%
13	2,34%	20,03%	0,0%	49,7%	35,8%	0,7%	13,7%
14	2,55%	21,11%	0,0%	51,9%	38,5%	0,0%	9,6%
15	2,76%	22,39%	0,0%	55,1%	40,2%	0,0%	4,7%
16	2,96%	23,89%	0,0%	58,7%	41,3%	0,0%	0,0%
17	3,17%	26,08%	0,0%	69,0%	31,0%	0,0%	0,0%
18	3,37%	28,69%	0,0%	79,4%	20,6%	0,0%	0,0%
19	3,58%	31,42%	0,0%	89,7%	10,3%	0,0%	0,0%
20	3,79%	34,28%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Fonte: Elaborado pelo autor

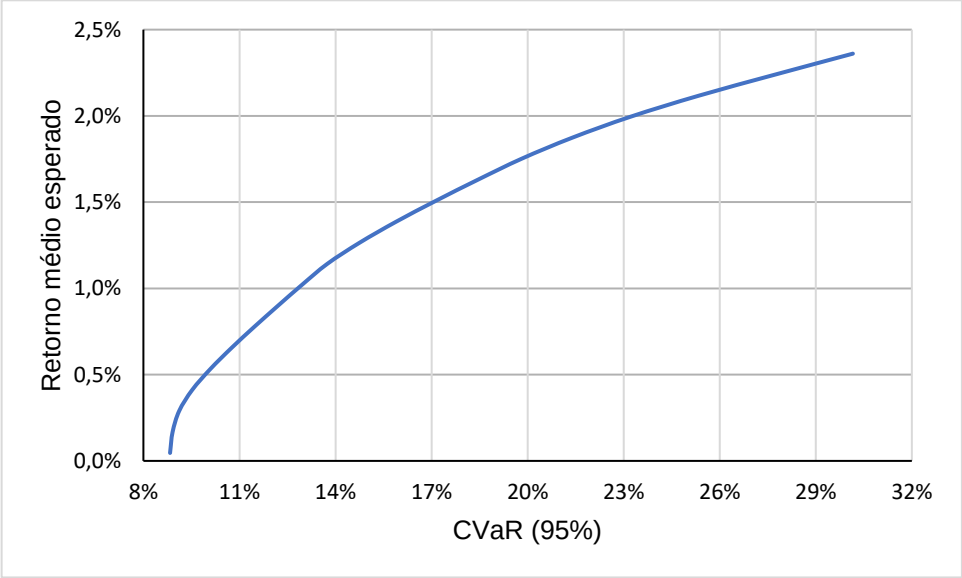
ANEXO 3 – FRONTEIRAS DE EFICIÊNCIA PARA CADA ESTRATÉGIA

Figura 32 – Fronteira de eficiência para $m = 1$ e $n = 1$

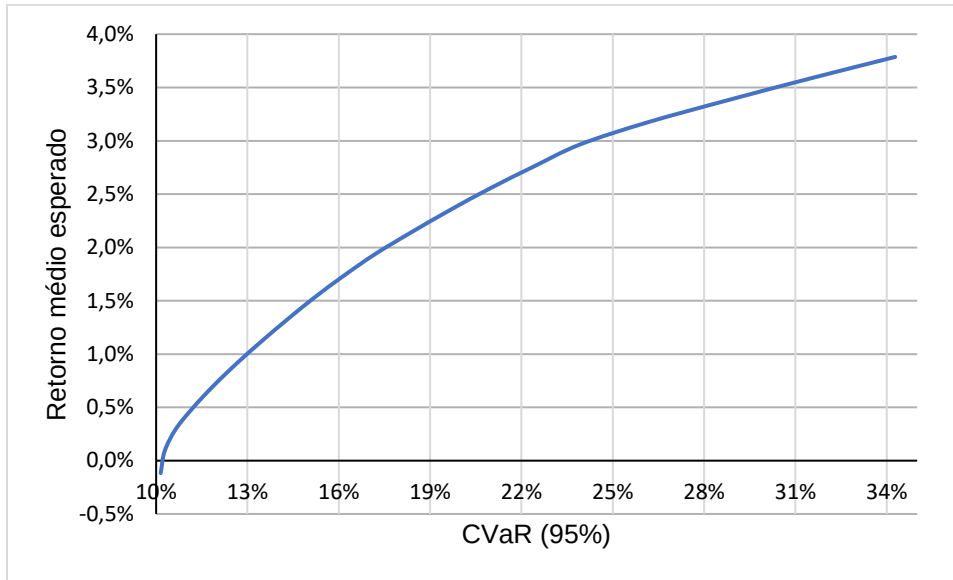


Fonte: Elaborado pelo autor

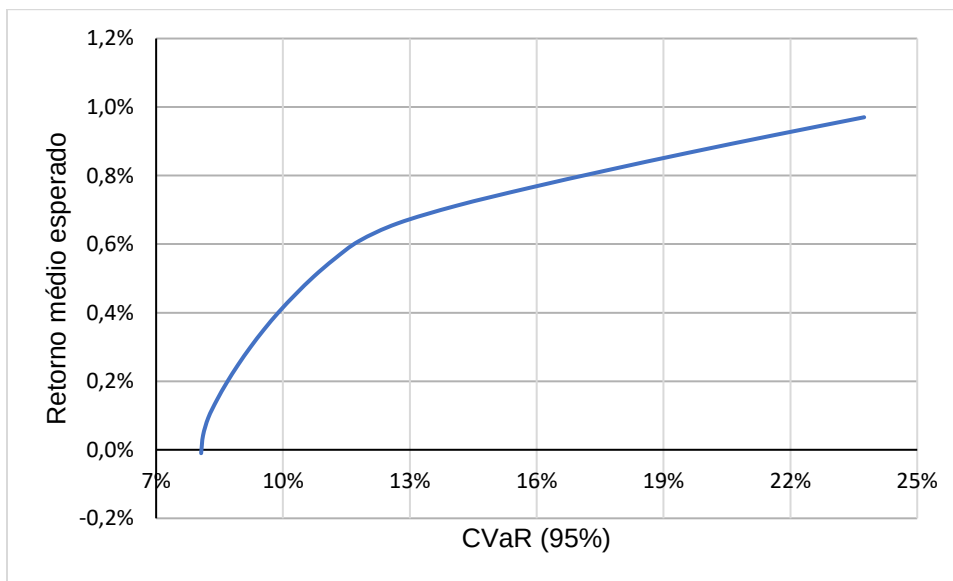
Figura 33 – Fronteira de eficiência para $m = 1$ e $n = 2$



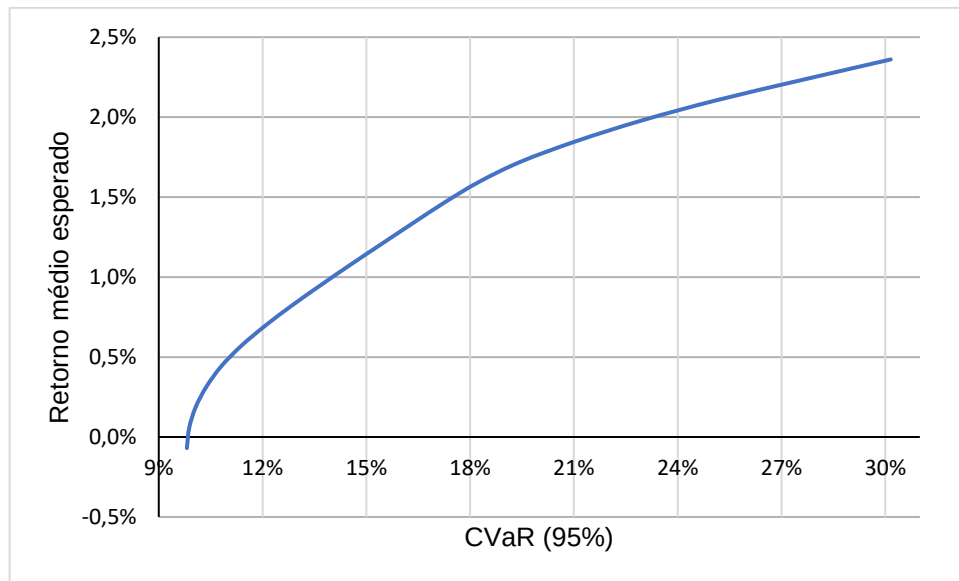
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 34 – Fronteira de eficiência para $m = 1$ e $n = 3$ 

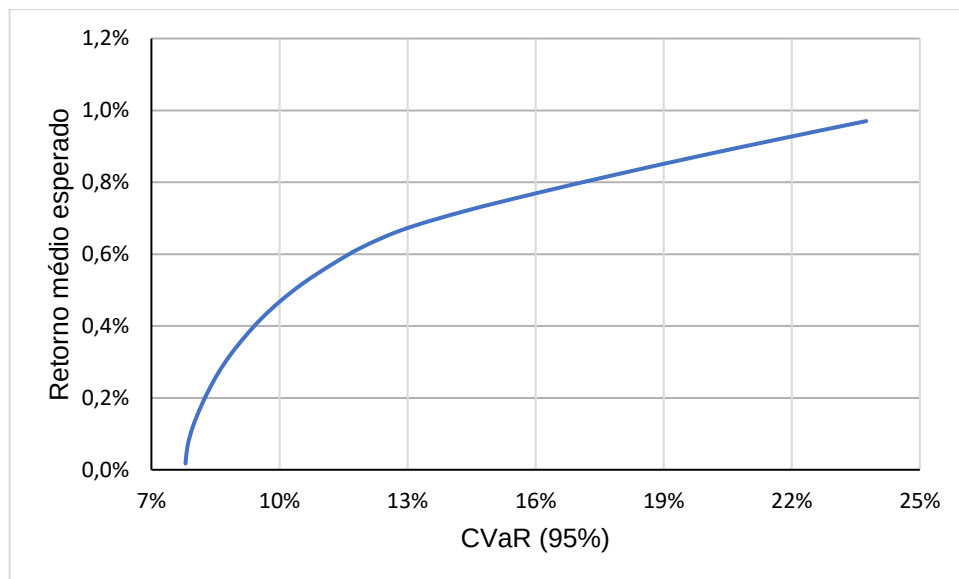
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 35 – Fronteira de eficiência para $m = 2$ e $n = 1$ 

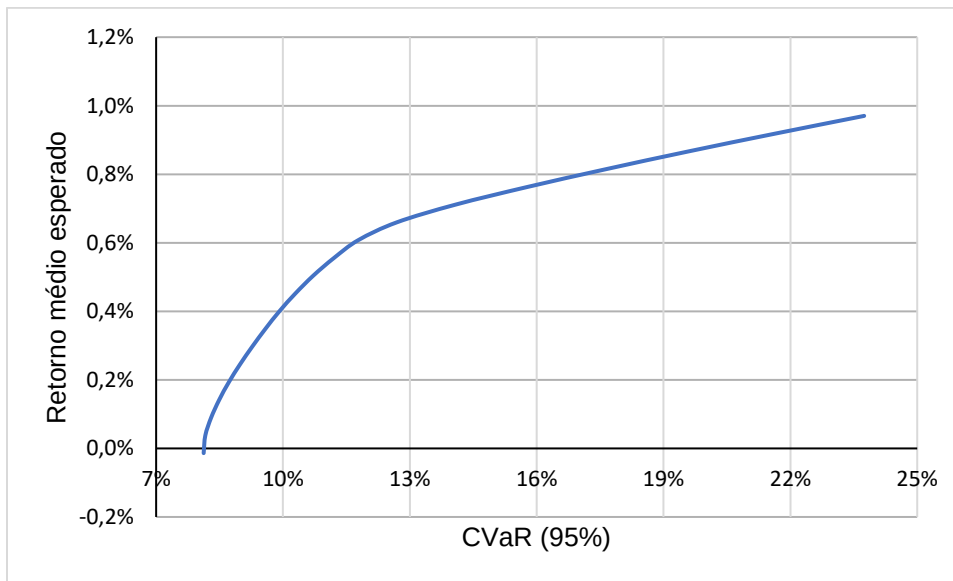
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 36 – Fronteira de eficiência para $m = 2$ e $n = 2$ 

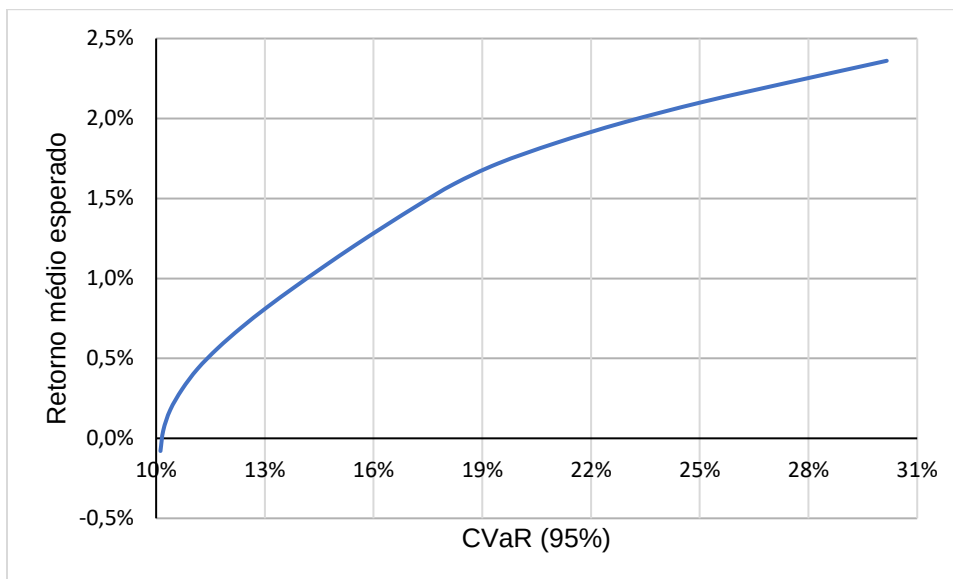
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 37 – Fronteira de eficiência para $m = 2$ e $n = 3$ 

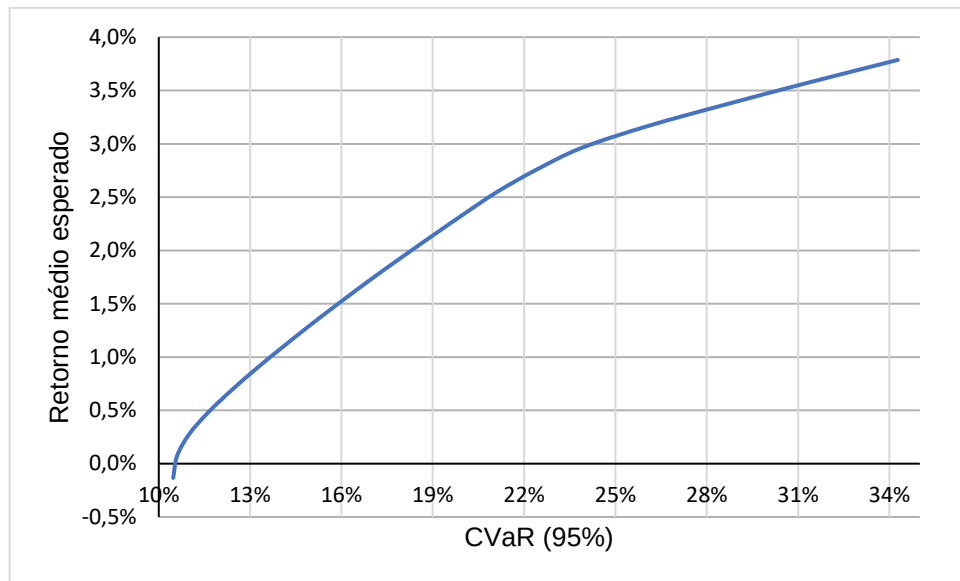
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 38 – Fronteira de eficiência para $m = 3$ e $n = 1$ 

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 39 – Fronteira de eficiência para $m = 3$ e $n = 2$ 

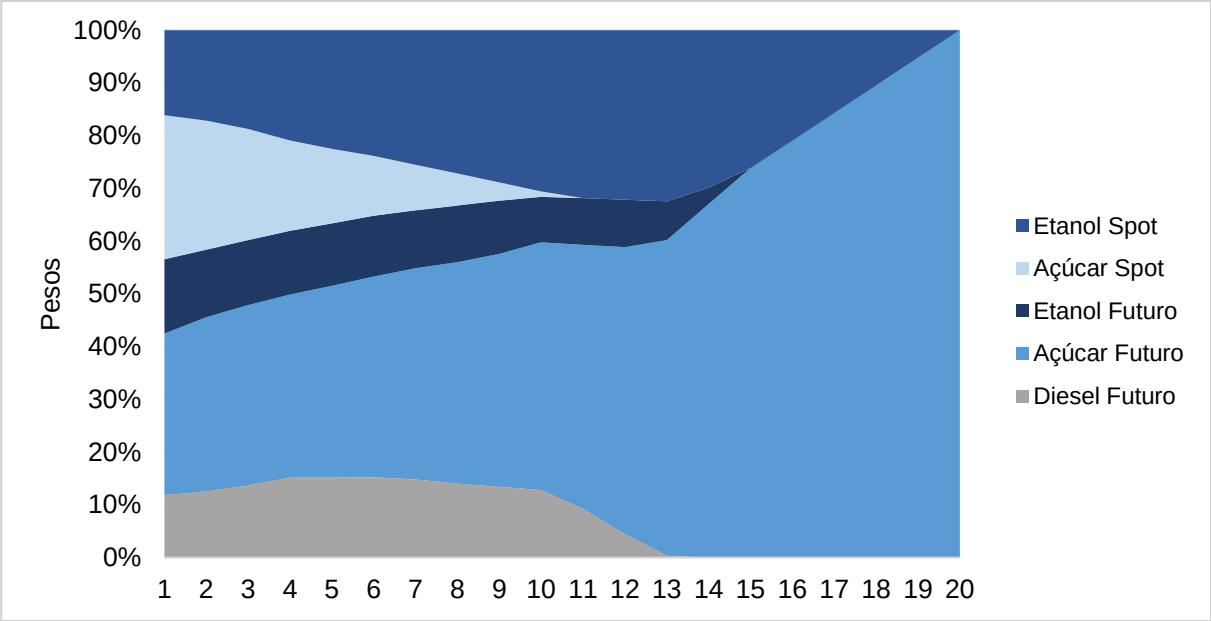
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 40 – Fronteira de eficiência para $m = 3$ e $n = 3$ 

Fonte: Elaborado pelo autor

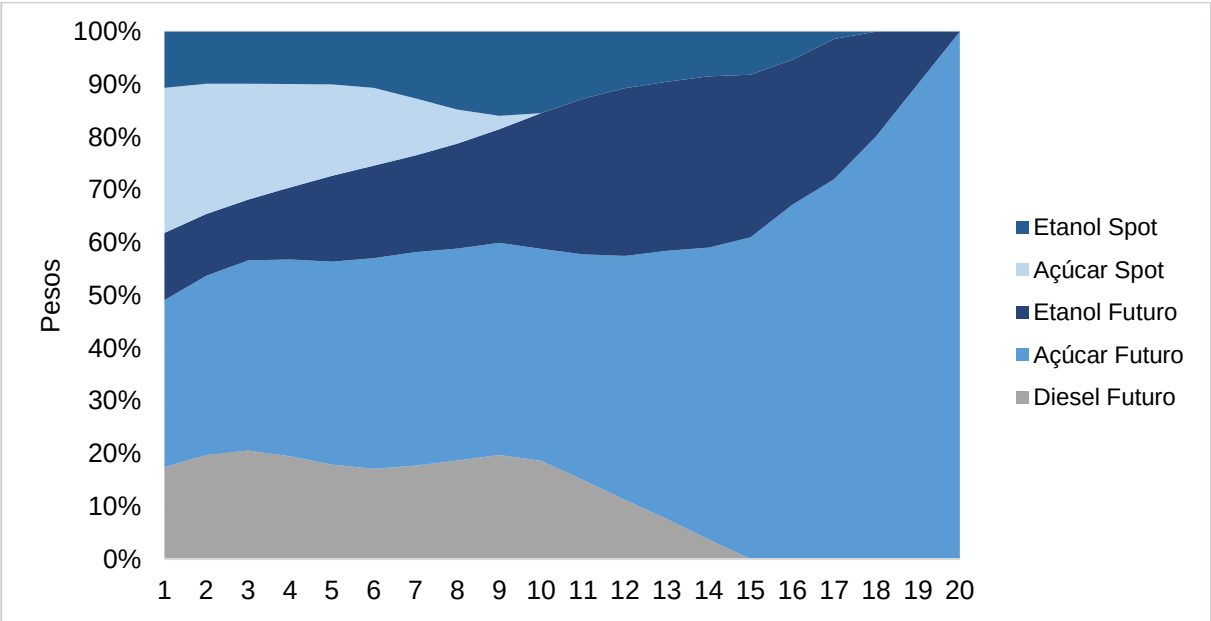
ANEXO 4 – PESOS EM CADA PORTFÓLIO EM CADA ESTRATÉGIA

Figura 41 – Pesos em cada portfólio para $m = 1$ e $n = 1$



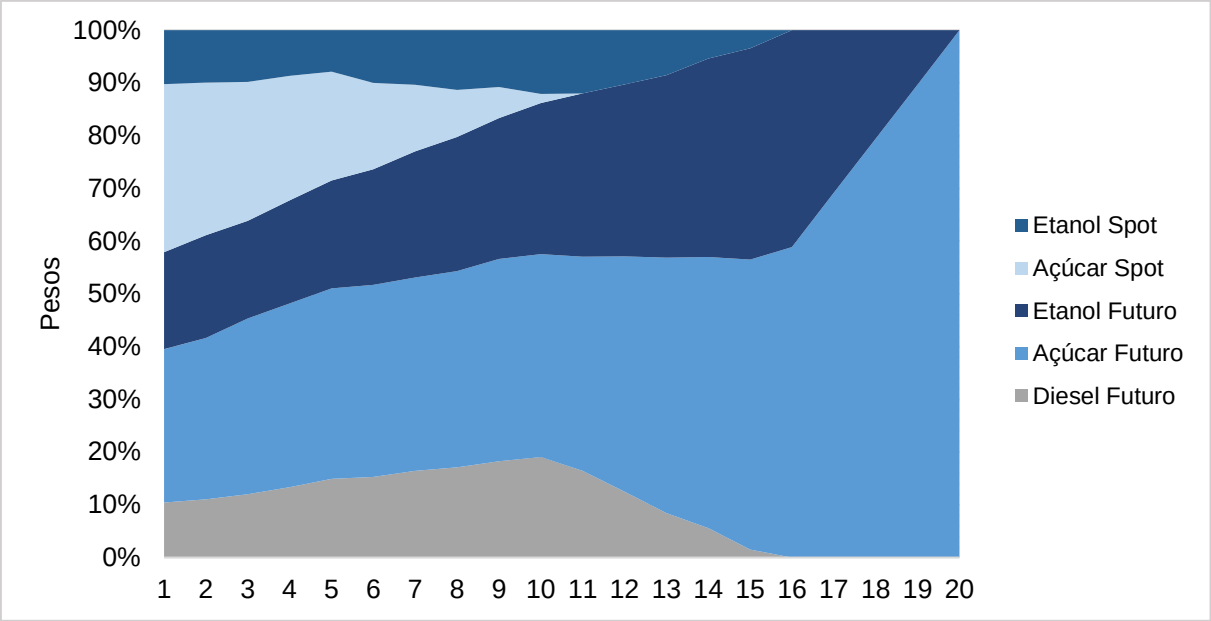
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 42 – Pesos em cada portfólio para $m = 1$ e $n = 2$



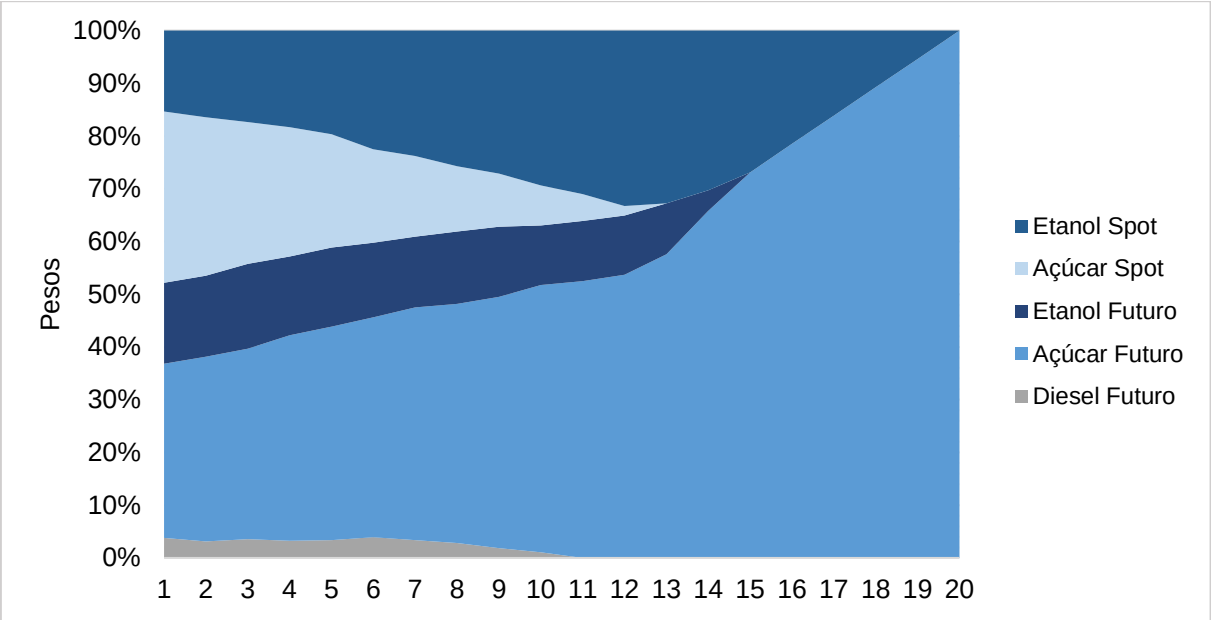
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 43 – Pesos em cada portfólio para $m = 1$ e $n = 3$



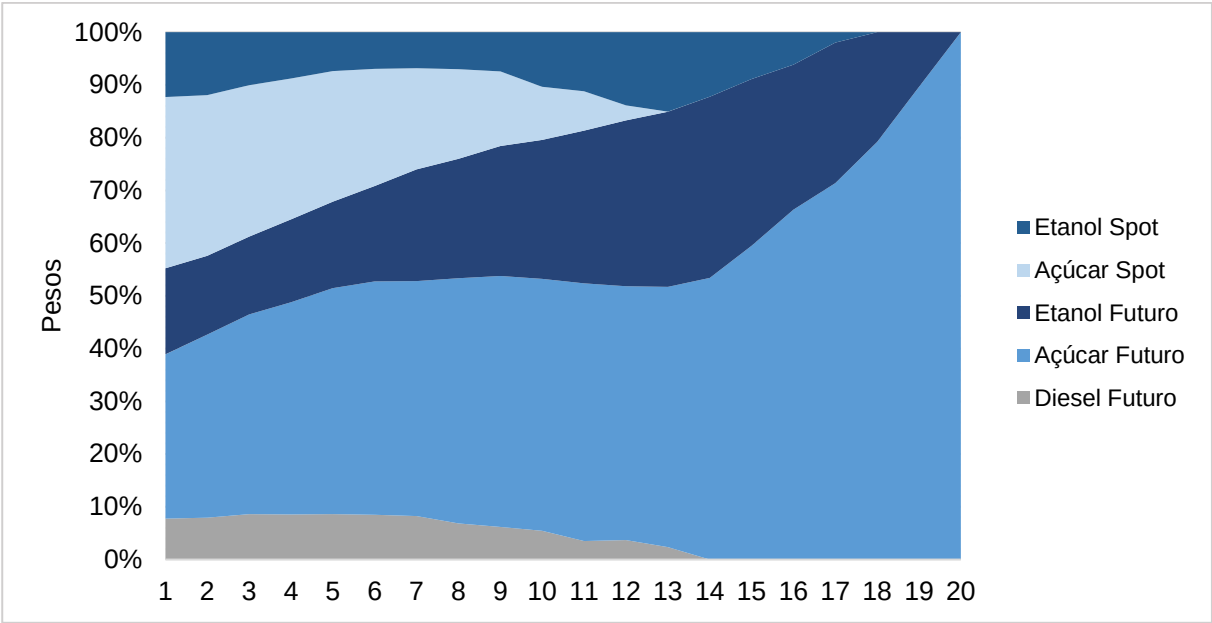
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 44 – Pesos em cada portfólio para $m = 2$ e $n = 1$



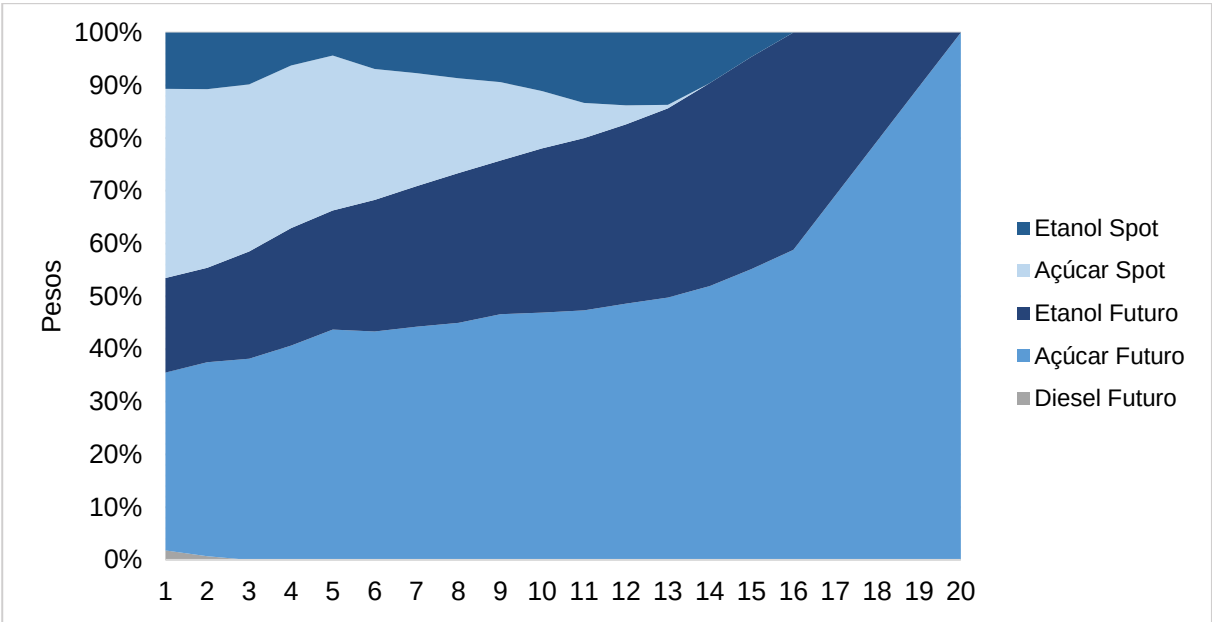
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 45 – Pesos em cada portfólio para $m = 2$ e $n = 2$



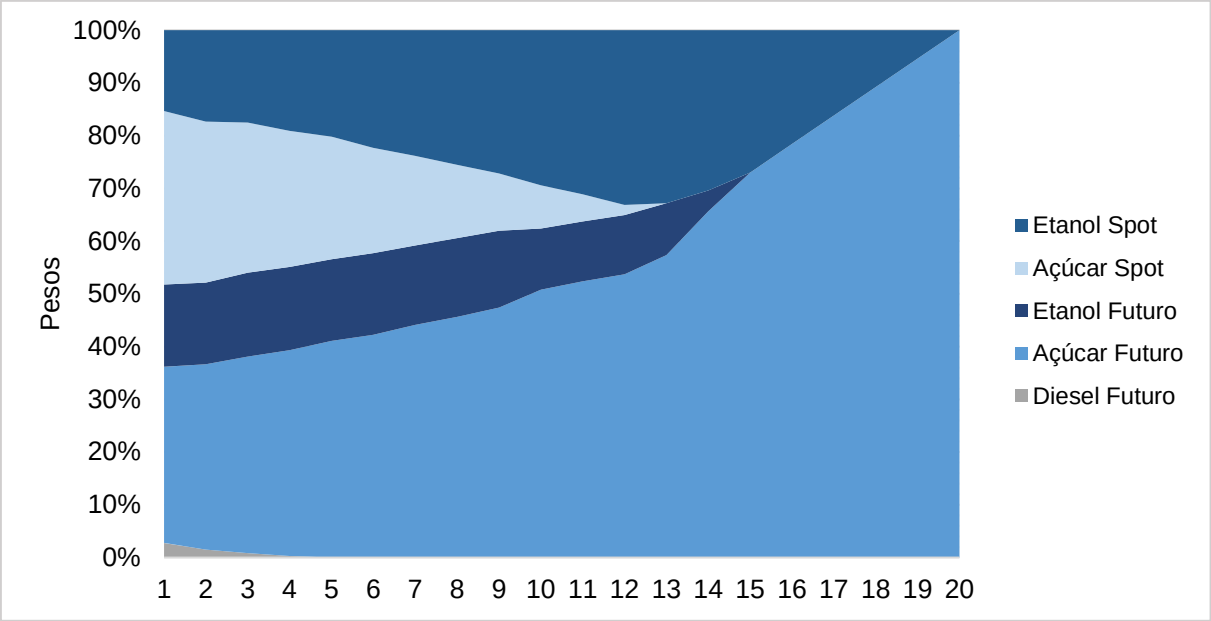
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 46– Pesos em cada portfólio para $m = 2$ e $n = 3$



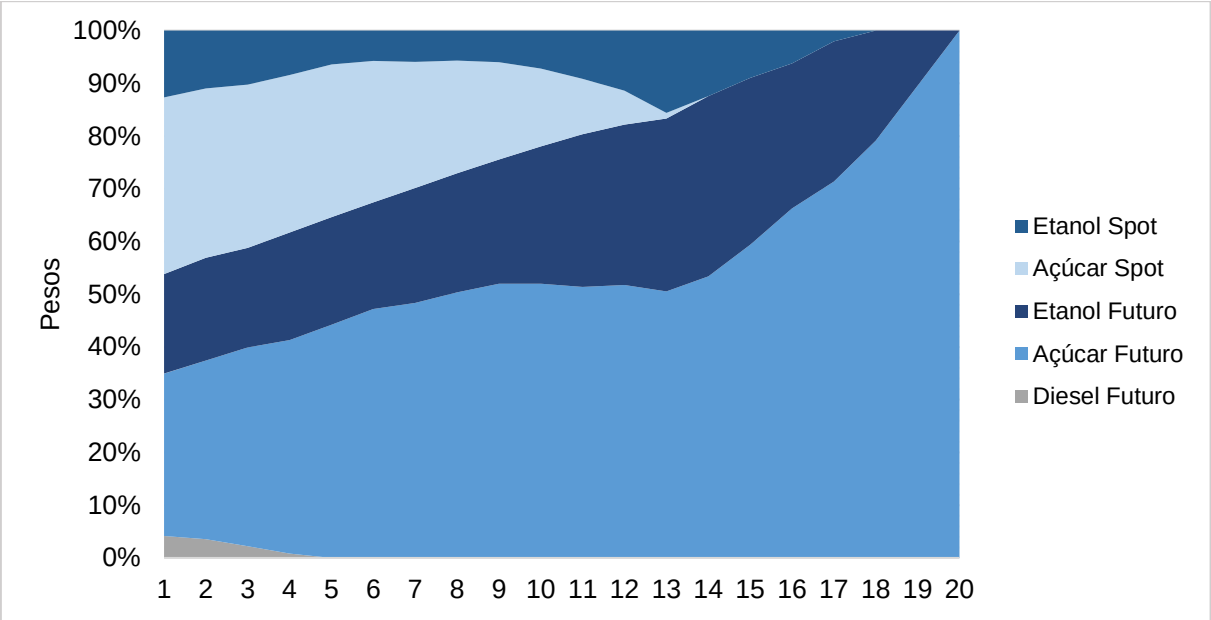
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 47 - Pesos em cada portfólio para $m = 3$ e $n = 1$



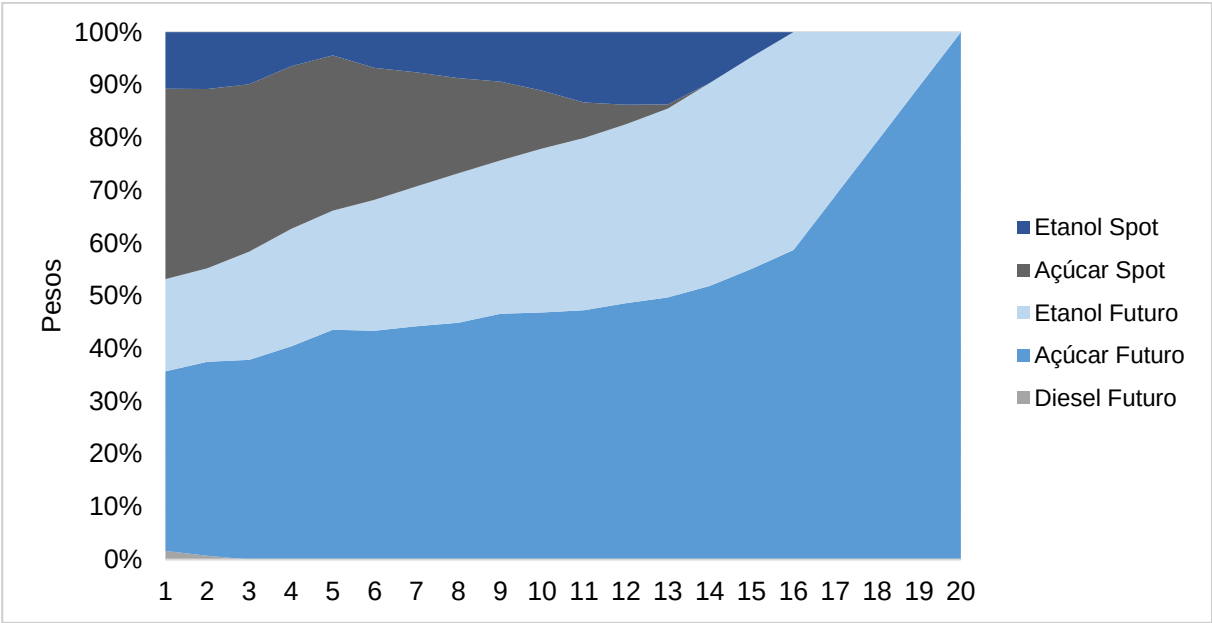
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 48 - Pesos em cada portfólio para $m = 3$ e $n = 2$



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 49 - Pesos em cada portfólio para $m = 3$ e $n = 3$



Fonte: Elaborado pelo autor